การผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ

GERMINATED BROWN RICE USING GERMINATED RICE PRODUCT MACHINE WITH WATER SPRAY SYSTEM

อุดมรัตน์ ใจตรึก

UDOMRAT CHAITRUEK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

KMITL PRINCE OF CHUMPHON-2022-65-006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GERMINATED BROWN RICE USING GERMINATED RICE PRODUCT MACHINE WITH WATER SPRAY SYSTEM

UDOMRAT CHAITRUEK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

IN MECHANICAL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2022

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวอุดมรัตน์ ใจตรึก
รหัสประจำตัว	64620034
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ธัชพล จุ้งเจริญ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้สนใจที่จะผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ โดยหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการงอกและกระบวนการอบแห้งโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ โดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสเปรย์น้ำ และอัตราการสเปรย์น้ำ พร้อมทั้งหารูปแบบในการบ่มเพื่อให้ข้าวเปลือกมีร้อยละการงอก 90% และศึกษาผลกระทบของรูปแบบการอบแห้งต่อคุณภาพของข้าวเปลือกงอก ผลทดลองพบว่า อัตราการสเปรย์น้ำ 7 L/min และอุณหภูมิน้ำสเปรย์ 40°C เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการสเปรย์น้ำ ในส่วนของขั้นตอนการบ่มพบว่า การบ่มแบบเบดหมุนร่วมกับการสเปรย์น้ำจะได้ร้อยละการงอกที่ 90% เร็วที่สุด อยู่ที่ 26 hr จะใช้ปริมาณน้ำทั้งหมด 49 L ระยะเวลาในการงอก 28.5 hr ซึ่งจะน้อยกว่าข้าวงอกที่ได้จาการแช่น้ำ ซึ่งต้องใช้น้ำทั้งหมด 84 L และระยะเวลาในการงอก 60 hr สำหรับขั้นตอนการอบแห้ง ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว จากการวิเคราะห์คุณภาพข้าวพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนมีคุณภาพข้าวที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวในด้านร้อยละแตกร้าว ร้อยละต้นข้าว ปริมาณสาร GABA และปริมาณจุลินทรีย์ นอกจากนี้ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคพบว่าข้าวกล้องงอกที่เพาะงอกด้วยเครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำมีการยอมรับโดยรวมดีกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำ

คำสำคัญ: ข้าวงอก, ระบบสเปรย์น้ำ, การบ่ม, คุณภาพข้าวงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Germinated brown rice using germinated rice product machine with water spray system
Student	Miss Udomrat Chaitruek
Student ID	64620034
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2022
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Thatchapol Chungcharoen

ABSTRCT

The objective of this work is to find the appropriate condition in the germinating and drying process using germinated rice product machine with water spray system. In the germinating process, the effects of water spray temperature and water spray rate were investigated and to find the incubation pattern with 90% germination. Moreover, the effect of drying pattern on the quality of germinated paddy is also determined. The experimental result showed that the water spray rates of 7 L/min and water spray temperature of 40℃ were the appropriate condition for water spray step. For incubating step, it was found that the incubation using rotated bed and water spray provided the fastest 90% germination for 26 hr. This condition used the water content of 49 L and germination time of 28.5 hr which was lower than germinated rice produced from water soaking which used the water content of 84 L and germination time of 60 hr. For drying process, the experimental result showed that the drying with hot air drying in combination with halogen lamps can reduce the moisture content better than the drying with hot air. From the quality analysis, it was found that hot air drying combined with halogen lamps had higher rice quality than hot air drying in terms of fissure, head rice yield, GABA content and microorganisms content, In addition, sensory analysis results revealed that the overall acceptability of germinated brown rice with water spray system was better than germinated brown rice with water soaking.

Keywords: Germinated rice, Water spray system, Incubation, Germinated rice quality

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำงานวิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร.ธัชพล จุ้งเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด และข้อมูลทำให้เป็นประโยชน์ต่อการทำงาน นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ ภาควิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้และสถานที่สำหรับการดำเนินงานวิจัย

บุคคลที่ขาดมิได้ บิดา มารดา ปู่ ย่า และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ร่วมงานทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือข้าพเจ้า ทุกๆ ด้านที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี พร้อมทั้งยังให้กำลังใจเสมอมา อันหาที่เปรียบไม่ได้ ข้าพเจ้าขอระลึกถึงในพระคุณอันสูงสุดและขอกราบพระคุณ ณ ที่นี้

อุดมรัตน์ ใจตรึก

กันยายน 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 วิธีและขั้นตอนในการดำเนินงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
1.7 สถานที่ทำการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ข้าว (Rice)	5
2.2 การจำแนกประเภทของข้าว	5
2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและการแปรรูปข้าวเปลือก	6
2.4 ข้าวกล้องงอก	9
2.5 กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก	9
2.6 วิธีการงอกของข้าวเปลือก	10
2.7 สารอาหารในข้าวงอก	11
2.8 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด	11
2.9 ความชื้น	12
2.10 ทฤษฎีการอบแห้ง	13
2.11 การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจน	14
2.12 ข้อดีของการลดความชื้นโดยใช้หลอดฮาโลเจน	15
2.13 การลดความชื้นโดยใช้ลมร้อน	15
2.14 ข้อดีของการลดความชื้นโดยใช้ลมร้อน	15
2.15 การลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.16 ข้อดีของการลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน	16
2.17 คุณภาพของข้าวงอกที่สำคัญ	16
2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	24
3.1 วัสดุ	24
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง	24
3.3 วิธีการทดลอง	29
3.4 การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น	30
3.5 การทดสอบหาร้อยละการงอกของข้าวเปลือก	31
3.6 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการสเปรย์	31
3.7 การทดสอบหาร้อยละต้นข้าว (Head brown rice yield)	31
3.8 การทดสอบหาร้อยละการแตกร้าว (Percentage of fissured kernels)	32
3.9 การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค (Sensory evaluation)	32
3.10 การทดสอบหาปริมาณสารกาบา (GABA)	33
3.11 การทดสอบหาจุลินทรีย์	33
3.12 แผนผังขั้นตอนการทดลองโดยรวม	35
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	36
4.1 ร้อยละการงอก และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกโดยวิธีการแช่น้ำ	37
4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำในกระบวนการสเปรย์น้ำ	38
4.3 การเปลี่ยนแปลงร้อยละการงอกของข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ	44
4.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องเพาะข้าวงอก ด้วยระบบสเปรย์น้ำในขั้นตอนการอบแห้ง	46
4.5 คุณภาพข้าวกล้องงอก	47
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	60
ภาคผนวก ข แบบประเมิน	97
ภาคผนวก ค เอกสารรับรองโครงการวิจัย	99
ประวัติผู้เขียน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ระยะเวลาการดำเนินงาน	4
2.1	สัดส่วนโครงสร้างของเมล็ดข้าว	8
4.1	จำนวนครั้งในการสเปรย์น้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการสเปรย์ทั้งหมด และระยะเวลาสเปรย์น้ำ ที่อัตราการสเปรย์น้ำ และอุณหภูมิของน้ำ และอุณหภูมิของน้ำสเปรย์ต่างๆ	40
4.2	แสดงร้อยละแตกร้าวและของข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตเงื่อนไขต่างๆ	48
4.3	แสดงปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตที่เงื่อนไขต่างๆ	49
4.4	แสดงปริมาณของแบคทีเรีย (Bacteria) ยีสต์ (Yeast) และเชื้อรา (Molds) ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตเงื่อนไขต่างๆ	50
4.5	การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)	51
ก.1	ผลการทดลองร้อยละการงอกที่อุณหภูมิน้ำแช่ 30 องศาเซลเซียสที่ระยะการแช่ต่างๆ	61
ก.2	ผลการทดลองร้อยละการงอกที่อุณหภูมิน้ำแช่ 35 องศาเซลเซียสที่ระยะการแช่ต่างๆ	61
ก.3	ผลการทดลองความชื้นที่อุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ	62
ก.4	ผลการทดลองความชื้นที่อุณหภูมิน้ำ 35 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ	63
ก.5	ผลการทดลองความชื้นที่อุณหภูมิน้ำ 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ	64
ก.6	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที	65
ก.7	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที	67
ก.8	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์ น้ำ 9 ลิตรต่อนาที	69
ก.9	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.10	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที	73
ก.11	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 9 ลิตรต่อนาที	75
ก.12	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที	77
ก.13	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที	79
ก.14	ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ ลิตรต่อนาที	81
ก.15	ผลการทดลองร้อยละการงอกด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่การบ่มด้วยวิธีเบดนิ่ง (Fixed bed)	83
ก.16	ผลการทดลองร้อยละการงอกด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่บ่มด้วยวิธีเบดหมุน (Rotated bed) เบดหมุน (Rotated bed)	83
ก.17	ผลการทดลองร้อยละการงอกด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่บ่มด้วยวิธีเบดหมุนร่วมกับสเปรย์น้ำ (Rotated bed + water spray)	84
ก.18	ผลการทดลองความชื้นด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่การบ่มด้วยวิธีเบดนิ่ง (Fixed bed)	84
ก.19	ผลการทดลองความชื้นด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่บ่มด้วยวิธีเบดหมุน (Rotated bed)	85
ก.20	ผลการทดลองความชื้นด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่บ่มด้วยวิธีเบดหมุนร่วมกับสเปรย์น้ำ (Rotated bed+water spray)	85
ก.21	ผลการทดลองจลศาสตร์การอบแห้งแบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส (Water spray 40 °C)	86
ก.22	ผลการทดลองจลศาสตร์การอบแห้งแบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 2000 W (water spray 40 °C)	88
ก.23	ผลการทดลองจลศาสตร์การอบแห้งแบบเบดหมุน ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 2000 W (Soaking 35 °C)	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.24	ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวอ้างอิง (Reference brown rice)	91
ก.25	ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS)	91
ก.26	ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS)	91
ก.27	ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (HA130+HL2000)	92
ก.28	ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2 (HA130+HL2000)	92
ก.29	ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส(HA130)	92
ก.30	ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวอ้างอิง (Reference brown rice)	93
ก.31	ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS)	93
ก.32	ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบ สเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS)	93
ก.33	ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (HA130+HL2000)	94
ก.34	ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (GBR-WSS HA130+HL2000)	94
ก.35	ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส (GBR-WSS HA130)	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.36	ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวอ้างอิง (Reference brown rice)	95
ก.37	ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS)	95
ก.38	ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS)	95
ก.39	ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (HA130+HL2000)	96
ก.40	ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2 (HA130+HL2000)	96
ก.41	ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส(HA130)	96
ข.1	ตัวอย่างแบบประเมินการยอมรับของผู้บริโภคข้าวกล้องงอก (A=Reference brown rice, B=Dried GBR with water soaking (HA 130 ℃ +HL 2,000 W), C=Dried GBR with water spraying (HA 130 ℃ +HL 2,000 W))	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงาน	3
2.1	ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว	7
2.2	การสังเคราะห์สารกาบาจากกรดอะมิโนกลูตาเมต	17
2.3	ลักษณะของกราฟที่ได้จากเครื่อง Texture profile analysis (TPA)	18
3.1	ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1	24
3.2	เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ	24
3.3	เครื่อง Water bath	25
3.4	ปั๊มลมออกซิเจน (Aquarium air pump)	25
3.5	ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	25
3.6	Moisture can	26
3.7	เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล	26
3.8	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกงอก	26
3.9	เครื่องชั่งน้ำหนัก	27
3.10	เครื่องกะเทาะเปลือก	27
3.11	เครื่องคัดคุณภาพข้าว	28
3.12	เครื่อง Ultra centrifugal mill (Restch, model no. ZM 100, Hann, Germany)	28
3.13	ตะแกรงร่อน (Sieve) Metric 250 µm	28
3.14	หลอดฮาโลเจน (Halogen lamp)	29
3.15	แผนผังขั้นตอนการทดลองโดยรวม	35
4.1	การเปรียบเทียบร้อยละการงอกของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิน้ำและระยะเวลาใน	36
4.2	ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกงอกที่อุณหภูมิและระยะในเวลาในการแช่	37
4.3	การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อัตราการสเปรย์น้ำต่างๆ	38
4.4	อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อัตราการสเปรย์น้ำต่างๆ	39
4.5	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกอุณหภูมิสเปรย์น้ำต่างๆ	41
4.6	อัตราการเปลี่ยนแปลงการดูดซับน้ำของข้าวเปลือกที่เวลาต่างๆ	42
4.7	ค่าความชื้น และร้อยละการงอกของข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการบ่มในรูปแบบต่างๆ	44
4.8	การเปลี่ยนความชื้นของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	การเปลี่ยนอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ข้าวกล้องงอก เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวที่มีมูลค่าสูงกว่าข้าวขาว อีกทั้งยังมีสารอาหารที่มากกว่า โดยเฉพาะสาร GABA ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ผลิตจากกระบวนการ Decarboxylation ของกรดกลูตา-มิก [1] โดยสาร GABA จะเกิดขึ้นจากการงอกบริเวณจมูกข้าว ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง [2, 3] ช่วยให้สมองเกิดการผ่อนคลาย นอนหลับสบาย ช่วยป้องกัน และบำบัดอาการของโรคทางระบบประสาท เช่น ป้องกันการทำลายสมอง เนื่องจากสารเบต้าอะไมลอยด์เปปไทด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคสูญเสียความทรงจำ (อัลไซเมอร์) นอนไม่หลับ โรคลมชัก และโรควิตกกังวล เป็นต้น [4, 5] ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกให้สามารถผลิตได้สะดวก และได้คุณภาพที่ดี ซึ่งหนึ่งในวิธีการที่น่าสนใจ ได้แก่ การผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ

เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ เป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถผลิตข้าวงอกได้ในเครื่องเดียว โดยมี 2 กระบวนการหลักคือ กระบวนการเพาะงอก และกระบวนการอบแห้ง สำหรับกระบวนการเพาะงอก ได้นำเอาระบบการสเปรย์น้ำมาแทนการแช่น้ำ เพื่อแก้ปัญหากลิ่นหมักของข้าวกล้องงอกที่เกิดจากการสะสมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่น้ำ [6] ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้ผู้บริโภคไม่นิยมบริโภคข้าวกล้องงอก [7] โดยในกระบวนการนี้จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการสเปรย์น้ำ เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับข้าวเปลือก และขั้นตอนการบ่มงอก เพื่อทำให้ข้าวเปลือกเกิดการงอก การสเปรย์น้ำจะทำพร้อมกับการหมุนของตะแกรงที่บรรจุข้าว เพื่อช่วยให้น้ำและข้าวเกิดการคลุกเคล้ากันอย่างทั่วถึง โดยมีการควบคุมอุณหภูมิน้ำสเปรย์ และอัตราการสเปรย์น้ำ ในส่วนของกระบวนการอบแห้ง จะใช้ระบบลมร้อนร่วมกับระบบการให้ความร้อนด้วยหลอดฮาโลเจน ซึ่งจะช่วยให้การลดความชื้นเกิดขึ้นได้ดี [8, 9] เนื่องจากระบบลมร้อนเป็นการระเหยความชื้นจากภายนอกของเมล็ดข้าวไปยังภายใน [10] ในขณะที่ระบบการให้ความร้อนด้วยหลอดฮาโลเจนเป็นการระเหยความชื้นจากภายในของเมล็ดข้าวไปยังภายนอก [11, 12] ดังนั้นการผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ น่าจะช่วยลดความยุ่งยาก และทำให้ได้ข้าวกล้องงอกที่มีคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ มีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลกระทบกับความสามารถในการงอกของเมล็ดข้าวเปลือก และคุณภาพของข้าวกล้องงอก โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบกับความสามารถในการงอกของเมล็ดข้าวเปลือก ได้แก่ อุณหภูมิน้ำสเปรย์ อัตราการสเปรย์น้ำ และรูปแบบการบ่มงอก ในขณะที่รูปแบบของการอบแห้งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาปัจจัยดังกล่าว เพื่อช่วยให้ทราบถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ เพื่อให้ได้ข้าวกล้องงอกที่มีคุณภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำสเปรย์ และอัตราการสเปรย์น้ำในขั้นตอนการสเปรย์น้ำต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปแบบการบ่มงอกต่อร้อยละการงอกของข้าวเปลือก

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปแบบการอบแห้งต่อคุณภาพของข้าวงอก

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.3.1 ข้าวเปลือกที่ใช้ คือ ข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1

1.3.2 อุณหภูมิน้ำสเปรย์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส

1.3.3 อัตราการสเปรย์น้ำที่ใช้ในการทดสอบ คือ 5 7 และ 9 ลิตรต่อนาที

1.3.4 ความเร็วรอบในการหมุนของตะแกรงคือ 15 รอบต่อนาที

1.3.5 การสเปรย์น้ำจะทำพร้อมกับการหมุนของตะแกรง และจะสเปรย์น้ำทุกๆ 30 นาที

1.3.6 เงื่อนไขที่เหมาะสมในขั้นตอนการสเปรย์น้ำ พิจารณาจากจำนวนครั้งในการสเปรย์น้ำ ปริมาณน้ำในการสเปรย์ และระยะเวลาในการสเปรย์

1.3.7 รูปแบบการบ่มงอกที่ใช้ในการทดสอบ คือ บ่มงอกแบบเบดนิ่ง บ่มงอกแบบเบดหมุน และบ่มงอกแบบเบดหมุนร่วมกับการสเปรย์น้ำ

1.3.8 ขั้นตอนการบ่มงอก จะใช้อุณหภูมิน้ำสเปรย์ และอัตราการสเปรย์น้ำที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการสเปรย์น้ำ

1.3.9 ความยาวของจมูกข้าวอยู่ในช่วง 0.5 - 1 มิลลิเมตร

1.3.10 เงื่อนไขที่เหมาะสมในขั้นตอนการบ่มงอก พิจารณาจากระยะเวลาในการบ่มงอก

1.3.11 รูปแบบการอบแห้งแบบเบดหมุน (Rotated bed) ที่ใช้มี 2 วิธี การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน

1.3.12 อุณหภูมิอบแห้งที่ใช้ในการทดสอบ คือ 130 องศาเซลเซียส

1.3.13 กำลังวัตต์ของหลอดฮาโลเจน คือ 2,000 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

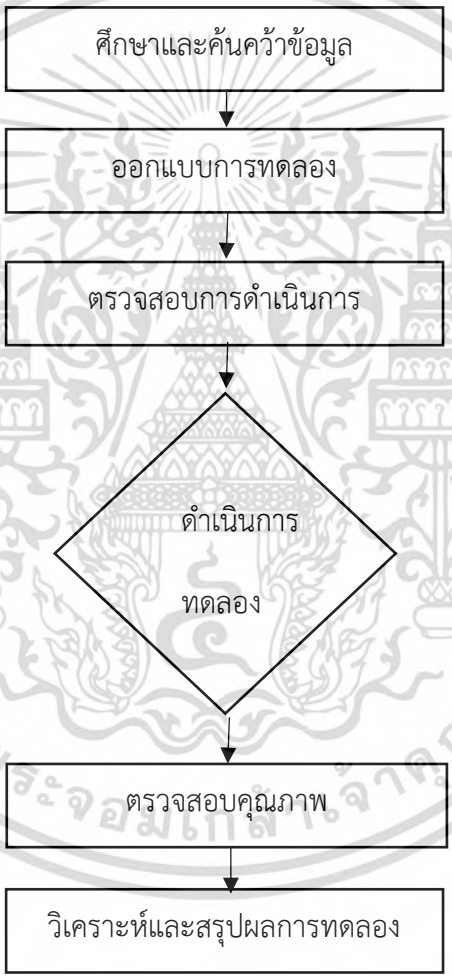
1.3.14 ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 6.5 เมตรต่อวินาที

1.3.15 คุณภาพของข้าวกล้องงอกที่พิจารณา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณสาร GABA ร้อยละการแตกร้าว ร้อยละต้นข้าว และความพึงพอใจของผู้บริโภค

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวงอกโดยใช้เครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ

1.5 วิธีและขั้นตอนในการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	2564								2565	
	ส.ค.	**ก.ย.**	**ต.ค.**	**พ.ย.**	**ธ.ค.**	**ม.ค.**	**ก.พ.**	**มี.ค.**	**เม.ย.**	**พ.ค.**
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัย	←	→								
2. ออกแบบการทดลอง			←	→						
3. ดำเนินการทดลอง				←	→					
4. สรุปผล							←	→		
5.จัดทำเล่มรายงาน									←	→

1.7 สถานที่ทำวิจัย

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว (Rice) [13]

ข้าวเป็นธัญพืชที่สำคัญในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ข้าวแอฟริกา (Oryza glaberrima) ที่มีบริเวณเขตร้อนของทวีปแอฟริกาตะวันตก และอีกกลุ่มคือข้าวเอเชีย ซึ่งเป็นข้าวลูกผสมของข้าวสายพันธุ์ Oryza sativa กับข้าวป่า ปัจจุบันมีการปลูกข้าวเอเชียกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในประเทศอินเดีย บังคลาเทศ รวมถึงในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ข้าวในกลุ่มดังกล่าวสามารถแบ่งออก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ Japonica หรือ Sanica สายพันธุ์ Indica และสายพันธุ์ Javanica หรือพันธุ์ชวา ทั้งนี้ พบว่าสายพันธุ์ Japonica ปลูกกันมากในประเทศจีนตอนเหนือและตะวันออก ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศอื่นๆ ที่อยู่ในเขตอบอุ่น ส่วนสายพันธุ์ Indica จะปลูกในประเทศต่างๆ ที่อยู่ในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้และตอนกลาง อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ ไทย ฟิลิปปินส์ สำหรับสายพันธุ์ Javanica จะเป็นข้าวที่ปลูกในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น

2.2 การจำแนกประเภทของข้าว [14]

2.2.1 จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมี

- ข้าวเจ้า (Non-glutinous rice) ประกอบด้วยแป้งประมาณ 90% ในส่วนของแป้งประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ อะมิโลเปคติน (Amylopetin) 60-90 % และอะมิโลส (Amylose) 10-30%
- ข้าวเหนียว (Glutinous rice) ประกอบด้วยอะมิโลเปคตินสูง 95% มีปริมาณอะ-มิโลสน้อยมากหรืออาจจะไม่พบเลย

2.2.2 จำแนกตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก

- ข้าวไร่ (Upland rice)
- ข้าวนาส่วน (Lowland rice)
- ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (Floating rice)

2.2.3 จำแนกตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก

- ข้าวเบา (Early variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 90-100 วัน
- ข้าวกลาง (Medium variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 100-120 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ข้าวหนัก (Late variety) คือข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยว 120 วันขึ้นไป

2.2.4 จำแนกตามลักษณะความว่องไวต่อช่วงแสง

- ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง (Photoperiod sensitive variety)
- ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง (Non-photoperiod sensitive variety)

2.2.5 จำแนกตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร

- ข้าวเมล็ดสั้น (Short grain) ความยาวไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร
- ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (Medium-long grain) ความยาว 5.51-6.00 มิลลิเมตร
- ข้าวยาว (Long grain) ความยาว 6.61-7.50 มิลลิเมตร
- ข้าวเมล็ดยาวมาก (Extra-long grain) ความยาวมากกว่า 7.50 มิลลิเมตรขึ้นไป

2.2.6 จำแนกตามฤดูเพาะปลูก

- ข้าวนาปีหรือข้าวนาน้ำฝน (Rained rice)
- ข้าวนาปรัง (Off-season rice)

2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและการแปรรูปข้าวเปลือก [15]

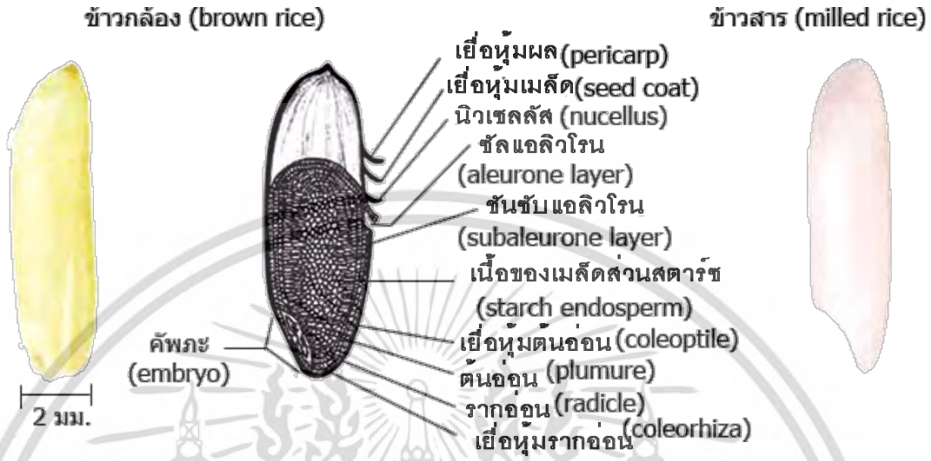
เมล็ดข้าวโดยทั่วไปประกอบ 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มหรือที่เรียกว่าแกลบ และส่วนที่รับประทานได้หรือส่วนของข้าวกล้อง ในส่วนของข้าวกล้องหรือเนื้อผลจะประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก มีความความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลที่อยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนักเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือวัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

โดยทั่วไปในชั้นเยื่อหุ้มผลแบ่งย่อยเป็น 3 ชั้นย่อย คือ เอพิคาร์พ (Epicarp) หรือเอกโซคาร์พ (Exocarp) ซึ่งเป็นผิวนอกสุด ลักษณะเรียบ เหนียว และเป็นมัน ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว ถัดไปเรียกว่าชั้นเมโซคาร์พ (Mesocarp) หรือไฮพอเดิร์ม (Hypoderm) เป็นผนังผลชั้นกลาง และเยื่อชั้นในสุดเรียกว่าเอนโด-ดาร์พ (Endocarp)

ถัดจากเยื่อหุ้มผลจะเป็นเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งประกอบด้วย 2 ชั้นเซลล์ รูปยาว เรียงตามขวาง และมีผนังบางกั้น (มีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอน) ภายในเซลล์มีไขมันและสารเหมือนกับส่วนเยื่อหุ้มผล จึงทำให้ข้าวกล้องมีสีชั้นของเซลล์ที่ติดเยื่อหุ้มเมล็ดเรียกว่าเซลลัส (Nucellus) แต่พันธะระหว่างนิวเซลลัสกับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงแยกออกกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน ส่วนเยื่อในชั้นแอลิวโรน (Aleurone layer) จะเป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น โดยเยื่ออยู่ด้านหลังของเมล็ดจะมีความหนามากกว่าที่อยู่ด้านท้อง และมีความหนาแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ส่วนของคัพภะจะอยู่บริเวณโคนเมล็ดในส่วนท้องของเมล็ด มีส่วนประกอบของรากอ่อน (Radice) ต้นอ่อน (Plumule) คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงมีปริมาณโปรตีน และไขมันสูง



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว [16]

ส่วนของเนื้อเมล็ดหรือเนื้อขาว (Endosperm) เป็นส่วนที่มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80% ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือชั้นซับแอลิวโรน (Subaleurone) และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ด (Starchy endosperm) ชั้นซับแอลิวโรนประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น ที่ถัดจากแอลิวโรน มีกลุ่มโปรตีนที่มีลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะกลมใหญ่ (ขนาด 1-2 ไมครอน) กลมเล็ก (ขนาด 0.5-0.75 ไมครอน) และเป็นผลึกติดกัน (ขนาด 2-3.5 ไมครอน) แต่ในส่วนสตาร์ชในเนื้อของเมล็ดจะมีกลุ่มโปรตีนที่มีลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น และแทรกอยู่ในระหว่างเม็ดสตาร์ช (Starch granules) ที่มีขนาด 3-9 ไมครอน

จากการเปรียบเทียบส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวจากน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก จะมีสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งสัดส่วนต่างๆ เหล่านี้จะมีผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแปรรูปข้าวกล้องและข้าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนโครงสร้างของเมล็ดข้าว [17]

โครงสร้างเมล็ด		% สัดส่วน	
		ค่าเฉลี่ย	ช่วงของสัดส่วน
ข้าวเปลือก		100	-
	แกลบ	20	16-28
	ข้าวกล้อง	80	72-84
ข้าวกล้อง		100	-
	เหยือกหุ้มผล	1.5	1-2
	เหยือกหุ้มเมล็ด	5	4-6
	คัพภะ	3	2-3
	เนื้อเมล็ด	90.5	89-94
คัพภะ		3	-
	รากอ่อน	0.28	-
	ต้นอ่อน	0.34	-
	เยื่อหุ้มรากอ่อน	0.18	-
	ใบเลี้ยง	1.29	1.18-1.40
	ท่อน้ำ ท่ออาหาร	0.26	-
	อื่นๆ	0.75	-

ในการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง จะมีการกะเทาะเปลือกออก ซึ่งแรงที่ใช้ในการกะเทาะจะมากหรือน้อยขึ้นกับพันธุ์ข้าว ผิวของข้าวกล้องจะไม่เรียบและยังคงมีส่วนของคัพภะติดอยู่ สำหรับในขั้นตอนการแปรรูปข้าวกล้องเป็นข้าวสารนั้นจะเป็นการขัดสีผิวของข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาว และได้รำข้าว (Bran) เป็นผลพลอยได้ ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 10% ของน้ำหนักข้าวกล้องก่อนการขัดสี ในรำข้าวนี้จะประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเซลลัส ชั้นแอลิวโรน และคัพภะ มีสีน้ำตาลเข้ม หลังจากขั้นตอนการขัดข้าวจะเป็นขั้นตอนของการขัดมัน ซึ่งจะทำให้ได้ข้าวสาร และรำข้าว (White bran หรือ Polish) ในรำขาวนี้จะประกอบดด้วยรำข้าวที่หลงเหลือจากการขัดขาว ชั้นซับแอลิวโรนบางส่วน และเนื้อเมล็ดบางส่วน มีน้ำหนักรวมประมาณ 2-3% ของน้ำหนักข้าวกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้อง (Brown rice) คือเมล็ดข้าวที่กะเทาะออกเฉพาะเปลือกแต่ไม่ได้ขัดสี เมล็ดข้าวยังมีคัพภะอยู่บริเวณโคนเมล็ด และมีเยื่อรำติดอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหาร และประโยชน์ต่อร่างกาย ในส่วนคัพภะประกอบด้วย โปรตีน วิตามิน ไขมัน แร่ธาตุ และกรดแอมิโน (Amino acid) [17] ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ข้าวกล้องจะมีสีเดียวกับเยื่อหุ้มผล และเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งเป็นส่วนที่มีเส้นใยอาหารสูง โดยทั่วไปข้าวกล้องจะมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 7-12 และถ้าขัดสีข้าวกล้องจนมีสีขาวจะทำให้โปรตีนสูญหายไปประมาณร้อยละ 30

ข้าวกล้องงอก (Germinated brown rice) คือข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ แล้วเพาะงอกจนเกิดจมูกข้าวงอกออกมา ในระหว่างการงอกของข้าว สารอาหารในข้าวกล้องจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีสารอาหารเพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอก คือ เส้นใยอาหาร กรดแกมมา-แอมิโน-บิวทิริก (Gamma-aminobutyric acid, GABA) แกมมา-โอรีซานอล (Gamma-oryzanol) วิตามินอี วิตามินบี 1 และวิตามินบี 6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องงอก และไม่ผ่านการงอก พบว่าปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น 10 เท่า เส้นใยอาหาร และวิตามินอี เพิ่ม 4 เท่า ส่วนวิตามินบี 1 และวิตามินบี 6 เพิ่มขึ้น 3 เท่า และข้าวกล้องที่ผ่านการงอกมีแกมมา-โอรีซานอลเพิ่มขึ้น 1.3 เท่า และสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (Total phenolic compounds) เพิ่มขึ้น 1.2 เท่า ซึ่งนอกจากจะได้ประโยชน์จากการที่มีปริมาณสารอาหารที่สูงขึ้นแล้ว ยังทำให้ข้าวกล้องงอกที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม รับประทานได้ง่ายกว่าข้าวกล้องธรรมดาอีกด้วย จึงง่ายแก่การหุงรับประทานได้โดยไม่ต้องผสมกับข้าวขาวตามความนิยมของผู้บริโภค [18]

เมล็ดข้าวเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีการเจริญเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงจะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว โดยจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงานเมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกสารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็ถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (Oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) นอกจากนั้นโปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็ถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดแอมิโนและเปปไทด์ (Peptide) รวมทั้งยังพบการสะสมสารเคมีสำคัญต่างๆ เช่น แกมมา-โอรีซานอล โทโคฟี-รอล (Tocopherol) และโดยเฉพาะ GABA

2.5 กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก [19]

กระบวนการผลิตข้าวงอกโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการเพาะงอกขณะแช่ในน้ำ เป็นการกระตุ้นเมล็ดข้าวให้เกิดการงอก โดยนำข้าวเปลือกแช่อยู่ในน้ำจนกว่าเอ็มบริโอจะเจริญออกมา ยาว 0.5 – 1 mm แล้ว เทน้ำออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขั้นตอนการให้ความร้อน เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้ข้าวมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวหรือเน่าเสียแล้ว โดยการนำข้าวเปลือกงอกมานึ่งหรือต้มเพื่อฆ่าเชื้อ

3. ขั้นตอนการลดความชื้น โดยการใช้เครื่องอบ ข้าวเปลือกที่อบลดความชื้นควรมีชั้นความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร โดยทั่วไปควรหยุดอบเมื่อข้าวเปลือกที่ผ่านการงอกแล้วมีความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 13-15 ฐานแห้ง ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา

2.6 วิธีการงอกของข้าวเปลือก

การทำข้าวงอกมีวิธีการทำที่หลากหลาย เพื่อให้ข้าวได้รับความชื้นที่จะเกิดการงอก

2.6.1 การแช่น้ำ [20]

การนำข้าวเปลือกไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยจะแช่จนกว่าข้าวจะเกิดการงอก ซึ่งมักใช้ระยะเวลานาน ส่งผลให้ข้าวงอกที่ได้มีกลิ่นเหม็น เนื่องจากเกิดการสะสมของจุลินทรีย์ในระหว่างการแช่น้ำ

2.6.2 การแช่น้ำร่วมกับการบ่ม [21]

การนำข้าวมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเพื่อเพิ่มความชื้น จากนั้นนำไปบ่มเพื่อให้เกิดการงอกโดยระหว่างการบ่มจะมีการสเปรย์น้ำเพื่อรักษาความชื้นให้เพียงพอต่อการงอก แต่อย่างไรก็ตามข้าวก็ยังคงมีกลิ่นหมัก เนื่องจากข้าวเปลือกถูกแช่น้ำอยู่เป็นระยะเวลาหนึ่ง

2.6.3 การแช่น้ำร่วมกับการใช้แรงดันสูง [22]

การนำข้าวไปแช่น้ำที่มีการควบคุมแรงดัน ซึ่งการควบคุมแรงดันน้ำจะช่วยทำให้ข้าวเปลือกสามารถดูดซึมน้ำได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในการแช่น้ำ

2.6.4 การใช้แรงดันไฮโดรสแตติกก่อนการแช่น้ำร่วมกับการบ่ม [23]

การใช้แรงดันไฮโดรสแตติกก่อนจะนำไปข้าวเปลือกไปแช่น้ำ จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำไปบ่มเพื่อให้เกิดการงอก ซึ่งพบว่าข้าวที่ได้รับแรงดันไฮโดรสแตติกก่อนกระบวนการแช่น้ำ จะมีอัตราการงอกเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามข้าวกล้องงอกยังมีปัญหาเนื่องจากมีกลิ่นหมักเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการงอก ซึ่งเกิดเนื่องจากเมตาโบลิซึมภายในเมล็ดข้าว และจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ผิวหน้าของเมล็ดข้าวจึงทำให้เกิดการเน่าขึ้น งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะเพาะงอกด้วยการสเปรย์น้ำเพียงอย่างเดียวเพื่อลดกลิ่นหมักที่เกิดจากการแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 สารอาหารในข้าวงอก [24]

ข้าวงอกซึ่งมีสารกาบา (GABA) มากกว่าข้าวกล้อง 10 เท่า มีประโยชน์ ช่วยรักษาระบบประสาทส่วนกลาง รักษาสมดุลในสมอง ช่วยให้สมองผ่อนคลาย ลดความวิตกกังวล หลับสบาย คลายกล้ามเนื้อ ป้องกันความจำเสื่อม กระตุ้นการผลิต ฮอร์โมนที่ช่วยการเจริญเติบโต สร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อกระชับ ชะลอความชรา ช่วยขับเอนไซม์ขจัดสารพิษ ควบคุมระดับน้ำตาล และพลาสมา-คลอเรสเตอรอลในเลือด ลดความดันเลือด ช่วยให้เลือด ไหลเวียนดี กระตุ้นการขับถ่ายน้ำดีลงสู่ลำไส้เพื่อสลายไขมัน และป้องกันมะเร็งลำไส้ โปรตีนที่ดีช่วยซ่อมแซมส่วนสึกหรอของเนื้อเยื่อได้ดี ไม่มีสารกลูเตนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ได้ มีไฟเบอร์สูงกว่าข้าวขาว 10-20 เท่า ช่วยให้ การย่อยอาหารเป็นไปอย่างช้า ๆ ทำให้น้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดทีละนิด จึงทำให้อิ่มท้องนาน ช่วยลดความอ้วน ป้องกันและรักษาโรคเบาหวานได้ดี ช่วยให้ขับถ่ายสะดวก ช่วยดูดซับไขมัน และสารพิษออกจากร่างกาย ป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ มีไขมันชนิดดี ช่วยลดไขมันในเลือดและหลอดเลือด ป้องกันโรคหัวใจ ยับยั้งเซลล์เนื้องอก ทำลายเซลล์มะเร็งเต้านม มีสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันมะเร็งได้ดีกว่าวิตามินอี 6 เท่า ยับยั้งการเกิดฝ้า และช่วยลดอาการร้อนวูบวาบในสตรีวัยทอง และยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งช่วยขจัด อนุมูลอิสระที่เป็นต้นเหตุของโรคมะเร็งชนิดต่างๆ ได้ดี ช่วยป้องกัน เชื้อไวรัสและแบคทีเรีย ป้องกันโรคหัวใจ ไขข้ออักเสบ และยังมีวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญครบทุกตัว ช่วยให้อวัยวะในร่างกายทำงานได้ดี ทำให้สุขภาพแข็งแรง เช่น

-วิตามิน B1 มีมากกว่าข้าวขาว 4 เท่า ป้องกันโรคเหน็บชา

-วิตามิน B2 มีมากกว่าข้าวขาว 1 เท่า ป้องกันโรค ปากนกกระจอก

-วิตามิน B3 มีมากกว่าข้าวขาว 5 เท่า ช่วยให้ระบบทางเดิน อาหารเป็นปกติ ไม่อืด แน่น เฟ้อ คลื่นไส้ อาเจียน ถ่ายเป็น เลือด ไม่สับสนซึมเศร้า

-วิตามิน B6 ช่วยสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ และกรดโฟริก มีมากกว่าข้าวขาว 5 เท่า ช่วยการเจริญเติบโตของ ระบบสืบพันธุ์ ป้องกันทารกสมองพิการในช่วงเริ่มตั้งครรภ์

2.8 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด [25]

2.8.1 น้ำและความชื้น

ช่วยทำให้เมล็ดอ่อนนุ่มและขนาดขยายใหญ่โดยทั่วไปอัตราการดูดซึมน้ำจะขึ้นกับหลายปัจจัยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเมล็ดได้รับน้ำจะกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ของเอนไซม์ แต่อุณหภูมิจะต้องไม่สูงเกินอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ด อุณหภูมิที่สูงขึ้น 10 องศาเซลเซียสจะกระตุ้นอัตราการดูดซับน้ำได้สูงขึ้นประมาณ 1 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 ออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจนต่ำจะไม่เกิดการงอก หากออกซิเจนมีปริมาณสูงขึ้น อัตราการงอกจะสูงขึ้นแต่พืชบางชนิด เช่น ข้าวจะสามารถงอกได้ในที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ

2.8.3 อุณหภูมิที่เหมาะสม

สำหรับการงอกของเมล็ดแต่ละชนิดอุณหภูมิที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์พืชต่าง ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดต่อการงอกของเมล็ดอยู่ในช่วง 10-35 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเป็นอันตรายต่อเมล็ด โดยปกติไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส

2.8.4 แสง

เมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่ไม่ต้องการแสงในการงอกของเมล็ด ยกเว้นในพืชบางชนิด เช่น พืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีปลอกหุ้มยอดอ่อน

2.9 ความชื้น [26]

ปริมาณความชื้นของวัสดุจะอธิบายอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นมาตรฐานเปียก จะแสดงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ โดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในทางการค้า ซึ่งสามารถคำนวรได้จากสมการที่ 2.1

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d} \tag{2.1}$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง ซึ่งจะใช้ในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ เนื่องจาก dry matter ของวัสดุไม่เปลี่ยนในระหว่างการอบแห้ง ดังนั้นจึงง่ายในการวิเคราะห์การถ่ายเทความชื้น ความชื้นมาตรฐานแห้งหาได้จากสมการที่ 2.2

$$M_d = \frac{M_w}{M_d} \tag{2.2}$$

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้งดังนี้

$$M_d = \frac{W_w}{1-W_w} \tag{2.3}$$

และ

$$M_w = \frac{W_d}{1+W_d} \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (w.b.)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.)

W_w คือ มวลของความชื้น

W_d คือ มวลแห้งของวัสดุ

2.10 ทฤษฎีการอบแห้ง [27]

การอบแห้งเป็นการแยกน้ำออกจากวัตถุชื้น (Moist material) โดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำโดยอาศัยความร้อน สำหรับการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรมักเป็นการอบแห้งแบบพาความร้อน (Convective drying) โดยการเป่าอากาศร้อนผ่านผลิตผลที่เป็นวัตถุชื้น ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังวัตถุทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำในวัตถุจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและระเหยออกมา การถ่ายเทมวลของน้ำจากวัตถุชื้นไปยังอากาศจะหยุดเมื่อความดันไอน้ำที่ผิววัตถุเท่ากับความดันไอน้ำในอากาศ

โดยทั่วไปอัตราการอบแห้งจะแบ่ง 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate regime) ซึ่งเป็นช่วงแรกของการอบแห้ง และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-rate regime) ซึ่งต่อจากช่วงแรก ในช่วงอัตราการแห้งคงที่การระเหยของน้ำจะเกิดที่ผิวของผลิตผล ลักษณะการระเหยจะคล้ายกับการระเหยน้ำจากภาชนะ ซึ่งสามารถเขียนอัตราการอบแห้งคงที่เป็นรูปสมการได้ดังสมการที่ 2.5

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h_c A}{L}(T_a - T_{sur}) \qquad (2.5)$$

เมื่อ

$\frac{dM}{dt}$ คืออัตราการอบแห้ง (kg/s)

h_c คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่เหนือผิวผลผลิต (W/m^2-K)

A คือพื้นที่ผิวของผลิตผล (m^2)

L คือความร้อนแฝงของน้ำในผลิตผล (J/kg)

T_a คืออุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (K)

T_{sur} คืออุณหภูมิที่ผิวของผลผลิต (K)

สำหรับช่วงที่อัตราการแห้งลดลง (Falling-rate regime) สามารถเขียนอัตราการอบแห้งลดลงในรูปสมการได้ดังสมการที่ 2.7

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ M_e คือความชื้นสมดุล (equilibrium moisture constant) ของผลิตผล (%, db)

M คือความชื้นของผลิตผล (%, db)

K คือค่าคงที่การอบแห้ง (drying constant) (s^{-1})

2.11 การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจน [28]

การใช้ความร้อนจากหลอดฮาโลเจนในการอบแห้งโดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดที่ทำด้วยทังสเตน ซึ่งความร้อนจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของรังสีอินฟาเรด เช่นเดียวกับหลอด Incandescent แต่ต่างกันตรงที่มีการบรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอรีน โบรมีน และฟลูออรีนลงในหลอดแก้วที่ทำด้วยควอทซ์ สารที่เติมเข้าไปนี้จะป้องกันการระเหิดตัวของไส้หลอดซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูง ซึ่งช่วยให้หลอดมีอายุยาวนานขึ้น เนื่องจากไอระเหยของทังสเตนเมื่อรวมกับธาตุฮาโลเจนจะกลายเป็นทังสเตนฮาไลต์ (Tungsten halide) แทนที่ทังสเตนจะไปเกาะที่ผิวกระเปาะหลอดไฟด้านใน เมื่อถูกความร้อนทังสเตนจะกลับไปเกาะที่ไส้หลอดได้อีก วิธีการใช้หลอดฮาโลเจนในการอบแห้งมักถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งอาหารเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก ส่วนควอทซ์มีความบริสุทธิ์สูงจึงดูดกลืนแสงในช่วง 300-400 นาโนเมตรได้น้อย ประกอบกับสามารถทนความร้อนได้มากกว่าแก้วมากจึงสามารถเพิ่มความเข้มของแสงได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้งานในช่วง 300-400 นาโน-เมตรได้ดีกว่าหลอดทังสเตน

2.11.1 การลดความชื้นโดยใช้หลอดฮาโลเจน [29]

การลดความชื้นโดยใช้หลอดฮาโลเจนเป็นการแผ่รังสีอินฟราเรด คือ การแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบลงบนผิววัสดุ รังสีอินฟราเรดจะทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โดยที่พลังงานการทะลุผ่านของรังสีอินฟราเรดจะลดลงในรูปแบบเอกโพเนน-เชียล (Exponential) ตามระยะความหนาจากผิววัสดุ ซึ่งมีการดูดซับพลังงานรังสีอินฟราเรดในเนื้อวัสดุทำให้โมเลกุลในเนื้อวัสดุเกิดการสั่นสะเทือน แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน จนถึงระยะความหนาวัสดุที่รังสีอินฟราเรดไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้จะมีการนำความร้อนในเนื้อวัสดุชั้นต่อไป ดังนั้นเมื่อน้ำที่อยู่ในโมเลกุลวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดการแพร่ออกไปยังผิววัสดุทำให้วัสดุนั้นแห้งลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ข้อดีของการลดความชื้นโดยใช้หลอดฮาโลเจน

- ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์สูงเนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ ทำให้สามารถลดระยะเวลาของกระบวนการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

- รังสีสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง

- ควบคุมการทำงานของหลอดรังสีอินฟราเรดได้ง่าย

- แหล่งพลังงานรังสีอินฟราเรดมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพลังงานไดอิเล็กตริกและไมโครเวฟ เนื่องจากแหล่งพลังงานรังสีอินฟราเรดมีอายุการใช้งานยาวนานและมีค่าบำรุงรักษาต่ำ

- การติดตั้งอุปกรณ์รังสีอินฟราเรดใช้พื้นที่น้อย สามารถติดตั้งร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบทั่วไปได้ง่าย

- สภาพแวดล้อมการทำงานภายนอกของเครื่องอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดจะสะอาดมากกว่าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

- วัสดุที่ได้หลังจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีคุณภาพดี

2.13 การลดความชื้นโดยใช้ลมร้อน [30]

การอบแห้งด้วยลมร้อน คือ การใช้ลมร้อนเป่าผ่านวัสดุทำให้ไอน้ำระเหยไปกับลมร้อนทางช่องระบายลมภายในตู้อบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีการอบแห้งแบบการพาความร้อน (Convection dryer) นั้นคือการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวหน้าของวัสดุกับของไหล

2.14 ข้อดีของการลดความชื้นโดยใช้ลมร้อน

2.13.1 ข้อดีของลดความชื้นโดยใช้ลมร้อน

- ช่วยให้เมล็ดของแข็งคลุกเคล้ากับอุณหภูมิได้อย่างสม่ำเสมอ

- การลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนจะเสียพลังงานน้อยกว่าเพราะแรงเสียดทานและน้อยกว่าแบบอื่น

- การลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนเหมาะสมกับขบวนการที่มีปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนหรือดูดความร้อนจำนวนมาก ๆ เพราะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่าแบบอื่น

- มีประสิทธิภาพสูง

- ค่าใช้จ่ายไม่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 การลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน [31]

การลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน คือ การใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุร่วมกับการเปิดหลอดฮาโลเจนเพื่อแผ่รังสีอินฟราเรด ทำให้อุณหภูมิในเมล็ดข้าวจะสูงขึ้นตามกำลังวัตต์ของหลอดฮาโลเจนที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากหลอดฮาโลเจนมีการปล่อยความร้อนออกมา โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้น และอุณหภูมิเมล็ดในทิศทางเดียวกัน นั่นคือความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก หลังจากนั้นความชื้นของเมล็ดข้าวจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการลดลงของความชื้นที่รวดเร็วในช่วงแรกนั้นเกิดจากการพาความชื้นที่บริเวณผิวโดยลมร้อน เมื่อความชื้นที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกมีค่าลดลง ความชื้นจากภายในเมล็ดที่มีค่าสูงจะแพร่มายังบริเวณที่มีค่าต่ำกว่า โดยการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกงอกสามารถระเหยออกไปได้ง่ายกว่า

2.16 ข้อดีของการลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน

- สามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว
- สามารถกระจายความร้อนภายในเมล็ดได้อย่างทั่วถึงมากกว่าการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว
- สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้
- ลดการแตก (Cracking) และรอยแตก (Breakage) ได้ดี

2.17 คุณภาพของข้าวงอกที่สำคัญ

2.17.1 ปริมาณจุลินทรีย์ [32]

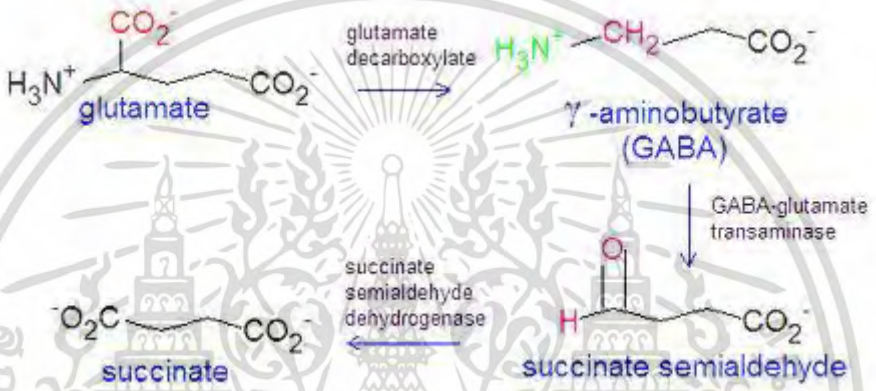
จุลินทรีย์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยายาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เช่น การสังเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์ ระบบการย่อยอาหาร โดยย่อยสลายโมเลกุลของอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง เป็นการทำงานของเอนไซม์โดยไปลดพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ของปฏิกริยาทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายขึ้นโดยใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ เช่น ย่อยคาร์โบไฮเดรตได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ย่อยโปรตีนได้เป็นกรดอะมิโนชนิดต่างๆ สามารถทำให้น้ำตาลแลกโทส เกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็นกรดแลกทิกได้ จึงเกิดกรดแลกทิก และกรดนี้จะทำให้โปรตีนตกตะกอนเป็นลิ่ม และกลิ่นหมัก

2.17.2 ปริมาณสารกาบา (GABA) [33]

กาบา (GABA) เป็นกรดอะมิโนที่ผลิตจากกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชั่น (Decarboxylation) ของกรดอะมิโนกลูตามิก (Glutamic acid) โดยการเร่งของเอนไซม์กลูตาเมตคาร์บอกซิเลส (Glutamate decarboxylase) และใช้วิตามิน B6 ในรูปไพริดอกซอลฟอสเฟต (Pyridoxal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phosphate; PLP) เป็นโคเฟคเตอร์ ดังรูปที่ 2.2 มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าทีเป็นสารสื่อประสาทยับยั้ง (Inhibitory neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลางเป็นสารทชนิดที่ผ่านบริเวณเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จึงทำให้กระแสประสาทผ่านได้น้อยลง เพื่อรักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้นทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย [34-35] อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้า (Anterior pituitary gland) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนช่วยในการเจริญเติบโต (Human growth hormone; HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อและเกิดสารป้อนกันไขมันที่ชื่อ lipotropic ส่งผลในการช่วยป้องกันการสะสมไขมันในร่างกาย [36]

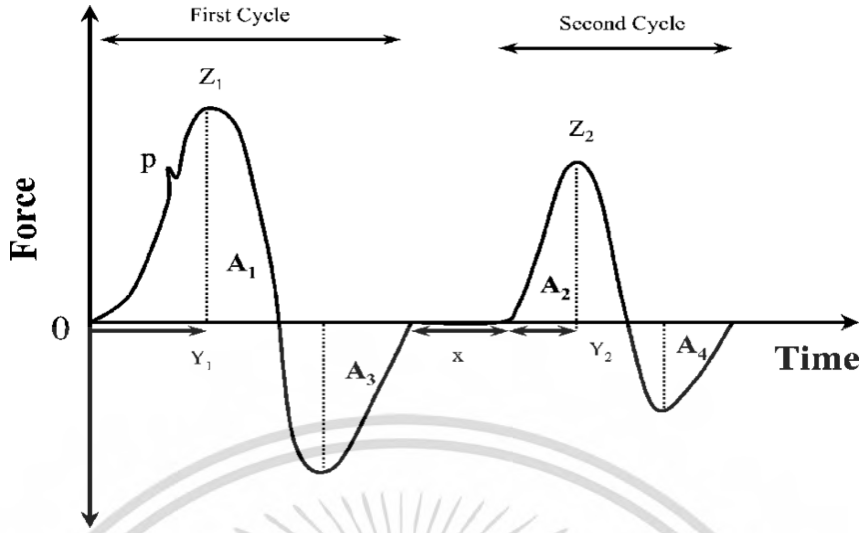


รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์สารกาบาจากกรดอะมิโนกลูตาเมต [37]

2.17.3 คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส [34]

ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเมล็ดขาวประกอบไปด้วยคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ซึ่งรวมไปถึงขนาดรูปร่าง จำนวนและการจัดเรียงตัวของโครงสร้างของเมล็ดข้าว เป็นผลมาจากโครงสร้างธรรมชาติเริ่มต้นของเมล็ดข้าว ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวจึงมีความจำเป็น และสำคัญอย่างมากต่อการยอมรับของผู้บริโภค เนื้อสัมผัสของข้าวงอกใช้เป็นตัวชี้ถึงลักษณะของส่วนประกอบและโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่เรียกว่า Texture profile analysis (TPA) โดยจะวัด 2 คุณลักษณะ คือ ความเหนียวและความแข็ง หรือการสูญเสียรูปร่างของข้าวหุงสุกจากแรงกลจากการบด เคี้ยว หรือการกดทับของแรงจากเครื่องมือ โดยค่าแรงสูงสุดจากการกดและค่าความเหนียวด้วยแรงสูงสุดในการดึงหัวกดขึ้นจากการกดแสดงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะของกราฟที่ได้จากเครื่อง Texture profile analysis (TPA) [35]

2.17.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส [36-39]

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือ การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของอาหาร โดยใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของผู้ชิม ได้แก่ การมอง การฟัง การดม การชิม และสัมผัส โดยใช้จำนวนผู้ชิมที่มากพอสมควรประมวลผลด้วยวิธีทางสถิติและแปลผลอย่างมีเกณฑ์ โดยสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

2.17.4.1 การประเมินคุณภาพโดยใช้ประสาทสัมผัส (Sensory evluations) ในอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

- Sensory evaluations I (Analytical sensory testing) เป็นการประเมินคุณภาพโดยใช้ผู้ประเมินที่ได้รับการฝึกฝนทางด้านประสาทสัมผัสต่ออาหารชนิดนั้นเป็นอย่างดี จุดประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พาะด้าน เช่น ในการผลิตไวน์ในแต่ละครั้ง รส และกลิ่นของของไวน์จะต้องทำในห้องปฏิบัติการที่จัดสำหรับการทดสอบโดยใช้ประสาทสัมผัสเนื่องจากต้องการความแม่นยำสูง

- Sensory evaluation II (Measuring consumer perception) เป็นการประเมินคุณภาพโดยใช้ผู้ประเมินทั่วไปโดยไม่ต้องได้รับการฝึกฝน จุดประสงค์เพื่อสำรวจการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคทั่วไป การประเมินสามารถกระทั้งในห้องปฏิบัติการและสถานที่ทั่วไปการควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อมของห้องทดสอบ การเตรียมตัวอย่าง วิธีการเสนอตัวอย่าง เป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมเพื่อลดผลกระทบต่อการตัดสินในของผู้ทดสอบชิมและคัดเลือกผู้ชิมที่มีลักษณะอารมณ์คงที่และมีประสาทสัมผัสไว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.4.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory tests)

Sensory tests แบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ในที่นี้จะกล่าวเน้นถึงวิธีการที่สามารถใช้ในการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

- Preference/Acceptance tests จัดเป็นการทดสอบความคิดเห็น Affective test ที่ต่อมานิยมเรียกว่า Hedonic test คือการวัดความชอบ หรือการยอมรับที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยวัดความรู้สึกของผู้ชิมต่อผลิตภัณฑ์นั้น โดยทั่วไปแล้วการทดสอบ Affective tests จะใช้ผู้ทดสอบประมาณ 20-100 คน การให้คะแนนอาจแบ่งเป็นสเกล 5 หรือ 9 (5 or 9 point hedonic scale) ซึ่งเป็นการวัดระดับความชอบและไม่ชอบ (Degree of liking and disliking) โดยมีระดับคะแนนตั้งแต่ ชอบมากอย่างยิ่ง (Like extremely) ถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง (Dislike extremely)

- Discriminatory tests เป็นวิธีการทดสอบทางสัมผัส (sensory evaluation) โดยใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน เพื่อบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ด้านต่างๆ เช่น ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณธโดยรวม

2.17.4.3 การทดสอบเชิงพรรณนา (Descriptive tests)

ใช้การหาคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์และใช้ดูเข้มข้นของความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง จัดเป็นวิธีการพรรณนา เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการรวบรามรายละเอียดของลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่งมีหลายวิธีการดังนี้

- Texture profile analysis เป็นการทดสอบโดยการใช้หัวกดทดสอบแบบแผ่นแบนซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของวัสดุเป็นการให้แรงกด (Compression test) ลงบนตัวอย่างอาหาร ขนาดมาตรฐาน 2 ครั้ง เป็นการจำลองการใช้ฟันบดอาหาร การทดสอบ

- Quantitative Descriptive Analysis (QDA) การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารหนึ่งใดที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้จะต้องเลือกใช้วิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำเชื่อถือได้ และในแต่ละขั้นตอนต้องทำด้วยความระมัดระวัง การชั่งตวง และวัดปริมาณของสารเคมีต่างๆ ต้องทำด้วยความถูกต้อง เครื่องแก้วทุกชนิดต้องล้างให้สะอาด และอยู่ในสภาพแห้งก่อนนำมาใช้ วิเคราะห์เชิงปริมาณ

2.17.5 ร้อยละต้นข้าว [40]

ร้อยละต้นข้าว เป็นตัวบ่งบอกคุณภาพสี (Milling quality) ซึ่งเป็นคุณภาพทางกายภาพที่สำคัญในการกำหนดราคาข้าว โดยดูจากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (Whole grain) และต้นข้าว (Head rice) โดยข้าวที่มคุณภาพสีดีเป็นข้าวที่เมื่อผ่านการขัดสีแล้วได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวหัก (Broken rice) น้อย ในข้าวการขัดสีข้าวเปลือก ถ้าได้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดและต้นข้าวมาก หรือเปอร์เซ็นต์ข้าวหักน้อย แสดงว่าข้าวเปลือกมีคุณภาพการสีสูง โดยข้าวข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวที่ดีต้องมีค่ามากกว่า 50%

2.17.6 ร้อยละการแตกร้าวของข้าว [41]

ร้อยละการแตกร้าวของข้าว จะส่งผลรูปร่างของข้าวหลังการหุงสุก การแตกร้าวจะส่งผลให้รูปร่างของข้าวกล้องงอกหลังหุงสุกจะไม่สวยงาม ส่งผลต่อความพึงพอใจในการบริโภค การแตกร้าวที่เกิดขึ้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้น และอุณหภูมิ ความชื้นมีผลต่อความเครียดที่เกิดขึ้นในเมล็ดมากกว่าอุณหภูมิ โดยการเปลี่ยนแปลงความชื้นในเมล็ดข้าวมีผลต่อความเครียดเมล็ดข้าวมากกว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 100 เท่า ซึ่งความเครียดที่เกิดขึ้นในเมล็ดจะส่งผลต่อการแตกร้าวของเมล็ดข้าวได้

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กมลวรรณ และคณะ [42] ได้ศึกษาผลของวิธีการงอกและระยะเวลางอกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยจัดสิ่งทดลองแบบ 2x8 แฟคตอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยที่ศึกษา คือ วิธีงอก 2 วิธี ได้แก่ การงอกโดยการแช่น้ำและการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำ และระยะเวลางอก 8 ช่วง ได้แก่ 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 และ 96 ชั่วโมง งอกที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส โดยใช้ข้าวกล้องที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม จากการศึกษาพบว่าการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำได้แป้งข้าวกล้องที่มีน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นมากกว่าการแช่น้ำ เมื่อระยะเวลางอกเพิ่มขึ้นน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวของแป้งข้าวกล้องงอกของทั้ง 2 วิธีลดลง และการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำได้แป้งข้าวกล้องงอกที่มีกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (GABA) อิสระสูงกว่าการงอกโดยแช่น้ำ ที่ช่วงเวลางอก 24-60 ชั่วโมง แต่ที่ระยะเวลางอก 96 ชั่วโมง การงอกโดยการแช่น้ำได้ GABA อิสระสูงกว่าการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำ

Sharma et al. [43] ได้ศึกษาการแช่ด้วยแรงดันสูงต่อการดูดซึมน้ำการทำให้เป็นเจลาตินและคุณสมบัติทางเคมีของลูกเดือยที่งอกและไม่งอก โดยการแช่เมล็ดข้าวด้วยแรงดันสูงประกอบด้วยแรงดันสามระดับ คือ 200, 400 และ600 MPa อุณหภูมิ 20, 40, 60, และ 80 องศาเซลเซียส และเวลาสี่ระดับ 30, 60, 90, และ 120 นาที โดยการแช่เมล็ดข้าวด้วยแรงดันสูงช่วยเพิ่มการดูดซึมน้ำอย่างมีนัยสำคัญการเพิ่มเจลาติไนซ์ของแป้งได้ค่าสูงสุด 64.93% พบว่าการแพร่กระจายของน้ำเพิ่มขึ้นด้วยความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นผลลัพธ์ที่ได้เหมาะสมสำหรับการแช่ด้วยแรงดันสูง คือ 400 MPa ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาที่แช่ 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Xia et al. [44] ได้ศึกษาแรงดันไฮโดรสแตติกสูงใช่ก่อนกระบวนการแช่เพื่อปรับสภาพการงอกของข้าว โดยรับความเค้นด้วยแรงดันไฮโดรสแตติกสูงที่ความเค้น 30-90 MPa เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงบ่นนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 52 ชั่วโมง พบว่าการตอบสนองการปรับตัวที่เกิดจากแรงดันไฮโดรสแตติดสูงในระหว่างการงอก แม้ว่าความเครียดของแรงดันไฮโดรสแตติดสูงก่อนการแช่จะส่งผลให้มีการเจริญโตของธัญพืชและเพิ่มอัตราการงอก 65-76%

Baranzelli et al. [45] ได้ศึกษาการงอกของข้าวสาลีที่เกิดจากห้องแลปและการงอกส่งผลต่อคุณสมบัติของแป้ง โดยเวลาที่แช่ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่าเวลาในการงอกของข้าวสาลีเพิ่มขึ้น สามารถสร้างการทำงานของเอนไซน์และความสามารถละลายแป้ง แป้งมีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นและยืดตัวที่เกิดจากการงอกของข้าวสาลี

กรกฎ และคณะ [46] ได้ศึกษาประโยชน์ของสารกาบาที่เกิดจากการงอก เนื่องจากสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ตัวอย่างเช่น กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (GABA) กาบาเป็นกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันของกรดกลูทามิกกระบวนการเมแทบอลิซึมของกาบาเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ 3 ชนิด ได้แก่ กลูทาเมตดีคาร์บอกซิเลส กาบาแทรนส์อะมิเนส และซักซินิก เซมิแอลดีไฮด์ ดีโฮโดรจีเนส พบว่าการแช่และการทำให้งอกของข้าวกล้องมีผลต่อการเพิ่มปริมาณกาบา แต่ปริมาณกาบาจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับข้าวแต่ละสายพันธุ์ การผลิตข้าวกล้องให้สารกาบาสูงขึ้นอยู่กับสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ เวลาในการแช่ เวลาการเพาะงอก อุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสม ประโยชน์ของกาบาได้แก่ ช่วยลดความดันโลหิต ทำให้สมองผ่อนคลาย ป้องกันโรคอัลไซเมอร์ ยับยั้งการสร้างเซลล์มะเร็ง ป้องกันโรคเบาหวาน แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของสารกาบาและนวัตการผลิตข้าวกล้องงอกให้สารกาบาสูง

นฤบดี และคณะ [47] ได้ศึกษาผลกระทบของเทคนิคการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้อากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 และสุพรรณบุรี 1 โดยการนำข้าวกล้องงอกมาอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90, 110, 130 และ 150 องศาเซลเซียส และการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิอบแห้ง 130 และ 150 องศาเซลเซียส โดยความชื้นของข้าวกล้องงอกเริ่มต้นประมาณ 52% d.b. หลังจากการอบแห้งนำข้าวกล้องงอกที่ได้ไปเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาเป่าด้วยอากาศแวดล้อมจนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 13-15% จากผลการทดลองพบว่า ในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งน้อยที่สุด เมล็ดข้าวมีร้อยละการแตกร้าวที่ 90-100 และเกิดการแตกร้าวในแนวขวางของเมล็ด เมื่อมีอัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการอบแห้ง ทำให้ร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดข้าวลดลงในช่วงร้อยละ 41-65 ที่อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไชยรัตน์ [48] ได้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดถั่วหรั่งงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน ที่ส่งผลต่อคุณภาพของถั่วหรั่งงอกในด้านปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณสารอาหาร ปริมาณสาร GABA สีของถั่วหรั่งงอก และความพึงพอใจของผู้บริโภคเกี่ยวกับ กลิ่น สี และเนื้อสัมผัสของถั่วหรั่งงอก โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 90, 110, 130 และ 150 องศาเซลเซียส สำหรับการอบแห้งแบบลมร้อน และที่อุณหภูมิอบแห้ง 90, 110, 130 และ 150 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้หลอดฮาโลเจน 600 และ 800 W สำหรับการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน ดำเนินการอบแห้งจนความชื้นลดลงเหลือ 13% (d.b.) นอกจากนี้ยังศึกษาถึงความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด (V_{min}) และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง ผลการศึกษาพบว่าการอบแห้งฟลูอิด-ไดซ์เบดแบบลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน จะช่วยให้ความชื้นของเมล็ดถั่วหรั่งงอกลดลงอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น โดยการอบแห้งที่ 150 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 600 W และ 150 องศาเซลเซียสแบบลมร้อน ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 800 W ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดประมาณ 20 นาที เร็วกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส ประมาณ 1.5 เท่า ด้านคุณภาพของเมล็ดถั่วหรั่งอบแห้ง พบว่าปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้น 6 เท่า หลังการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมร้อนและเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน ปริมาณสาร GABA ของถั่วหรั่งลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น และโดยภาพรวมการผลิตถั่วหรั่งงอกอบแห้งที่เงื่อนไข 130°C HA ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 800 W พบว่า เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากคะแนนความพึงพอใจ คุณภาพของถั่วหรั่งอบแห้งและปริมาณสาร GABA

พรพิชญ์ [49] ได้ศึกษาศึกษาการเพิ่มคุณภาพข้าวนึ่งด้วยกระบวนการงอกและลดความซับซ้อนของกระบวนการผลิตข้าวนึ่งโดยวิธีไม่ใช้ไอน้ำ (แช่และอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน) พร้อมทั้งศึกษาอิทธิผลของอุณหภูมิและกำลังวัตต์ที่ส่งผลต่อคุณภาพปริมาณสาร GABA ร้อยละต้นข้าว คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส คุณภาพทางด้านสี ลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้ง ระดับการเกิดเจลาทิไนเซชัน การตรวจสอบจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา) และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 130, 150 และ 170 องศา-เซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่มีกำลังวัตต์ 2,000, 3,000 และ 4,000 W ที่ความสูงเบด 10 cm ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำแช่ที่มีระยะเวลาการงอกสั้นที่สุดโดยให้ร้อยละการงอกอยู่ที่ 95% คืออุณหภูมิน้ำแช่ที่ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของลมร้อนและกำลังวัตต์ของหลอดฮาโลเจนที่ใช้ในการอบแห้งส่งผลต่อคุณภาพของข้าวงอกนึ่งในด้านร้อยละต้นข้าว ค่าความแข็ง ปริมาณสาร GABA ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และค่าความขาวอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิของลมร้อนและกำลังวัตต์ของหลอดฮาโลเจนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวและค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร GABA ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และค่าดัชนีความขาวมีค่าลดลง ยกเว้นอุณหภูมิที่ 130-150 องศา-เซลเซียส ที่ไม่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุ

เมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ คือ ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 จากศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวราชบุรี จังหวัดราชบุรี มีลักษณะของเมล็ดเป็นเมล็ดเปลือกสีฟาง มีขน มีหางเล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3.2.1 เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ

ทำหน้าที่ ผลิตข้าวงอกโดยการสเปรย์น้ำ แสดงดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ

3.2.2 เครื่อง Water bath

ทำหน้าที่ แช่ข้าวเปลือกเพื่อให้เกิดการงอก แสดงดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 เครื่อง Water bath

3.2.3 ปั๊มลมออกซิเจน (Aquarium air pump)

ทำหน้าที่ ช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำขณะทำการแช่ข้าวเปลือกในระหว่างกระบวนการงอกของข้าวเปลือก แสดงดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ปั๊มลมออกซิเจน (Aquarium air pump)

3.2.4 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

ทำหน้าที่ อบแห้งข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้น แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 Moisture can

ทำหน้าที่ ใส่ตัวอย่างการทดลองที่ต้องอบเพื่อลดความชื้นและนำมาคำนวณความชื้น แสดงดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 Moisture can

3.2.6 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใช้ในการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกในการทดลอง มีหน่วยเป็นกรัม แสดงดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

3.2.7 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกงอก

ทำหน้าที่ วัดอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกงอกหลักการอบแห้ง แสดงดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ทำหน้าที่ ชั่งน้ำหนักของข้าวเปลือก มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) แสดงดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2.9 เครื่องกะเทาะเปลือก

ทำหน้าที่ เป็นเครื่องกะเทาะเปลือกข้าวเพื่อทำการแยกข้าวกล้องออกจาข้าวเปลือก แสดงดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 เครื่องกะเทาะเปลือก

3.2.10 เครื่องคัดคุณภาพข้าว

ทำหน้าที่ ในการคัดแยกข้าวสารที่ต้นข้าว (Head rice) ออกจากปลายข้าว (Broken rice) แสดงดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 เครื่องคัดคุณภาพข้าว

3.2.11 เครื่องบดข้าว

ทำหน้าที่ ใช้บดเมล็ดข้าวตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นผงเพื่อใช้เตรียมตัวอย่างตรวจคุณภาพต่อไป แสดงดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 เครื่อง Ultra centrifugal mill (Restch, model no. ZM 100, Hann, Germany)

3.2.12 ตะแกรงร่อน (Sieve)

ทำหน้าที่ เป็นตะแกรงร่อนแป้งเบอร์ 250 Mesh testing sieve เพื่อร่อนผงแป้งที่จะนำไปใช้ในการตรวจวัดคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 ตะแกรงร่อน (Sieve) Metric 250 µm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.13 หลอดฮาโลเจน (Halogen lamp)

ทำหน้าที่ หลอดฮาโลเจน ขนาด 1,000 W ที่ถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการอบแห้ง เพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการลดความชื้นให้กับเมล็ดข้าวเปลือก แสดงดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 หลอดฮาโลเจน (Halogen lamp)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การผลิตข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์

3.3.1.1 การหาอุณหภูมิน้ำสเปรย์ และอัตราการสเปรย์น้ำที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสเปรย์น้ำ

นำเมล็ดข้าวเปลือกสายพันธุ์ปทุมธานี 1 จำนวน 2 กิโลกรัม ใส่ในเครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ จากนั้นทำการสเปรย์น้ำพร้อมหมุนตะแกรงที่ความเร็วรอบ 15 รอบต่อนาที อุณหภูมิน้ำสเปรย์ที่ใช้คือ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส และอัตราการสเปรย์น้ำที่ใช้คือ 5, 7 และ 9 ลิตรต่อนาที โดยจะทำการสเปรย์น้ำเป็นเวลา 1 นาที และหยุดการสเปรย์น้ำ 30 นาที ในทุกครั้งที่สเปรย์น้ำเสร็จ ตะแกรงจะหยุดทำงานและจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่อถึงเวลาในการสเปรย์น้ำครั้งต่อไป ก่อนการสเปรย์น้ำในแต่ละรอบ จะสุ่มเอาตัวอย่างข้าวเปลือกมาเก็บค่าความชื้นการสเปรย์น้ำจะหยุดเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นเท่ากับ 30% w.b. โดยเป็นความชื้นที่เพียงพอต่อการงอกของข้าวเปลือก หลังจากนั้นเลือกอุณหภูมิน้ำสเปรย์ และอัตราการสเปรย์น้ำที่ใช้จำนวนครั้งในการสเปรย์ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการสเปรย์ และระยะเวลาในการสเปรย์น้ำที่น้อยที่สุดไปใช้ในกระบวนการบ่มงอก

3.3.1.2 การหาระยะเวลาในการงอกในกระบวนการบ่มงอก

นำข้าวเปลือกที่มีความชื้น 30% w.b. มาบ่มงอกในเครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ โดยใช้วิธีการบ่ม 3 รูปแบบ คือบ่มแบบเบดนิ่ง (Fixed bed) บ่มแบบเบดหมุน (Rotated bed) และบ่มแบบเบดหมุนพร้อมสเปรย์น้ำ (Rotated bad + water spray) การหมุนของตะแกรงจะหมุนทุกๆ 12 ชั่วโมง โดยใช้ความเร็วรอบในการหมุน 15 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ในส่วนของการสเปรย์น้ำจะใช้อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 40 องศาเซลเซียส และอัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างการบ่มงอกจะสุ่มเอาข้าวเปลือกไปทำการวัดความชื้นและร้อยละการงอกในช่วงเวลาการบ่มงอกต่างๆจนกระทั่งข้าวเปลือกมีร้อยละการงอกประมาณ 90%

3.3.1.3 การหารูปแบบการอบแห้งที่เหมาะสม

นำเมล็ดข้าวเปลือกงอกสายพันธุ์ปทุมธานี 1 จำนวน 2 กิโลกรัมมาใส่เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ โดยใช้วิธีการอบแห้ง 2 วิธี คือการอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000 W และมีความเร็วลมที่ 6.5 เมตรต่อวินาที เป่าผ่านข้าวเปลือกงอก โดยรูปแบบการอบแห้งแบบเบดหมุน สำหรับการอบแห้งแบบเบดหมุน จะใช้ความเร็วรอบในการหมุนที่ 15 รอบต่อนาที หลังจากทำการอบแห้งแล้ว ข้าวเปลือกงอกจะถูกนำมาออกจากตู้อบเพื่อทำการวัดความชื้นและอุณหภูมิเพื่อเก็บลักษณะ การเปลี่ยนแปลงของความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดในช่วงเวลาการอบแห้งต่าง ๆ จนกระทั่งได้ข้าวเปลือกงอกที่มีความชื้นประมาณ 18-19% w.b. (22-23% d.b.)

3.3.2 การผลิตข้าวงอกโดยวิธีแช่น้ำ

3.3.2.1 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการงอก

การผลิตข้าวงอกโดยวิธีแช่น้ำจะใช้เพื่อเปรียบเทียบกับการผลิตข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำโดยการผลิตข้าวงอกโดยวิธีแช่น้ำจะนำเมล็ดข้าวเปลือกสายพันธุ์ปทุมธานี 1 จำนวน 2 กิโลกรัมมาใส่เครื่อง Water bath ที่บรรจุน้ำ 7 ลิตรโดยอุณหภูมิน้ำที่ใช้คือ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส และทำการเปลี่ยนน้ำทุก 4 ชั่วโมงเพื่อลดการสะสมของจุลินทรีย์ในระหว่างการแช่น้ำจะทำการบันทึกค่าความชื้นและเปอร์เซ็นต์การงอกทุกๆ 8 ชั่วโมง จนกระทั่งได้ร้อยละการงอกของข้าวเปลือกที่ 90%

3.3.2.2 กระบวนการอบแห้ง

นำเมล็ดข้าวเปลือกงอกสายพันธุ์ปทุมธานี 1 จำนวน 2 กิโลกรัมมาใส่เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ หลังจากนั้นเปิดลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000 W และมีความเร็วลมที่ 6.5 เมตรต่อวินาที เป่าผ่านข้าวเปลือกงอก สำหรับการอบแห้งแบบเบดหมุน จะใช้ความเร็วรอบในการหมุนที่ 15 รอบต่อนาที หลังจากทำการอบแห้งแล้ว ข้าวเปลือกงอกจะถูกนำมาออกจากตู้อบเพื่อทำการวัดความชื้นและอุณหภูมิเพื่อเก็บลักษณะ การเปลี่ยนแปลงของความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดในช่วงเวลาการอบแห้งต่าง ๆ จนกระทั่งได้ข้าวเปลือกงอกที่มีความชื้นประมาณ 18-19% w.b. (22-23% d.b.)

3.4 การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

-นำตัวอย่างข้าวเปลือกมาใส่ในกระป๋องความชื้น (Moisture can) แล้วนำไปชั่งน้ำหนักก่อนเข้าตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-นำตัวอย่างเข้าตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

-จากนั้นนำข้าวที่ผ่านกระบวนการอบในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) แล้วมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อบันทึกน้ำหนักแล้วนำน้ำหนักที่ได้ทั้งก่อนและหลังเข้าตู้อบไปคำนวณหาค่าความชื้นโดยใช้สมการที่ 3.1 หรือ 3.2

$$M_d = \frac{w-d}{d} x100 \quad (3.1)$$

$$M_w = \frac{w-d}{w} x100 \quad (3.2)$$

เมื่อ w คือ น้ำหนักของข้าวก่อนเข้าตู้อบ (g)

d คือ น้ำหนักของข้าวหลังออกจากตู้อบ (g)

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก % (w.b.)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง % (d.b.)

3.5 การทดสอบหาร้อยละการงอกของข้าวเปลือก

-สุ่มเมล็ดข้าวมาจำนวน 100 เมล็ด

-นับจำนวนเมล็ดข้าวที่งอกโดยเมล็ดที่งอกจะปรากฏตุ่มขนาดเล็กประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตรออกมาบริเวณจมูกข้าวเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การงอก ดังสมการที่ 3.3

-ทำการทดสอบ 3 รอบแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

ร้อยละการงอก (%) = (จำนวนเมล็ดที่งอก / จำนวนเมล็ดทั้งหมด) x 100 (3.3)

3.6 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการสเปรย์

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการสเปรย์ = อัตราการสเปรย์น้ำ x จำนวนครั้งในการสเปรย์น้ำ (3.4)

3.7 การทดสอบหาร้อยละต้นข้าว (Head rice yield)

นำข้าวตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นแล้ว น้ำหนัก 125 กรัม มาเข้าเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกเพื่อให้เป็นข้าวกล้อง จากนั้นทำการคัดแยกข้าวเปลือกที่ไม่สามารถกะเทาะเปลือกได้ออกจากข้าวกล้อง แล้วนำข้าวกล้องนั้นไปเหวี่ยงด้วยเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวเพื่อแยกข้าวหักออกจากข้าวเต็มเมล็ด เป็นเวลา 90 วินาที จากนั้นนำมาคำควณเปอร์เซ็นต์ Head rice yield ได้จากสมการที่ 3.5

$$\%HRY = \left(\frac{X_{rice}}{X_{total} - X_{paddy}} \right) x100 \quad (3.5)$$

เมื่อ %HRY คือ ร้อยละต้นข้าว (%)

X_{rice} คือ ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_{total} คือ ปริมาณข้าวเปลือกทั้งหมด (g)

X_{paddy} คือ ปริมาณข้าวเปลือกที่ไม่ถูกกะเทาะ (g)

3.8 การทดสอบหาร้อยละการแตกร้าว

การตรวจวัดปริมาณการแตกร้าวของข้าวกล้องงอกแห้ง โดยสุ่มตัวอย่างข้างกล้องงอก 100 เมล็ด ที่ทำการวัดการแตกร้าว โดยนำส่องแสงไฟเพื่อสังเกตรอยร้าวที่เกิดขึ้น ซึ่งจะทำการตรวจวัดรอยร้าวที่เกิดตามแนวยาว และตามขวางของเมล็ด ทั้งที่ร้าวแบบรอยเดียว และหลายรอย โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และรายงายข้อมูลในรูปแบบของร้อยละการแตกร้าวของเมล็ด

3.9 การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค

การตรวจสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค เพื่อนำมาวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้บริโภคในด้านคุณภาพของเมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการอบแห้งทั้ง 2 วิธี

-กำหนดและสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภคในด้าน สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวที่ผ่านการกระบวนการอบแห้งทั้ง 2 วิธี

-จัดเตรียมข้าวตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ นำมาทำความสะอาดเพื่อไปหุงสุกโดยใช้อัตราส่วนข้าวและน้ำเป็น 1:2

-นำตัวอย่างข้าวงอกที่หุงสุกแล้ว โดยสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จำนวน 50 คน

-ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกจะประเมินความพึงพอใจของผู้แบบสอบถามวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS มีเกณฑ์ระดับความพึงพอใจ ซึ่งใช้สเกลประเมินแบบ 9-point Hedonic Scale ดังนี้ ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 9 อยู่ในเกณฑ์ชอบมากที่สุด

8 อยู่ในเกณฑ์ชอบมาก

7 อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง

6 อยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย

5 อยู่ในเกณฑ์เฉยๆ

4 อยู่ในเกณฑ์ไม่ชอบเล็กน้อย

3 อยู่ในเกณฑ์ไม่ชอบปานกลาง

2 อยู่ในเกณฑ์ไม่ชอบมาก

1 อยู่ในเกณฑ์ไม่ชอบมากที่สุด

-รวบรวมและสรุปผลความพึงพอใจของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การทดสอบหาปริมาณสารกาบา (GABA) [50]

บดตัวอย่างข้าวกล้องงอก 300 กรัม และเติมลงไปในสารละลายของน้ำ 1.8 ml และกรดซัลโฟซาลิไซลิก 200 µl หลังจากนั้นเขย่าสารผสมด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 20 นาที และทำการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 4,200 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกสารละลายที่อยู่ในสภาพของเหลว จากนั้นผสมสารละลายส่วนใสเหนือตะกอน 50 µl กับโซเดียมไบคาร์บอเนต 50 µl และDabsyl-Cl 4 mM เขย่าจะกลายเป็นสารผสมและเก็บไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เติมสารผสมลงในเอทานอล 250 µl และโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 250 µl ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.8 กรองสารผสมมาฉีดส่วนใสเหนือตะกอน 5 µl เข้าในระบบ HPLC (Agilent 1100 series, Agilent Technologies, USA) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 46 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร โดยเซ็ตอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส และใช้ Acetonitrile เป็น Mobile Phase ที่อัตราการไหล 1 ml/min ให้มีปริมาณที่ฉีด 10 µl

3.11 การทดสอบหาจุลินทรีย์ [51]

การตรวจจุลินทรีย์ในข้าวกล้องงอกจะวัดจากปริมาณของ แบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา โดยปริมาณของแบคทีเรียหาด้วยวิธี Total Plate Count ส่วนผสมของวุ้นที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงของเชื้อจุลินทรีย์ประกอบไปด้วย Tryptone 5 g ยีสต์สกัด 2.5 g Dextrose 1 g วุ้น 15 g และน้ำกลั่น 1 L ส่วนผสมทั้งหมดจะผสมให้เข้าด้วยกัน เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ นำอาหารเลี้ยงเชื้อเทลงบน Plate จำนวน 3 จาน แต่จานมีอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณ 12-15 mL ก่อนใส่อาหารเลี้ยงเชื้อในแต่ละจานนั้นนำมาสเตอริไรส์ด้วย Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และทำให้เย็นตัวลงที่ 45 องศาเวลเซียส นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกมาบดเป็นแป้งข้าวด้วยเครื่อง Tekmar Stomachr 80 pulverizer (American Instrument Exchange, Haverhill, MA) และใช้ตะแกรงร่อนด้วยขนาด 80-mesh นำแป้งข้าวจำนวน 50 g ที่ได้จากการบดมาผสมเข้ากับ 450 mL ของ Butterfield's phosphate-buffered และเจือจางด้วยน้ำใน Blender jar เป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นนำส่วนผสมที่อยู่ในรูปของสารละลายปริมาณ 1mL มาใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 3 จาน จากนั้นทำให้เย็นจนกระทั่งอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัวและนำไปให้ความร้อนในตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวน Colony ของแบคทีเรียและทำการบันทึกผล

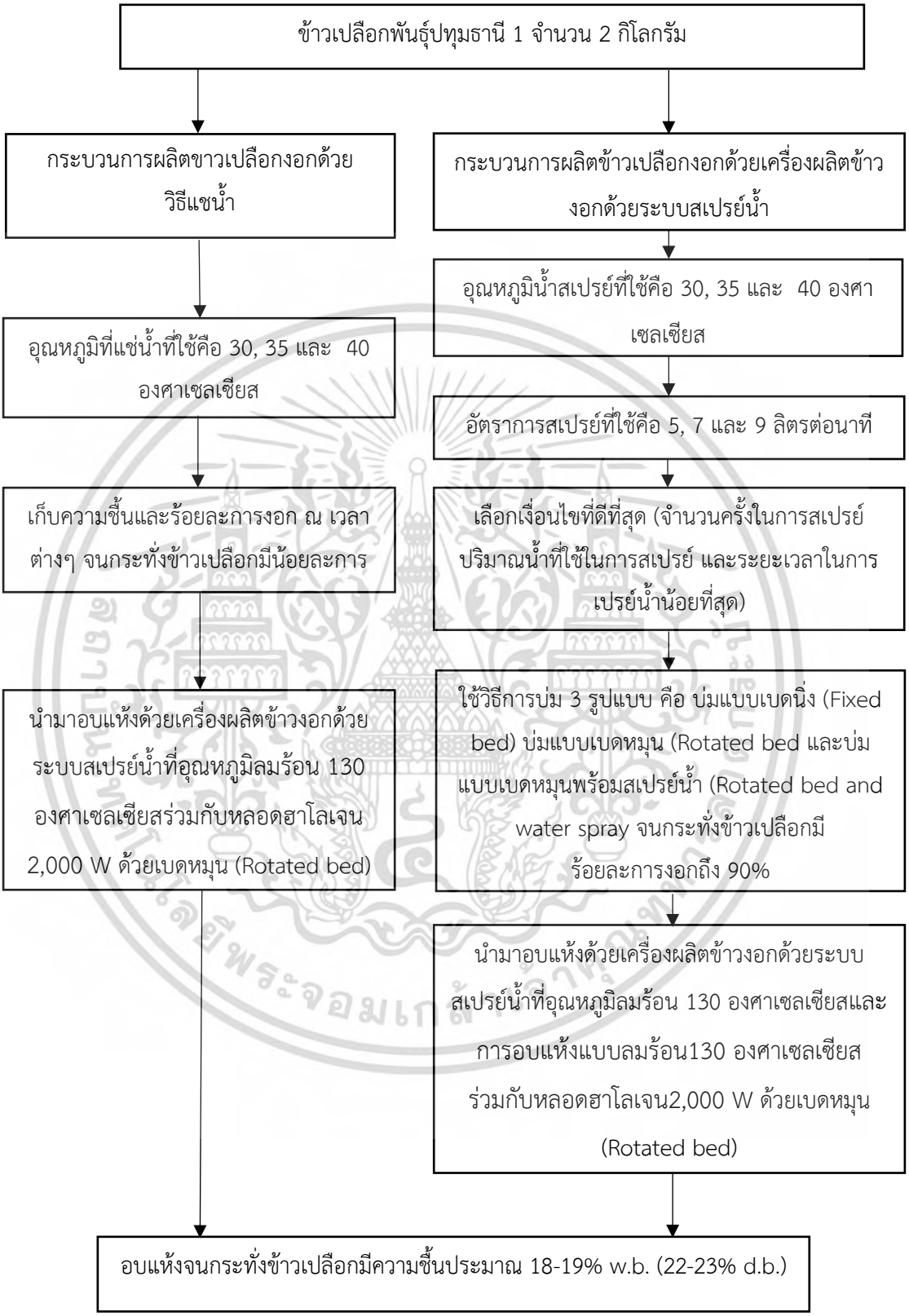
สำหรับการหาปริมาณของยีสต์และเชื้อรา อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้แตกต่างกับในกรณีของแบคทีเรีย โดยใช้ Dichloran Rose Bengal Chloramphenical เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC ใส่ลงบน Plate จำนวน 3 จาน ในแต่ละจานมีปริมาณ DRBC 15-20 mL หลังจากนั้นจะนำจานอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยงมาทำให้เย็นตัวลงจนกระทั่งอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว นำตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอกมาละลายใน Butterfield's phosphate-buffered และนำมาเจือจางด้วยน้ำใน Blender jar เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่อยู่ในรูปของสารละลายปริมาณ 0.1 mL มาเทลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 3 จานและนำไปให้ความร้อนที่ตู้เพาะเชื้ออุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-7 วัน นับจำนวน Colony ของยีสต์และเชื้อรา จากนั้นทำการบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 แผนผังขั้นตอนการทดลองโดยรวม



รูปที่ 3.15 แผนผังขั้นตอนการทดลองโดยรวม

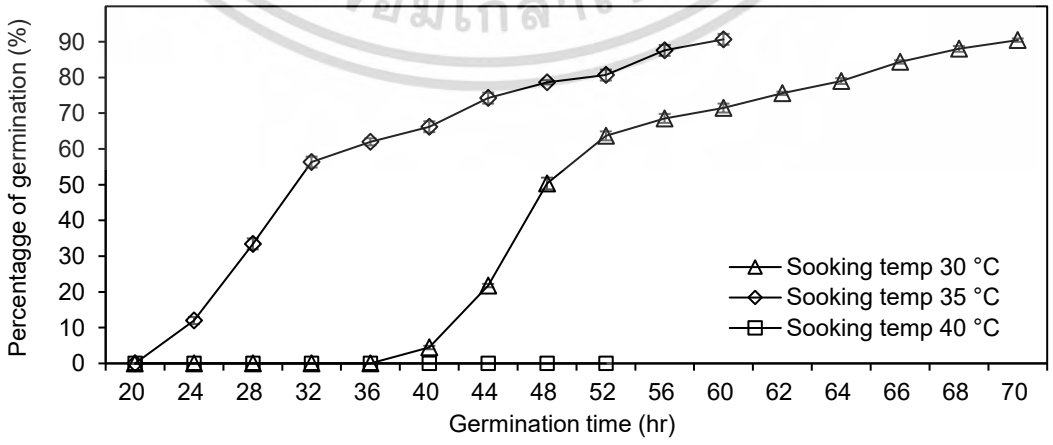
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและการวิจารณ์ผล

4.1 ร้อยละการงอก และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกโดยวิธีการแช่น้ำ

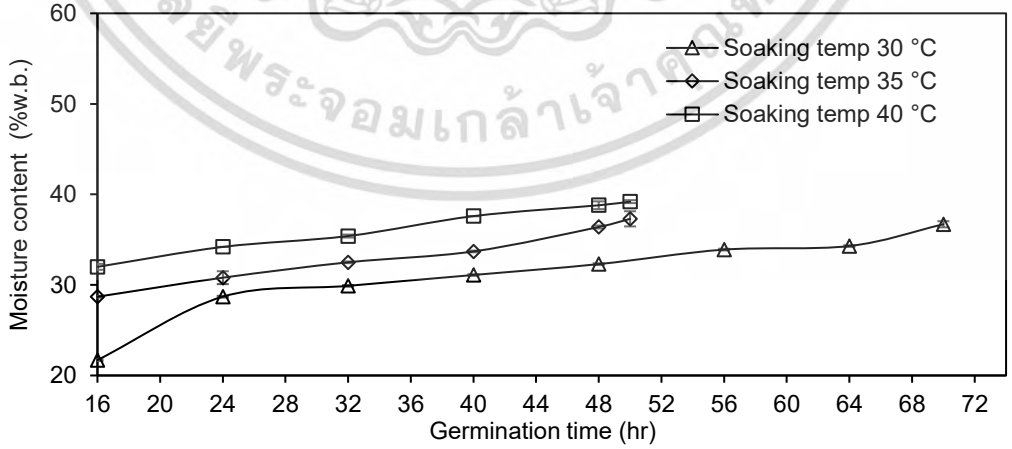
จากการทดลองแช่ข้าวเปลือกเพื่อหาร้อยละการงอกของข้าวเปลือกโดยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวเปลือกสามารถเกิดการงอกได้ ในขณะที่แช่น้ำอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ไม่พบการงอกของเมล็ดข้าวเปลือกตลอดระยะเวลาการแช่ โดยที่แช่น้ำอุณหภูมิที่ 30 และ 35 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือกจะเริ่มงอกที่เวลา 40 และ 24 ชั่วโมง มีร้อยละการงอก 4 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาของการแช่ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีร้อยละเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีร้อยละการงอก 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 70 ชั่วโมง และการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีร้อยละการงอก 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 60 ชั่วโมง ในขณะที่ข้าวที่ถูกแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ไม่เกิดการงอก เนื่องจากอุณภูมิน้ำที่ 40 องศาเซลเซียส อาจเป็นอุณหภูมิน้ำแช่ที่สูงเกินไป โดยอุณหภูมิของน้ำที่สูงเกินไป หรือต่ำเกินไปอาจจะไปยับยั้งหรือทำให้ข้าวเปลือกไม่สามารถงอกได้ แม้ว่าเมล็ดจะมีการดูดน้ำเข้าไปได้แล้ว แต่อาจจะไม่มีการพัฒนาของคัพภะ หรือขบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในเมล็ดไม่ทำงาน [52] ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรพิชญ์ [53] ที่ได้ทำการหาร้อยละการงอกของข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1 ที่อุณหภูมิน้ำแช่ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวเปลือกสามารถเกิดการงอกได้อุณหภูมิที่แช่น้ำ 30 และ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเริ่มเกิดการงอกที่เวลา 40 และ 44 ชั่วโมง โดยมีร้อยละการงอกเท่ากับ 5 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิที่แช่น้ำ 40 องศาเซลเซียส ไม่พบว่าการงอกของข้าวเปลือก



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบร้อยละการงอกของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิน้ำและระยะเวลาในการแช่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ เมื่อทำการพิจารณาร่วมกับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าระยะเวลาในการแช่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นด้วย และการแช่ข้าวเปลือกงอกในช่วงแรกนั้นความชื้นของข้าวเปลือกงอกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณภายในและนอกเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าแตกต่างกันมาก ส่งผลให้เกิดออสโมซิสการถ่ายเทมวลเข้าน้ำสู่ข้าวเปลือกได้อย่างรวดเร็ว เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งปริมาณภายในและภายนอกเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าแตกต่างกันน้อยลง ส่งผลให้อัตราเร็วของการดูดซึมน้ำค่อยๆ ลดลง เนื่องจากเมล็ดข้าวเกิดการอิ่มตัว ทำให้ความชื้นของข้าวเปลืองงอกเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเริ่มคงที่เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงแรก [54] นอกจากนี้ ยังพบว่าอุณหภูมิน้ำแช่ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณความชื้นภายในเมล็ดเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่ถูกแช่ด้วยอุณหภูมิน้ำ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นมากกว่าข้าวเปลือกงอกที่ถูกแช่ด้วยอุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงระยะเวลาในการแช่ แต่น้อยกว่าข้าวเปลือกที่แช่ด้วยอุณหภูมิน้ำ 40 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen et al. [55] ที่ได้ศึกษาอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวพันธุ์ Koshihikari สายพันธุ์ญี่ปุ่น ในช่วงอุณหภูมิน้ำแช่ 20-50 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่แช่สูงขึ้น ทำให้มีอัตราการดูดซึมน้ำมากขึ้น เนื่องจากในระหว่างการแช่น้ำที่อุณหภูมิที่สูงจะเป็นการเร่งให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำได้เร็วขึ้นส่งผลให้อัตราเร็วของเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของน้ำที่แช่ ซึ่งเกิดการไฮเดรชั่นและมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบเชิงซ้อนทางชีวเคมีต่างๆ เพื่อเตรียมงอก [56, 57] จากผลของร้อยละการงอกและความชื้นของข้าวเปลือกงอกที่ได้ จะได้ว่าอุณหภูมิน้ำที่แช่ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ร้อยละการงอกที่สูงในระยะเวลาที่สั้น ซึ่งจะให้ร้อยละการงอกที่สูงในระยะเวลาที่สั้น ซึ่งความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการงอกของข้าวอยู่ที่ประมาณ 30% w.b. [58, 59]

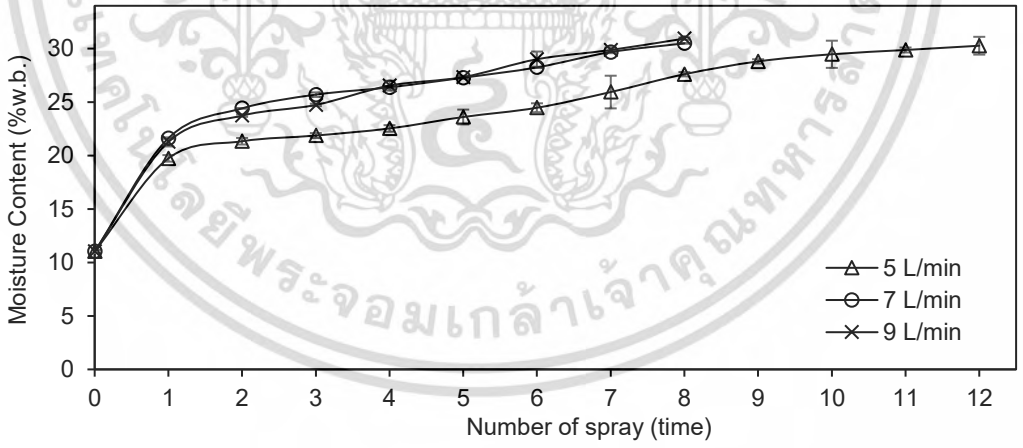


รูปที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกงอกที่อุณหภูมิและระยะในเวลาในการแช่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

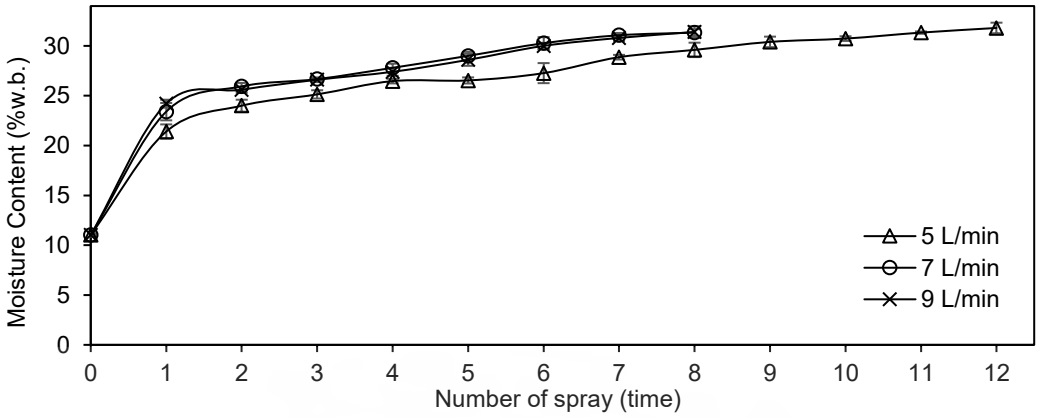
4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำในกระบวนการสเปรย์น้ำ

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกสานพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ใช้อัตราการสเปรย์น้ำต่างๆ (5,7 และ 9 ลิตรต่อนาที) และใช้อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส (แสดงดังรูปที่ 4.3) จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มอัตราการสเปรย์น้ำ จะช่วยเพิ่มความชื้นให้ข้าวเปลือกในทุกๆ อุณหภูมิน้ำสเปรย์ เนื่องจากปริมาณน้ำที่สเปรย์ที่มากขึ้น ทำให้ข้าวดูดซึมน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 4.4) ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของสุนัน และคณะ [60] ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องงอกระหว่างการแช่ร่วมกับการบ่มที่เวลาต่างๆ พบว่าปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นไปด้วย โดยจำนวนครั้งในการสเปรย์เพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้น 30% w.b. อยู่ที่ 7-12, 5-8 และ 5-8 ครั้ง เมื่อใช้อัตราการสเปรย์ 5, 7 และ 9 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ดังนั้นอัตราการสเปรย์น้ำจาก 7 ลิตรต่อนาทีเป็น 9 ลิตรต่อนาที จะใช้จำนวนครั้งในการสเปรย์น้ำเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้น 30% w.b. น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราการสเปรย์น้ำจาก 7 ลิตรต่อนาที เป็น 9 นาทีต่อนาที จะส่งผลให้ความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณน้ำที่ได้จากอัตราการสเปรย์ที่ 7 ลิตรต่อนาทีนั้นเพียงพอต่อการดูดซึมน้ำของข้าวเปลือกแล้ว

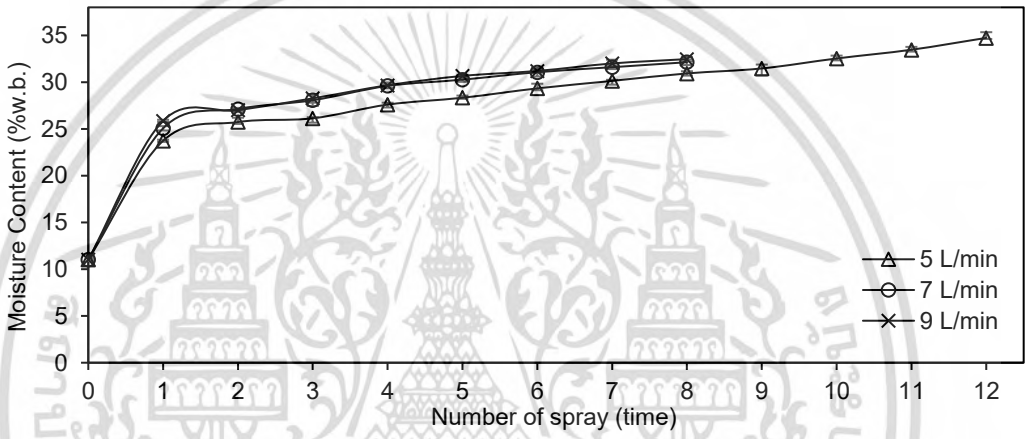


(a) อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

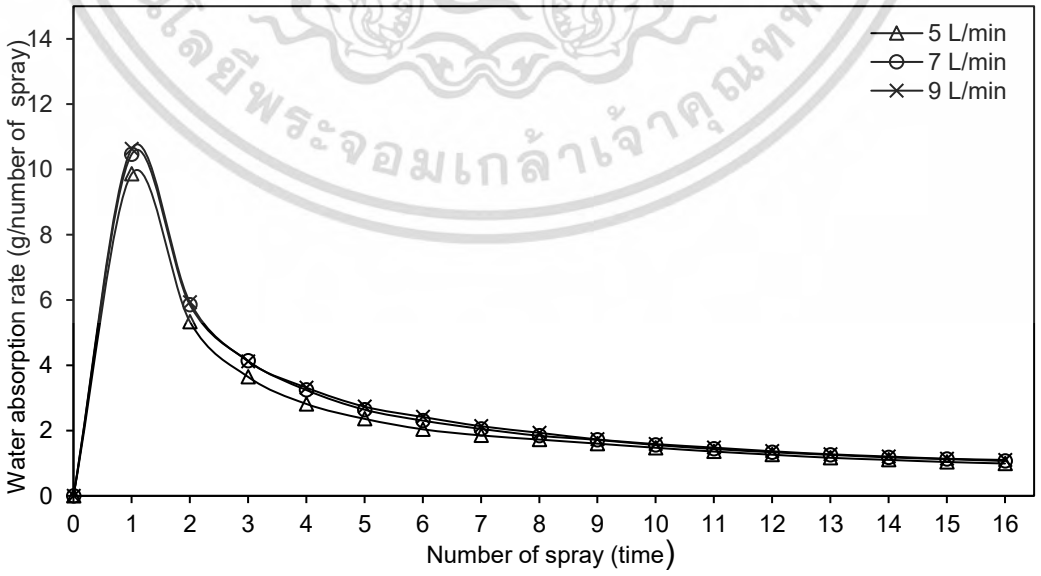


(b) อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 35 องศาเซลเซียส



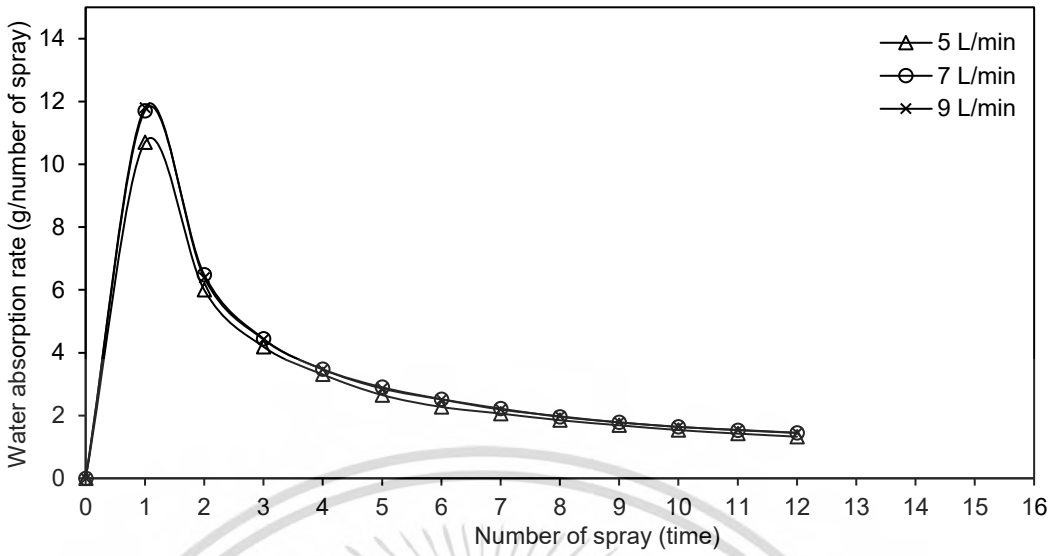
(c) อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 40 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อัตราการสเปรย์น้ำต่างๆ

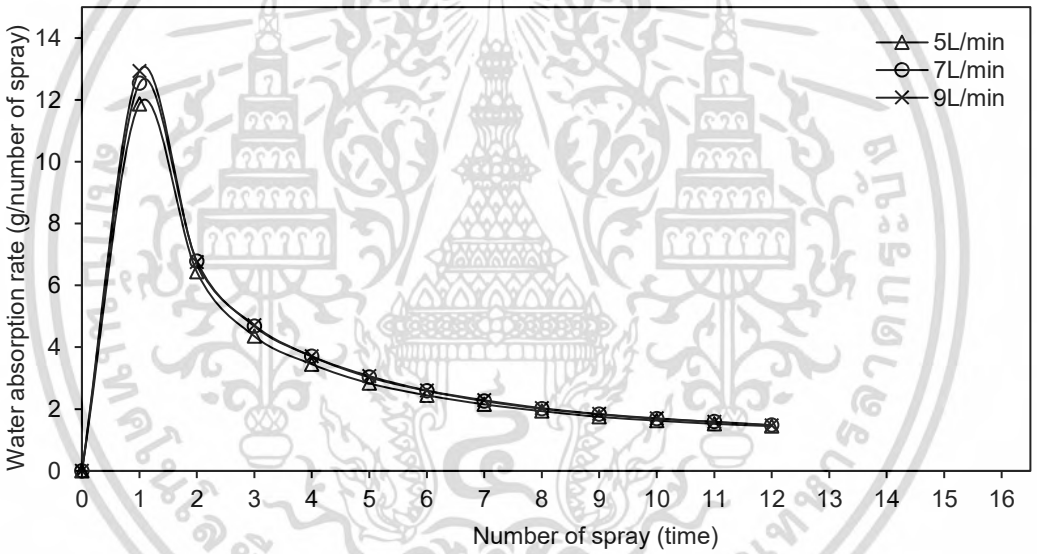


(a) อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 35 องศาเซลเซียส

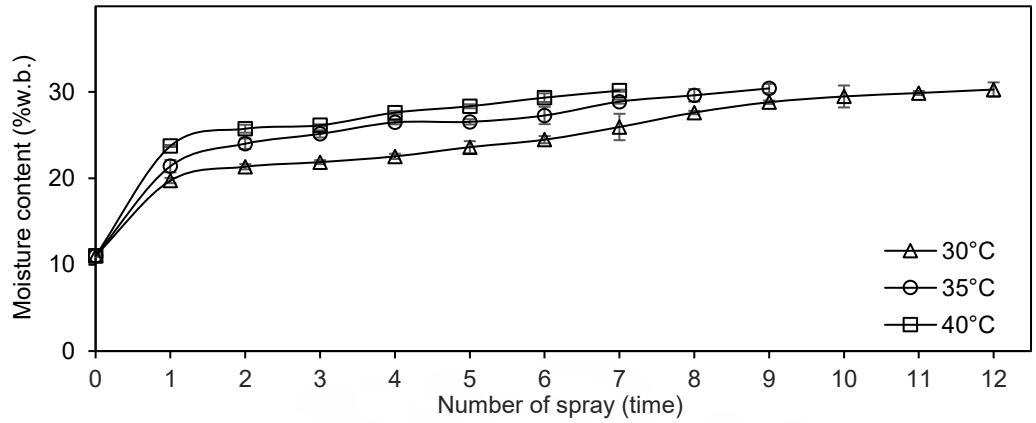


(c) อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 40 องศาเซลเซียส

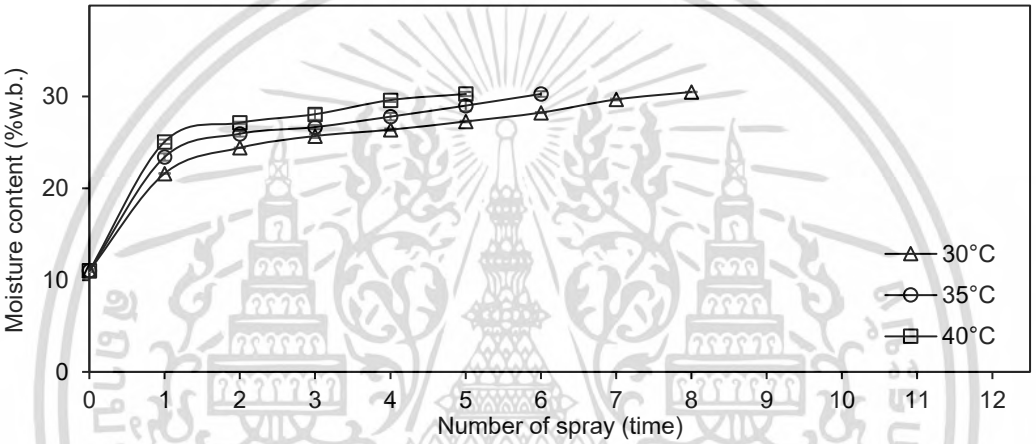
รูปที่ 4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิน้ำสเปรย์ต่างๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิน้ำสเปรย์ต่างๆ พบว่าความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยอุณหภูมิน้ำสเปรย์ที่ 40 องศา-เซลเซียสมีค่าความชื้นมากที่สุด และ อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 30 องศาเซลเซียสมีค่าความชื้นน้อยที่สุด ดังแสดงในรูป 4.5 ซึ่งพบว่าค่าความชื้นของข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สเปรย์ เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของข้าวเปลือกสามารถดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 นอกจากนี้การเพิ่มของค่าความชื้นตามอุณหภูมิน้ำที่สเปรย์ ส่งผลให้จำนวนครั้งในการสเปรย์น้ำเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้น 30% w.b. ลดลงเช่นกัน

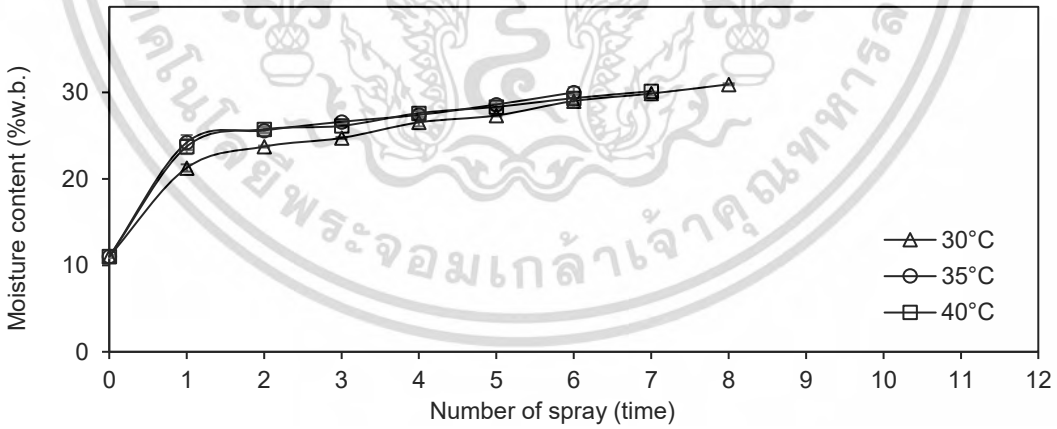
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที



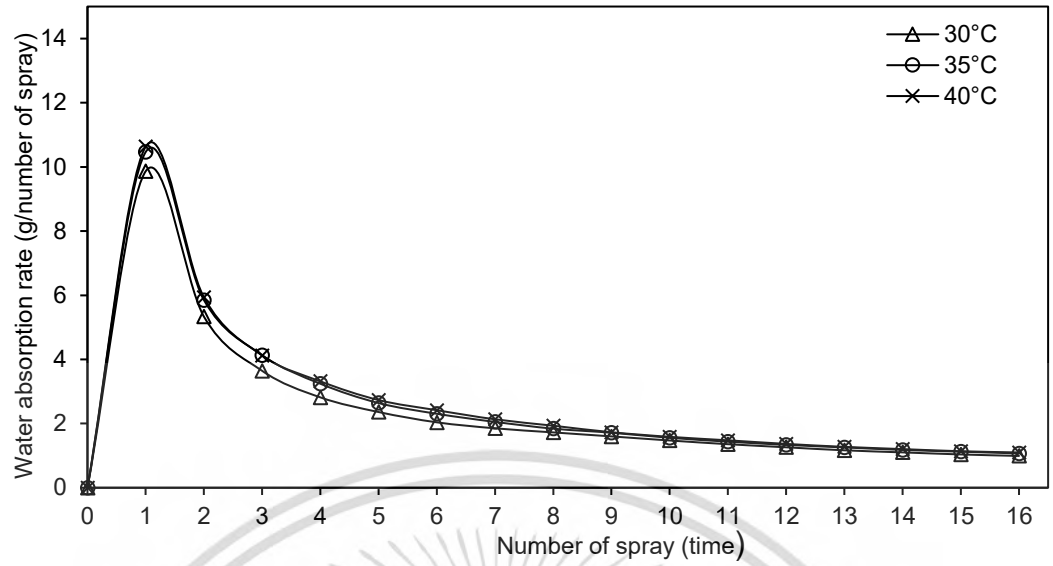
(b) อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที



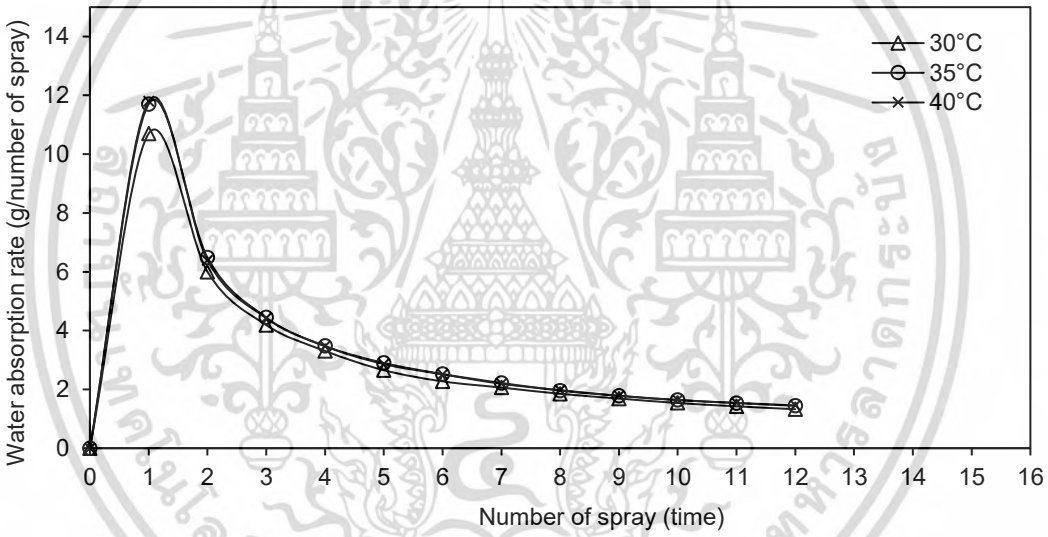
(c) อัตราการสเปรย์น้ำ 9 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกอุณหภูมิสเปรย์น้ำต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

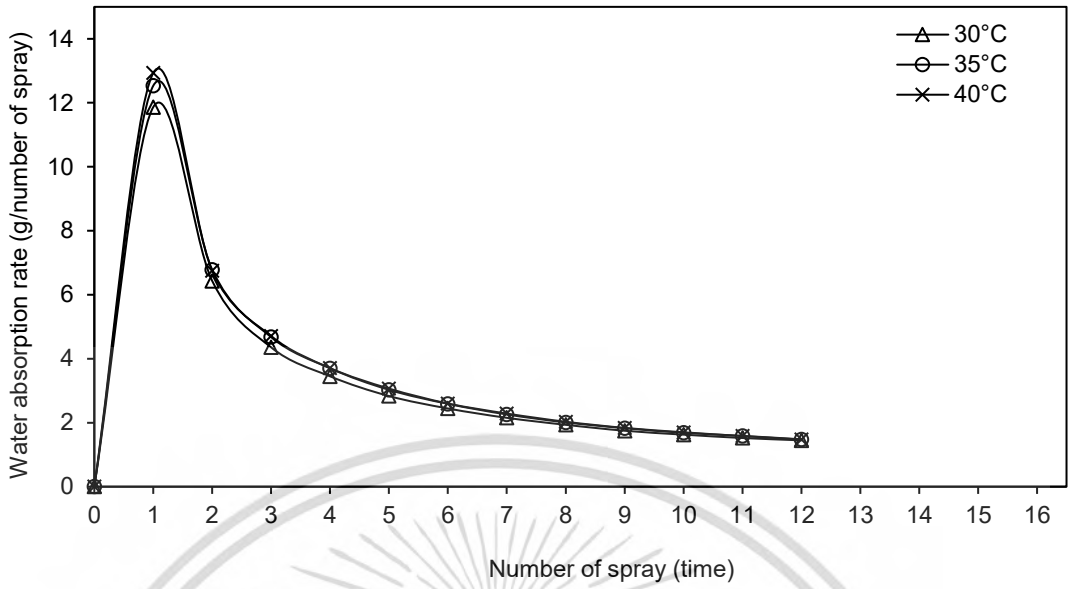


(a) อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที



(b) อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) อัตราการสเปรย์น้ำ 9 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 4.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงการดูดซับน้ำของข้าวเปลือกที่เวลาต่างๆ

จำนวนครั้งในการสเปรย์น้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการสเปรย์ และระยะในการสเปรย์น้ำที่อัตราการสเปรย์น้ำ และอุณหภูมิของน้ำที่สเปรย์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1 ตัวแปรดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสม จากตารางจะเห็นได้ว่า จำนวนครั้งในการสเปรย์น้ำ และระยะเวลาในสเปรย์น้ำ เพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้น 30% w.b. ที่อัตราการสเปรย์น้ำ 7 และ 9 ลิตรต่อนาที จะน้อยกว่าที่อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที ในทุกๆอุณหภูมิน้ำสเปรย์ ในขณะที่อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที จะใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าที่อัตราการสเปรย์น้ำน้อยกว่าที่อัตราการสเปรย์น้ำ 5 และ 9 ลิตรต่อนาที ในทุกๆอุณหภูมิน้ำสเปรย์ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าอัตราสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที และอุณหภูมิน้ำสเปรย์ 40 องศาเซลเซียส เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ โดยเงื่อนไขนี้จะต้องสเปรย์น้ำ 5 ครั้ง ใช้น้ำสเปรย์ทั้งหมด 35 ลิตร และใช้เวลาในการสเปรย์ 2 ชั่วโมง 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 จำนวนครั้งในการสเปรย์น้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการสเปรย์ทั้งหมด และระยะเวลาสเปรย์น้ำที่อัตราการสเปรย์น้ำ และอุณหภูมิของน้ำ และอุณหภูมิของน้ำสเปรย์ต่างๆ

Water temperature (°C)	Spray rate (L/min)	Number of sprays (time)	Total water content (L)	Total time (h)
30	5	12	60	6
	7	8	56	4
	9	8	72	4
35	5	9	45	4.5
	7	6	42	3
	9	6	54	3
40	5	7	35	3.5
	7	5	35	2.5
	9	5	45	2.5

4.3 การเปลี่ยนแปลงร้อยละการงอกและปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำในกระบวนการบ่มงอก

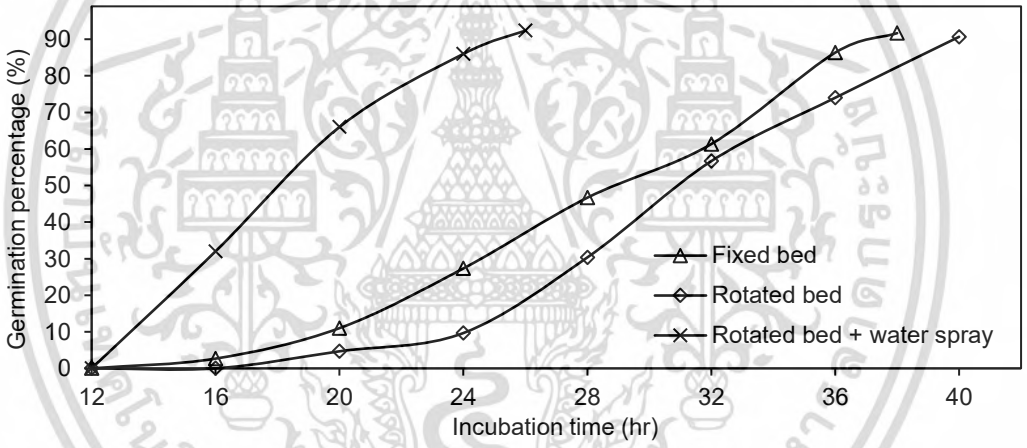
การเปลี่ยนแปลงร้อยละการงอกของข้าวเปลือกและปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกในกระบวนการบ่มงอกพบว่า ระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการงอกของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.7a และรูปแบบกระบวนการบ่มงอกที่ต่างกันจะส่งผลการความสามารถในการงอกของข้าวเปลือก โดยที่ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการบ่มงอกแบบเบดนิ่ง (Fixed bed) จะเริ่มงอกหลังจากผ่านกระบวนการบ่มเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ซึ่งได้ร้อยละการงอก 2.67% และร้อยละการงอกจะเพิ่มขึ้นเป็น 90% เมื่อเพิ่มเวลาการบ่มเป็น 38 ชั่วโมง ทั้งนี้ข้าวเปลือกที่ผ่านการบ่มงอกแบบเบดนิ่ง (Fixed bed) จะมีค่าความชื้นค่อนข้างคงที่ แสดงดังรูปที่ 4.7b

เมื่อพิจารณาการบ่มงอกแบบเบดหมุน (Rotated bed) พบว่าจะให้ร้อยละการงอกของข้าวเปลือกที่ต่ำกว่าการบ่มงอกแบบเบดนิ่ง (Fixed bed) โดยข้าวเปลือกจะเริ่มงอกที่เวลาบ่มงอก 20 ชั่วโมง ซึ่งได้ร้อยละการงอก 4.67% และมีร้อยละการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 90% เมื่อใช้เวลาบ่มงอก 40 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.7a อาจเป็นเพราะการหมุนตะแกรงในระหว่างกระบวนการบ่มงอก ทำให้ข้าวเปลือกเกิดการเคลื่อนที่สัมผัสกับอากาศมากขึ้น ส่งผลให้ความชื้นของข้าวเปลือกมีแนวโน้มลดลง

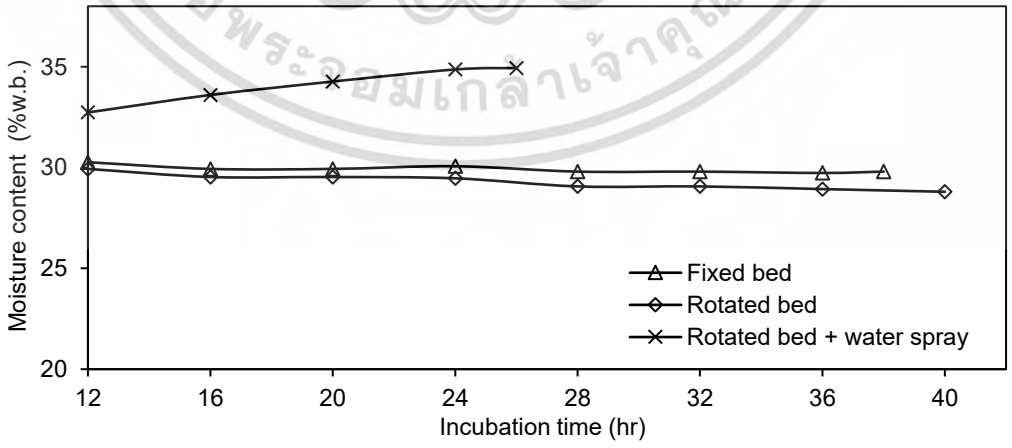
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงดังรูปที่ 4.7b จึงส่งผลให้ข้าวเปลือกงอกได้ช้ากว่าข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการบ่มงอกแบบเบดนิ่ง (Fixed bed)

การบ่มงอกแบบเบดหมุนร่วมกับการสเปรย์น้ำ (Rotated bed + water spray) จะสามารถเพิ่มความสามารถในการงอกของข้าวเปลือกได้ดีกว่าการบ่มงอกแบบเบดนิ่ง (Fixed bed) และการบ่มงอกแบบเบดหมุน (Rotated bed) แสดงดังรูปที่ 4.7a โดยข้าวเปลือกจะเริ่มงอกที่เวลาบ่ม 16 ชั่วโมง (ร้อยละการงอก 32%) และมีร้อยละการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 90% เมื่อใช้เวลาบ่ม 26 ชั่วโมง เป็นผลมาจากการสเปรย์น้ำซึ่งจะช่วยรักษาความชื้นให้ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการหมุน แสดงดังรูปที่ 4.7b โดยการหมุนจะช่วยให้ข้าวเปลือกเกิดการคลุกเคล้ากับน้ำที่สเปรย์ ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสม่ำเสมอทั่วทั้งเบด ทำให้ข้าวเปลือกสามารถงอกได้สม่ำเสมอทั่วทั้งเบด จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการบ่มงอกแบบเบดหมุนร่วมกับการสเปรย์น้ำ (Rotated bed + water spray) เป็นรูปแบบการบ่มที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวงอกด้วยเครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ



(a) ร้อยละการงอกของข้าวเปลือก



(b) ความชื้นของข้าวเปลือก

รูปที่ 4.7 ร้อยละการงอกและค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการบ่มในรูปแบบต่างๆ

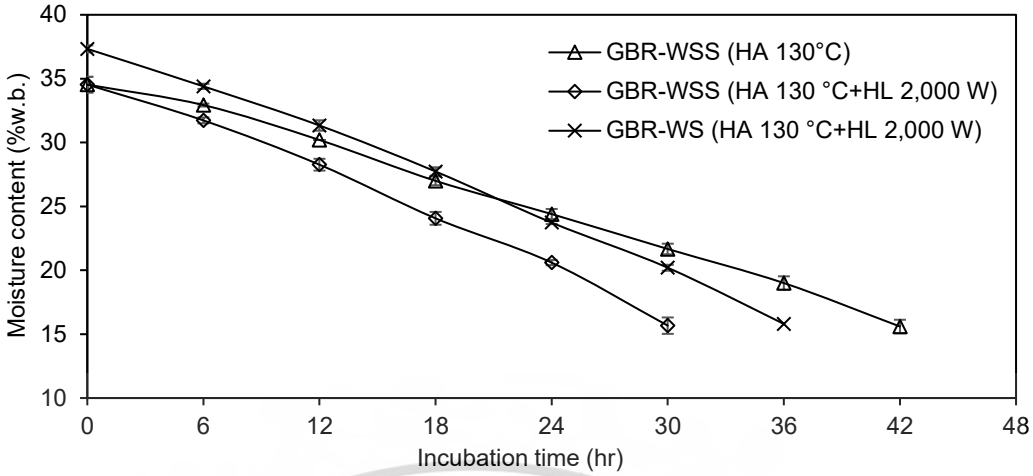
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ใช้เครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำในขั้นตอนการอบแห้ง

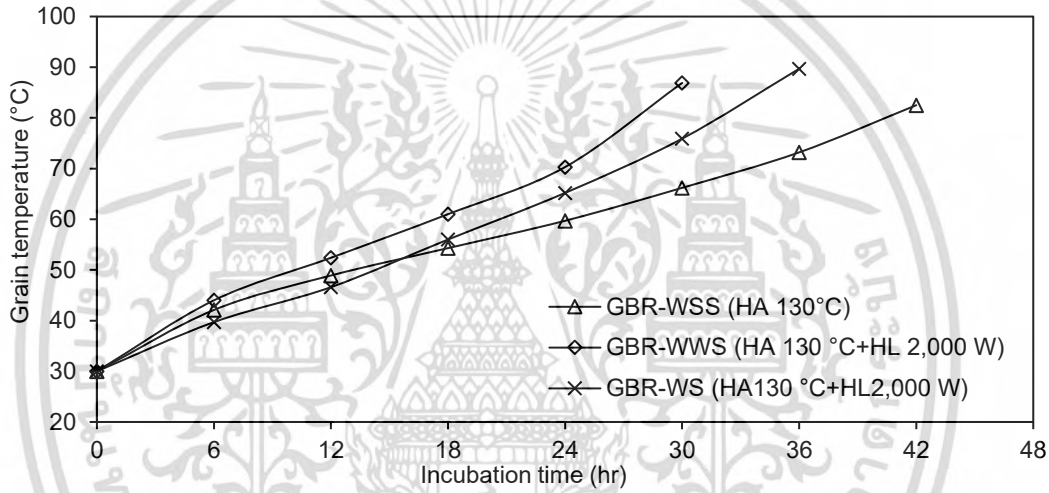
การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านเพาะงอกด้วยเครื่องเพาะข้าวงอกด้วยเครื่องเพาะข้าวงอกระบบสเปรย์น้ำ (Germinated brown rice with water spray system : GBR-WSS) นำไปผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (Hot air 130℃ +Halogen 2000 W : HA130+HL2000) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียว (Hot air 130℃ : HA130) และข้าวเปลือกงอกที่เพาะงอกด้วยวิธีแช่น้ำ (Germinated brown rice with water soaking : GBR-WS) นำไปผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (Hot air 130℃ +Halogen 2000 W : HA130+HL2000) แสดงดังรูปที่ 4.8 จากผลการทดลองพบว่าเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นของข้าวงอกมีค่าลดลงและอุณภูมิเมล็ดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้งของ GBR-WSS มีค่า 34.53% w.b. นำไปอบแห้งด้วย HA130 ต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 39 นาที เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น 18% w.b. แต่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 พบว่าต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 27 นาที ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยกว่าสอดคล้องกับอุณหภูมิที่มีค่าสูงกว่าในทุกช่วงเวลา แสดงดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากการอบแห้งด้วย HA130 เป็นการพาความชื้นที่บริเวณผิวโดยอากาศร้อน เมื่อบริเวณผิวของข้าวเปลือกมีค่าลดลง ความชื้นภายในเมล็ดที่มีค่าสูงจะแพร่มายังบริเวณผิวที่มีค่าต่ำกว่า ซึ่งการอบแห้งด้วย HA130+HL2000 เป็นการเพิ่มการอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจน เป็นการแผ่รังสีอินฟาเรดเข้าไปกระตุ้นภายในเมล็ดข้าวให้เกิดการสั่นสะเทือน เร่งกระบวนการแพร่ความชื้นจากภายในเมล็ดไปยังผิวเมล็ดข้าว ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความชื้นได้เร็วยิ่งขึ้น [61, 62]

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นของ GBR-WS กับ GBR-WSS นำไปอบแห้งด้วย HA130+HL2000 พบว่า GBR-WS มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 37.33% w.b ใช้เวลาในการอบแห้ง 33 นาที เพื่อให้มีปริมาณความชื้น 18% w.b. ซึ่งใช้เวลาที่มากกว่า GBR-WSS แต่มีอัตราการลดลงของความชื้นและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เกิดจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นของ GBR-WSS มีค่าน้อยกว่าของ GBR-WS จึงทำให้เวลาในการอบแห้งที่มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนความชื้นของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ

4.5 คุณภาพข้าวกล้องงอก

4.5.1 ร้อยละการแตกร้าว (Percentage of fissured kernels) และร้อยละต้นข้าว (Head rice yield)

ร้อยละการแตกร้าวของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านเพาะงอกด้วยเครื่องเพาะข้าวงอกด้วยเครื่องเพาะข้าวงอกระบบสเปรย์น้ำ (Germinated brown rice with water spray system : GBR-WSS) นำไปลดความชื้นด้วยการนำไปผึ่งลมให้แห้ง(Shade dry : SD) อบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (Hot air 130°C +Halogen 2000 W : HA130+HL2000) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียว(Hot air 130°C : HA130) และข้าวเปลือกงอกที่เพาะงอกด้วยวิธีแช่น้ำ (Germinated brown rice with water soaking : GBR-WS) นำไปลดความชื้นด้วย SD และ HA130+HL2000 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากการทดลองพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวเปลือกที่นำไปผ่านกระบวนเพาะงอกและลดความชื้น ส่งผลให้มีร้อยละการแตกร้าวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวกล้องอ้างอิง ส่งผลมากจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นของเมล็ดข้าวในระหว่างการเพาะงอกซึ่งจะเกิดความแตกต่างของความชื้นและอุณหภูมิระหว่างที่ผิวกับภายในเมล็ดข้าวกล้องงอกทำให้ความเครียดเกิดขึ้นภายในเมล็ดข้าวส่งผลให้เมล็ดข้าวมีการแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น [63] โดยร้อยละการแตกร้าวของข้าวอ้างอิงมีค่า 18.33% เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเพาะงอกด้วย GBR-WS และ GBR-WSS ที่ผ่านการลดความชื้นด้วย SD พบว่าร้อยละการแตกร้าวของ GBR-WSS มีร้อยละการแตกร้าว 36.33% ซึ่งมีร้อยละการแตกร้าวสูงกว่า GBR-WS ซึ่งมีร้อยละแตกร้าวอยู่ที่ 43.33% เนื่องจากอัตราการดูดซึมน้ำในกระบวนการสเปรย์น้ำที่รวดเร็วกว่าการแช่น้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่รวดเร็วกว่าส่งผลให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายกว่า

เมื่อพิจารณาร้อยละแตกร้าวของ GBR-WS และ GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 พบว่าร้อยละการแตกร้าวของ GBR-WSS มีค่าเท่ากับ 58.33% (เพิ่มขึ้นจาก SD ที่มีร้อยละแตกร้าวอยู่ที่ 43.67%) ซึ่งสูงกว่า GBR-WS ที่มีร้อยละแตกร้าว 49.00% (เพิ่มขึ้นจาก SD ที่มีร้อยละแตกร้าวอยู่ที่ 36.33%) เนื่องจากในกระบวนการอบของ GBR-WSS ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิเมล็ดที่สูงกว่า แสดงดังรูปที่ 4.9 ในส่วนของร้อยละแตกร้าวของ GBR-WSS ที่นำไปอบแห้งด้วยวิธี HA130 และ HA130+HL2000 พบว่าร้อยละแตกร้าวของ GBR-WSS ที่ผ่านการอบแห้งด้วย HA130 มีร้อยละการแตกร้าว 80.33% ซึ่งมีร้อยละการแตกร้าวที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วย HA130+HL2000 อาจเกิดจากเวลาในการอบแห้งด้วย HA130 ใช้เวลาที่นานกว่าการอบแห้งด้วย HA130+HL2000 แสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเทวิกาและวรนุช [64] ที่ได้ศึกษาระยะเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อร้อยละการแตกร้าวเพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกในกระบวนการผลิตเงื่อนไขต่างๆ พบว่า โดยร้อยละต้นข้าวของข้าวอ้างอิงมีค่า 67.45% เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเพาะงอกด้วย GBR-WS และ GBR-WSS ที่ผ่านการลดความชื้นด้วย SD พบว่าร้อยละต้นข้าวมีค่าลดลง โดยร้อยละต้นข้าวของ GBR-WS และ GBR-WSS ที่มีร้อยละต้นข้าว 64.33% และ 64.22% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาร้อยละต้นข้าวของ GBR-WS และ GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 พบว่าร้อยละต้นข้าวของ GBR-WSS มีร้อยละต้นข้าว 65.64% ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ GBR-WS ที่มีร้อยละต้นข้าว 66.27% เนื่องจากในกระบวนการอบของ GBR-WS ใช้ระยะเวลาที่นานกว่า แสดงดังรูปที่ 4.8 เวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้ข้าวกล้องงอกเกิดเจลาติไนเซชันได้ดีกว่า ในส่วนร้อยละต้นข้าวของ GBR-WSS ที่นำไปอบแห้งด้วยวิธี HA130 มีค่าเท่ากับ 60.22% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 อาจเกิดจากเวลาในการอบแห้งด้วย HA130 ใช้เวลาที่นานกว่าการอบแห้งด้วย HA130+HL2000 ทำให้ร้อยละต้นข้าวมีค่าลดลง ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละต้นข้าวที่ลดลงสอดคล้องกับร้อยละการแตกร้าวที่มากขึ้น ซึ่งการแตกร้าวจะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการหักได้ง่ายเมื่อนำไปกระเทาะเปลือกส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวมีค่าลดลง [65]

ตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละแตกร้าวและร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตเงื่อนไขต่างๆ

sample	HRY (%)	Fissure (%)
Reference brown rice	67.45±0.22[a]	18.33±0.58[f]
GBR-WS (Shade dry)	64.33±0.42[c]	36.33±2.08[e]
GBR-WSS (Shade dry)	64.22±0.34[c]	43.67±2.08[d]
GBR-WS (HA130+HL2000)	66.27±0.42[b]	49.00±1.73[c]
GBR-WSS (HA130+HL2000)	65.64±0.63[b]	58.33±2.89[b]
GBR-WSS (HA130)	60.22±0.20[d]	80.33±2.31[a]

[a-f] Means in the same column with different superscripts are significantly difference ($p<0.05$)

4.5.3 ปริมาณสาร GABA

ปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตที่เงื่อนไขต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.3 ข้าวกล้องอ้างอิงก่อนจะนำไปผ่านกระบวนการเพาะงอกมีปริมาณสาร GABA อยู่ที่ 1.40 mg/100g เมื่อนำข้าวไปผ่านกระบวนการเพาะงอก GBR-WS และ GBR-WSS ที่ผ่านการลดความชื้นด้วย SD พบว่าปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นเป็น 14.96 และ 11.94 mg/100g ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากกระบวนการงอกของข้าวทำให้เร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์กลูตาเมทคาร์บอกซิเลส (Glutamate-decarboxylase) ในกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ของกรดกลูตามิค (Glutamic acid) เพื่อสังเคราะห์กรดแอลกลูตามิก (L-glutamic acid) นำไปสู่การสร้างสารชีวภาพที่ทำให้ เกิดการเพิ่มขึ้นของสาร GABA [66] แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสาร GABA ระหว่าง GBR-WS และ GBR-WSS ที่ผ่านการลดความชื้นด้วย SD พบว่าปริมาณสาร GABA ของ GBR-WS มีปริมาณสาร GABA สูงกว่า ซึ่งการเพาะงอกด้วย GBR-WS ใช้ระยะเวลาในการเพาะงอกที่นานกว่า GBR-WSS ส่งผลให้มีปริมาณสาร GABA ที่สูงกว่า

เมื่อพิจารณาปริมาณสาร GABA ของ GBR-WS และ GBR-WSS ที่นำไปผ่านกระบวนการอบแห้งด้วย HA130+HL2000 พบว่ามีปริมาณสาร GABA ที่ลดลงอยู่ที่ 12.62 และ 10.63 mg/100g เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกงอกที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้ง เนื่องจากความร้อนในกระบวนการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณสาร GABA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาปริมาณสาร GABA ของ GBR-WSS นำไปอบแห้งด้วย HA130 พบว่าปริมาณสาร GABA น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 ซึ่งมีปริมาณสาร GABA อยู่ที่ 8.73 mg/100g เนื่องจาก GBR-WSS ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วย HA130 ใช้ระยะเวลานานกว่าการอบแห้งด้วย HA130+HL2000 ซึ่งระยะเวลาในการอบแห้งที่นานกว่าอาจมีผลทำให้ปริมาณสาร GABA ลดลง

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตที่เงื่อนไขต่างๆ

Sample	GABA (mg/100g)
Reference brown rice	1.48±0.06[f]
GBR-WS (Shade dry)	14.96±0.03[a]
GBR-WSS (Shade dry)	11.94±0.04[c]
GBR-WS (HA130+HL2000)	12.62±0.07[b]
GBR-WSS (HA130+HL2000)	10.63±0.08[d]
GBR-WSS (HA130)	8.73±0.04[e]

[a-f] Means in the same column with different superscripts are significantly difference ($p<0.05$)

4.5.4 ปริมาณของจุลินทรีย์

ปริมาณของแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราของข้าวกล้องงอกผ่านกระบวนการผลิตเงื่อนไขต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราเพิ่มมากขึ้นในกระบวนการเพาะงอกและลดลงในขั้นตอนการอบแห้ง โดยข้าวกล้องอ้างอิงมีปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราอยู่ที่ 1.8×10^6 (CFU/g) และ 4.5×10^2 (CFU/g) ตามลำดับ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเพาะงอกด้วย GBR-WS และ GBR-WSS ที่ผ่านการลดความชื้นด้วย SD พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราของ GBR-WS อยู่ที่ 4.2×10^6 (CFU/g) และ 2.5×10^6 (CFU/g) ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราของ GBR-WSS อยู่ที่ 2.1×10^6 (CFU/g) และ 1.0×10^6 (CFU/g) ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการเพิ่มความชื้นในกระบวนกระบวนการเพาะงอกเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของจุลินทรีย์ [67] แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราระหว่าง GBR-WS และ GBR-WSS ที่ลดความชื้นด้วย SD พบว่าปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราของ GBR-WS มีปริมาณที่มากกว่า เนื่องจากในกระบวนการแช่น้ำของ GBR-WS เป็นการแช่น้ำเป็นเวลานานทำให้แบคทีเรียและเชื้อรามีการเจริญเติบโตได้ดีกว่า GBR-WSS ที่เป็นวิธีการสเปรย์น้ำผ่านข้าวเปลือกที่อยู่ในตะแกรงหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อข้าวเปลือกงอกที่นำไปผ่านกระบวนการอบแห้ง พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงจากการอบแห้งช่วยทำลายเซลล์ของแบคทีเรียและเชื้อรา [68] เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราของ GBR-WSS และ GBR-WS ที่ผ่านการอบแห้งด้วย HA130+HL2000 พบว่าปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราของ GBR-WS อยู่ที่ $1.3x10^3$ และ $6.5x10^1$ (CFU/g) ตามลำดับ มีปริมาณน้อยกว่า GBR-WSS โดย GBR-WSS มีปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราอยู่ที่ $2.7x10^3$ และ $7.3x10^1$ (CFU/g) ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากระยะเวลาในการอบแห้งของ GBR-WS มีระยะเวลาที่นานกว่า GBR-WSS แสดงดังรูปที่ 4.8 จึงมีความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่า แต่เมื่อพิจารณา GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130 และ HA130+HL2000 พบว่า GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130 มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราอยู่ที่ $2.9x10^3$ (CFU/g) และ $8.7x10^1$ (CFU/g) ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่า GBR -WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 อาจเกิดจากอุณหภูมิเมล็ดของ GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 มีค่าสูงกว่าแสดงดังรูปที่ 4.9 จึงมีความสามารถในการฆ่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ดีกว่า ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์ ยีสต์ และเชื้อราที่ได้หลังการอบต่ำกว่า 10^6, 500 และ 10^3 (CFU/g) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าปริมาณจุลินทรีย์ ยีสต์ และเชื้อราสามารถยอมรับได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร [69]

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของแบคทีเรีย(Bacteria) ยีสต์(Yeast) และเชื้อรา(Molds) ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตเงื่อนไขต่างๆ

Sample	Number of microorganisms		
	Bacteria (CFU/g)	Yeast (CFU/g)	Mold (CFU/g)
Reference brown rice	$1.8x10^6$	<10	$4.5x10^2$
GBR-WS (SD)	$4.2x10^6$	<10	$2.5x10^6$
GBR-WSS (SD)	$2.1x10^6$	<10	$1.0x10^6$
GBR-WS (HA130+HL2000)	$1.3x10^3$	<10	$6.5x10^1$
GBR-WSS (HA130+HL2000)	$2.7x10^3$	<10	$7.3x10^1$
GBR-WSS (HA130)	$2.9x10^3$	<10	$8.7x10^1$

4.5.5 การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ของข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกที่กระบวนการผลิตโดยใช้วิธีการแช่น้ำ และการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 โดยเลือกตัวอย่างอ้างอิง กับ GBR-WS และ GBR-WSS ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วย HA130+HL2000 จากการทดลองพบว่าความพึงพอใจด้านลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏของ GBR-WS และ GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 มีค่าไม่แตกต่างจากข้าวอ้างอิง ในขณะที่ความพึงพอใจด้านกลิ่นเห็นได้ชัดว่าผู้บริโภคพึงพอใจใน GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 ที่มากกว่า GBR-WS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเพาะงอกของ GBR-WSS มีปริมาณที่น้อยกว่า ดังแสดงใน

ตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาความพึงพอใจด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสของ GBR-WS และ GBR-WSS ที่อบแห้งด้วย HA130+HL2000 มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องอ้างอิง ซึ่งผลสรุปโดยความพึงพอใจของผู้บริโภคโดยรวมแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคพึงพอใจข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากเครื่องเพาะข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำมากกว่าข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากการแช่น้ำ

ตารางที่ 4.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

Conditions	Appearance	Odor	Taste	Texture	Overall acceptability
Reference brown rice	6.67±1.8[a]	7.65±1.4[a]	7.12±1.4[a]	6.76±1.3[a]	7.60±1.1[a]
GBR-WS (HA130+HL2000)	6.53±1.7[a]	4.27±2.1[c]	5.98±2.1[b]	5.96±1.7[b]	5.84±1.8[c]
GBR-WSS (HA130+HL2000)	6.78±1.7[a]	6.20±2.0[b]	6.45±1.8[ab]	6.02±1.9[b]	6.59±1.6[b]

[a-c] Means in the same column with different superscripts are significantly difference ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำสเปรย์ อัตราการสเปรย์น้ำต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกในขั้นตอนการสเปรย์น้ำ ศึกษารูปแบบการบ่มงอกต่อร้อยละการงอกของข้าวเปลือก และศึกษาผลกระทบของรูปแบบการอบแห้งที่ส่งผลต่อคุณภาพข้าวกล้องงอกอันได้แก่ ร้อยละแตกร้าว ร้อยละต้นข้าว ปริมาณสาร GABA ปริมาณจุลินทรีย์ และการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิน้ำสเปรย์และอัตราการสเปรย์น้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ข้าวเปลือกมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากอัตราการดูดซึมน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิน้ำสเปรย์ที่ 40 องศาเซลเซียส และอัตราการสเปรย์น้ำที่ 7 L/min เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการสเปรย์น้ำโดยใช้จำนวนครั้ง ปริมาณน้ำ เวลาในการสเปรย์น้ำน้อยที่สุด

2. การบ่มงอกแบบเบดหมุนร่วมกับการสเปรย์น้ำ เป็นวิธีควบคุมความชื้นให้สม่ำเสมอทั่วทั้งเบด โดยใช้เวลาในการบ่มงอกน้อยที่สุดที่ 26 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ร้อยละการงอก 90 เปอร์เซ็นต์

3. การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนทำให้คุณภาพข้าวกล้องงอกในด้านร้อยละการแตกร้าวและปริมาณจุลินทรีย์น้อยลง ในขณะที่ร้อยละต้นข้าวและปริมาณสาร GABA ที่เพิ่มสูงขึ้น

4. การผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำได้รับความพึงพอใจทางด้านกลิ่นสูงกว่าการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยการแช่น้ำและยังมีความพึงพอใจโดยรวมสูงกว่าด้วยเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเช็คทำความสะอาดท่อและหัวฉีดทุกครั้งเพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวอุดตันหัวฉีด
2. ออกแบบ ปรับปรุงตะแกรงให้มีน้ำหนักให้เบาลง เพื่อให้สะดวกต่อการล้างทำความสะอาด
3. เพิ่มการติดตั้งล้อเลื่อนเพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย
4. เพิ่มขนาดท่อน้ำทิ้งให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้การระบายน้ำดีขึ้นและไม่ให้เมล็ดข้าวอุดตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Toyoshima H., Ohtsubo K., Okadome H., Tsukahara K., Komatsuzaki N. and Kohno T. (2004). **"Germinated brown rice with good safety and cooking property, process for producing the same, and processed food therefromk".** US. Patent,Vol 6, pp. 685-979.

[2] Sarasa S. B., Mahen R., Thankappan B, Seita D. R. F. and Angayarkanni J. (2019). **"A Brief Review on the Non-protein Amino Acid, Gamma-amino Butyrid (GABA)".** Springer Science Media, pp. 534-544.

[3] Hayat A., Jahangir T. M., Khuhawar M. Y., Alamgir M., Hussain Z., Haq F. U. and Musharraf S. G. (2015). **"HPLC determination of gamma amino butyric Amines (BAs) in controlled, germinated, and fermented brown rice by pre-collmn dderivation".** Journal of Cereal Science, pp. 56-62.

[4] จันทรพร ทองเอกแก้ว. (2015). **"คุณประโยชน์ของสารกาบาที่มีต่อสุขภาพ"**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, หน้า 205-211.

[5] M. Diana, J. Quilez, M. Rafecas. (2014). **"Gamma-aminobutyric acid as a Bioactive compound in foods"** Journal of function Foods IO, pp. 407-420.

[6] zhang Q., Xiang J., Zhang L., Zhu X., Evers J., Werf W. V. D., Duan L. (2014). **"Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-Aminobutyric acid content in japonica and indica germinated browmrice".** Journal of Function Foods IO, pp. 283-291.

[7] Chngcharoen T., Prachayawarakorn S., Tungtrakul P. and Soponronnarit S. (2015). **"Effect of germination time and drying temperature on drying Characteristics and quality of germinated paddy".** Food and Bioproducts Processing, pp. 707-716.

[8] Parnsakhorn S. and Langkapin J. (2018). **"Effects of drying tempertures on Physiochemical properties of germinated brown rice".** Songklanakrin J. Sci. Technol.

[9] ณัฐพล ภูมิสะอาด. (2540). **"การจัดการข้าวเปลือกชื้นโดยการอบแห้งแบบฟลูอิไดเซชั่นการเก็บในที่อับอากาศและการเป่าอากาศแวดล้อม".** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] ทิวานัก แก้วสอนดี. (2558). **“การพัฒนาระบบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟาเรดและความร้อนจากแก๊สปล่อยทิ้ง”.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

[11] Ball K., Karsai I., Bencze S., Veisz O. (2012). **“Germination Ability And seedling vigour in the progeny of heat-stressed wheat plants”.** Agricultural institute, Centre for Agricultral lnstite, Centre for Agricultral Research, pp. 299-308.

[12] นฤมล เสือแดง. (2558). **“ผลของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟาเรดต่อเชื้อราโรงเก็บและอะฟลาทอกซิน บี 1”.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โรคพืช) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[13] สุนัน ปารสาคร และจตุรงค์ลังกาพินธุ์. (2556). **“ข้าวกล้องงอก”.** สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[14] ศูนย์สถิติการเกษตร. (2547). **“เกษตรของประเทศไทย”.** สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร.

[15] จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. (2554). **“ความรู้เรื่องข้าว”.** สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาเกษตร จังหวัดกรุงเทพมหานคร.

[16] องค์ความรู้เรื่องข้าว. (2564). **“ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว”.** [ออนไลน์], แหล่งเข้าถึง: http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.phpfile=content.php&id=112.htm [18 สิงหาคม 2564].

[17] Jang S. S. (2555). **“Method for Germinating Dehulled Brown Rice”**. US. Patent.

[18] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2561). **“สรุปสถานการณ์ส่งออกข้าวไทยปี 2560 และแนวโน้มและทิศทางการส่งออกข้าวไทย ปี 2561”**. [Online], แหล่งที่เข้าถึง: http://www.thairiceexporters.or.th/ [8 กันยายน 2564].

[19] จักรพงษ์ โสวะพันธ์, กมลวรรณ แจ้งชัด และพัชรี ตั้งตระกูล. (2554). **“ผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้งข้าวข้าวกล้องที่ผลิตจากข้าวเปลือก”.** การประชุมทางวิชาการขิงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ครั้งที่ 49). หน้า 250-257.

[20] Komatsuzaki N., Tsukshara K., Murai H., Saikusa T. and Horio T. (2000). **“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. pp. 596-603.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[21] ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, ธนากร บูรณเพชร, จิรพงษ์ แสนศักดิ์, เชิดศักดิ์ ศิริหล้า, วีรยุทธ จี้เพชร, พิศาล หมื่นแก้ว. (2562). **“การผลิตข้าวกล้องงอกต่อปริมาณ GABA และคุณภาพข้าวกล้อง”**. สาขาวิศวกรรมเครื่องจักกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น.

[22] Sharma N., GOYAL S. K., Alam T. (2018). **“Effect of high pressure soaking on water absorption, gelatinization, and biochemical properties of germinated and non-germinated foxtail 18 millet grains”.** Department of Food and Nutritional Sciences, University of Reading.

[23] Q. Xia, Y. ad Li. (2018). **“Mild high hydrostatic pressure pretreatments applied before soaking process to modulate wholegrain brown rice germination”.** Department of Food Science, Shanghai Jiao Tong University.

[24] Sunte J., Srijesdaruk V., and Tangwongchai R. (2007). **“Effects of soaking and germinating process on gamma-aminobutyric acid (GABA) content in germinated brown rice (Hom mali 105)”.** Agricultural Science Journal, vol.38(6) (Suppl.), pp.103–110.

[25] สุนัน ปานสาคร, ศราวุฒิ สุขนาค, เบญจวรรณ พงษศักดิ์ และสุกานดา สนรัมย์. (2553). **“ศึกษาและออกแบบเครื่องผลิตข้าวกล้องงอกขนาดเล็ก”.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี. ปีที่ 8. ฉบับที่ 1. หน้า 61-67.

[26] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2563). **“Moisture content”**. [ออนไลน์], แหล่งเข้าถึง: http://www.foodnetworksolution.com. [20 สิงหาคม 2564].

[27] NG Thai. (2561). **“การเจริญเติบโตของพืช”.** [ออนไลน์], แหล่งเข้าถึง: https:// ngthai.com. [20 สิงหาคม 2564].

[28] Beyhan Gunaydin, Ismail H. Boyaci, and Mehmet Mutlu. (2016). **“Inactivation aflatoxigenic (Aspergillus spp.) on granular food model”** maize, in an atmospheric pressure fluidized bed plasma system. Food control. 70(1): 1-8.

[29] Wathanyoo Rordprapat. (2005). **“Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam”.** Journal of Food Engineering, 71 (2005). pp. 28–36.

[30] ภานุ โรจนพิทยา, โฆษิต ฟุกล่อย และลภัส จุลสุรางค์. (2561). **“การพัฒนาและทดลองเครื่องเคลือบแบบสเปรย์ฟลูอิไดซ์เบดชนิดการฉีดพ่นจากด้านข้างสำหรับการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือก”** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[31] Rui Yin. (2013). **“Light based anti-infectives: ultraviolet C irradiation, photo dynamic therapy, blue light, and beyond,”** Current Opinion in Pharmacology, No. 13.

[32] Davidson J. F., Clift R. and Harrison. (1985). **“Fluidization. 2 edition”.** Academic Press. pp 733.

[33] สุธยา พิมพ์พิไล. (2548). **“การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแบบหุงสุกเร็ว”**. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[34] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตาปนนท์. (2559). **“ผลของสภาวะการเริ่มงอกต่อลักษณะโครงร่าง สมบัติทางเนื้อสัมผัสและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องเริ่มงอก”**. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 11 ฉบับ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม.

[35] สุนันท์ บุตรศาสตร์, สำราญ พิมราช และถวัลย์ เกตมาลา. (2558). “ปริมาณกาบาและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ”. วารสารเกษตรพระวรุณ ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน.

[36] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2564). **“ลักษณะของกราฟที่ได้จากเครื่อง Texture profile analysis (TPA)”** [ออนไลน์], แหล่งเข้าถึง: http:// www.food networksolution.com. [18 สิงหาคม 2564]

[37] Mahony M. O. and Dekker M. (1986). **“Sensory Evaluation of Food”.** Macel dekker. Inc., New York.

[38] สมจิตนา สุมิตสวรรค์. (2552). **“การประเมินคุณภาพทางสัมผัสของอาหาร”**. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น.

[39] เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. (2546). **“การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส”.** ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, จังหวัดกรุงเทพ.

[40] ภานุ โรจนพิทยา, โฆษิต ฟุกล่อย และลภัส จุลสุรางค์. (2561). **“การพัฒนาและทดลองเครื่องเคลือบแบบสเปรย์ฟลูอิไดซ์เบดชนิดการฉีดพ่นจากด้านข้างสำหรับการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือก”** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

[41] สัมพันธ์ ไชยเทพ และวิบูลย์ ช่างเรือ. (2560). **“ผลของการกระเทาะส่งผลเสียหายของเมล็ดข้าวเปลือก”.** Agricultural Science Journal. pp. 413-416

[42] กมลวรรณ แจ้งชัด. (2563). **“ผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือก”.** ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[43] Sharma N., GOYAL S. K., Alam T. (2018). **“Effect of high pressure soaking on water absorption, gelatinization, and biochemical properties of**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

germinated and non-germinated foxtail 18 millet grains". Department of Food and Nutritional Sciences, University of Reading.

[44] Xia Q. and Li Y. (2018). **"Mild high hydrostatic pressure pretreatments applied before soaking process to modulate wholegrain brown rice germination".** Department of Food Science, Shanghai Jiao Tong University.

[45] Baranzelli J., Kringel D. H., Mallmann J. F., Bock E., Mello El Halal S. L., Prietto L., Rosa Zavareze E. d., de Miranda M. Z. and Renato Guerra Dias A. (2019). **"Impact of wheat (Tritcum aestivum L.) Germination Process on Starch Properties for Application in Films".** Laboratory of Post-Harvest, Quality and Industrialization of Grains Department of Food Science and Technology.

[46] กรกฎ เพร็ชร์หัสณะโยธิน สุธนเสถียรยานนท์ และธิดา อมร. (2561). **"นวัตกรรมการผลิตข้าวกล้องงอกให้สารกาบาสูง".** สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

[47] นฤบดี ศรีสังข์ ณัฐพงศ์ รัตนเดช และศิริวรรณ ศรีสังข์. (2557). "เครื่องผลิตข้าวไร่งอก". สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

[48] ไชยรัตน์ เพชรคีรี. (2559). "การอบแห้งเมล็ดถั่วหรั่งงอกด้วยเทคนิคฟลูไดซ์เบดแบบลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโลยีอุตสาหกรรมภาคอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

[49] พรพิชญ์ อ่อนบุญ. (2563). "การผลิตข้าวงอกนึ่งโดยไม่ใช้ไอน้ำ". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

[50] อุมาพร อยู่สบาย. (2558). **"ผลของวิธีการเพาะงอกและการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก".** สาขาวิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมพลังงานภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

[51] ขวัญฤทัย จาตุประยูร ฐิติรัตน์ จันทบดี และนนท์ปวิช เตี้ยนซี่. (2562). **"การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจนเพื่อยับยั้งเชื้อรา".** บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[52] นฤบดี ศรีสังข์ ณัฐพงศ์ รัตนเดช และศิริวรรณ ศรีสังข์. (2557). **"เครื่องผลิตข้าวไร่งอก"**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[53] Petroff O.A. 2002. **“GABA and glutamate in humanbrain”**. Neuroscientist. Vol 8(6), pp. 562-573.

[54] Roth R.J., Cooper J.R. and Bloom F.E. (2003). **“The Biochemical Basis of Neuro -pharmacology”**. Oxford [Oxfordshire]: Oxford University Press. 106.

[55] Loan L.T.K., and Thuy N.M. (2019). **“Optimization of germination process of “Cam” brown rice by response surface methodology and evaluation of germinated rice quality”**. Faculty of Agriculture and Food Technology, Tien Giang University, Vietnam College of Agriculture, Can Tho University, Vietnam. pp 459-467.

[56] Mir S.A., Shah M.A., and Manickavasagan A. (2017). **“Germinated Brown Rice”** Department of Food Science and Technology, Pondicherry University, Puducherry, India. pp 185-201.

[57] Singh K., Simapisan P., Decharatanangkoon S., and Utamaang N. (2017). **“ Effect of Soaking Temperature and Time on GABA and Total Phenolic Content of Germinated Brown Rice (Phitsanulok 2)”.** Division of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand. pp. 224-232.

[58] Copeland, L.O. and McDonald M.B. 1995. **“Principles of seed science and technology”.** 3thEdition. Burgress Publishing Company. New York.

[59] Chavan J.K. and Kadam S.S. (1989). **“Nutritional Improvement of Cereals by Sprouting”.** Food Sci. Nutri. Vol 28, pp 401-437.

[60] สุนัน ปานสาคร, ศราวุฒิ สุขนาค, เบญจวรรณ พงษศักดิ์ และสุกานดา สนรัมย์. (2553). **“ศึกษาและออกแบบเครื่องผลิตข้าวกล้องงอกขนาดเล็ก”.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี. ปีที่ 8. ฉบับที่ 1. หน้า 61-67.

[61] สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, เพชรรัตน์ ใจบุญ, สักกมน เทพหัสดิน ณอยุธยา และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2553). **“ผลของเจลาทิไนเซซันที่มีต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวกล้อง”.** วารสารวิทนาศาสตร์เกษตร ปีที่ 41 ฉบบที่3/1

[62] ธนากรณ์ อุ่นพินิจ, วรนิรำไพ เศรษฐ์ธณบุตร, ทนิกร คำแสน, พนมกร ขวาของ และอภิชาตอาจนาเสียว. (2560). **“การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบอัตโนมัติ”.** วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน

[63] อุมาพร อยู่สบาย. (2558). **“ผลของวิธีการเพาะงอกและการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก”.** สาขาเทคโนโลยีระบบเกษตร ภาควิชาเกษตรกลวิธาน บัณฑิตวิทยาลัย (เทคโนโลยีระบบเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[64] Taechapaioj, C. Prachayawarakorn, S. and Soponronarit, S. (2004) . “Characteristics of Rice Dried in Superheated Steam Fluidised Bed”. Drying Technology. Vol. 22(4), pp.719-743.

[65] เทวิกา กีรติบูรณะ , วรนุช ศรีเจษฎารักษ์. (2554). **“ผลของการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 งอกต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ”.** The Graduate Research Conference. pp. 729-734.

[66] Noriko K., Kikuichi T., Hidechika T., Tadanao S., Naoto S. and Toshinori K. (2007). **“Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown paddy”.** J. Food Eng. Vol 78, pp. 556–560.

[67] Somboon T., Suwimon K. and Athip B. (2015). “Enhancing gamma-aminbutyric acid content in germinated brown rice by reped treatment of soaking ang incubation”. Food scice and technology international. pp.26-32.

[68] นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์. (2552). **“การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิไดซ์เบดแบบอากาศร้อน”.** สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อม และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดกรุงเทพ.

[69] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2555). **“มาตรฐานสินค้าเกษตร”.** การปฏิบัติที่ดีสำหรับการผลิตข้าวกล้องงอก (มกษ. 4404-2555). หน้าที่11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองร้อยละการงอกที่อุณหภูมิน้ำแช่ 30 องศาเซลเซียสที่ระยะการแช่ต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการงอก (h)	ร้อยละการงอก (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
16	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0
32	0.0	0.0	0.0	0.0
40	4.0	4.0	4.0	4.0
48	48.0	48.0	52.0	50.0
56	56.0	70.0	68.0	68.3
64	80.0	78.0	79.0	79.0
70	91.0	90.0	89.0	90.0

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองร้อยละการงอกที่อุณหภูมิน้ำแช่ 35 องศาเซลเซียสที่ระยะการแช่ต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการงอก (h)	ร้อยละการงอก (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
16	0.0	0.0	0.0	0.0
24	11.0	12.0	13.0	12.0
32	57.0	55.0	56.0	56.0
40	63.0	64.0	64.0	63.7
48	85.0	83.0	83.0	83.7
50	90.0	90.0	88.0	90.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองความชื้นที่อุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการงอก (h)	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น % (w.b)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
16	1	50	36.4	27.1
	2	50	36.5	
	3	50	36.4	
24	1	50	35.7	28.7
	2	50	35.7	
	3	50	35.6	
32	1	50	35.1	29.9
	2	50	35.0	
	3	50	35.0	
40	1	50	34.5	31.1
	2	50	34.4	
	3	50	34.4	
48	1	50	33.9	32.3
	2	50	33.8	
	3	50	33.8	
56	1	50	33.1	33.9
	2	50	33.1	
	3	50	33.0	
64	1	50	32.8	34.3
	2	50	32.9	
	3	50	32.8	
70	1	50	31.9	36.8
	2	50	31.5	
	3	50	31.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองความชื้นที่อุณหภูมิน้ำ 35 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการงอก (h)	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น % (w.b)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
16	1	50	35.6	28.7
	2	50	35.7	
	3	50	35.7	
24	1	50	34.4	30.8
	2	50	35.1	
	3	50	34.3	
32	1	50	33.8	32.5
	2	50	33.7	
	3	50	33.8	
40	1	50	33.1	33.7
	2	50	33.2	
	3	50	33.1	
48	1	50	31.8	36.7
	2	50	31.7	
	3	50	31.9	
50	1	50	33.8	37.3
	2	50	30.8	
	3	50	31.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองความชื้นที่อุณหภูมิน้ำ 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการงอก (h)	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น % (w.b)
		ก่อนอบ	หลังอบ	
16	1	50	34.0	32.0
	2	50	34.2	
	3	50	33.8	
24	1	50	32.9	34.2
	2	50	32.9	
	3	50	32.9	
32	1	50	32.2	35.4
	2	50	32.3	
	3	50	32.4	
40	1	50	31.2	37.5
	2	50	31.3	
	3	50	31.2	
48	1	50	30.4	38.8
	2	50	30.9	
	3	50	30.5	
50	1	50	30.4	39.2
	2	50	30.5	
	3	50	30.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	40.0	19.7
	2	50	40.3	
	3	50	40.1	
2	1	50	39.3	21.3
	2	50	39.5	
	3	50	39.2	
3	1	50	39.0	21.9
	2	50	39.2	
	3	50	39.9	
4	1	50	38.7	22.5
	2	50	38.9	
	3	50	38.6	
5	1	50	38.6	23.6
	2	50	38.0	
	3	50	38.0	
6	1	50	38.0	24.5
	2	50	37.7	
	3	50	37.6	
7	1	50	37.2	25.9
	2	50	37.7	
	3	50	36.2	
8	1	50	36.1	27.6
	2	50	36.3	
	3	50	36.2	
9	1	50	35.5	28.8
	2	50	35.6	
	3	50	35.7	

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ 5 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	34.9	29.5
	2	50	34.9	
	3	50	36.0	
11	1	50	35.0	29.9
	2	50	35.0	
	3	50	35.2	
12	1	50	34.4	30.2
	2	50	35.2	
	3	50	35.0	
13	1	50	35.0	30.3
	2	50	34.9	
	3	50	34.6	
14	1	50	34.9	30.8
	2	50	34.3	
	3	50	34.5	
15	1	50	34.8	31.1
	2	50	34.3	
	3	50	34.2	
16	1	50	34.4	31.7
	2	50	33.7	
	3	50	34.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	39.4	21.6
	2	50	39.6	
	3	50	39.6	
2	1	50	38.4	24.4
	2	50	38.4	
	3	50	38.1	
3	1	50	37.6	25.7
	2	50	37.7	
	3	50	37.5	
4	1	50	37.1	26.4
	2	50	37.1	
	3	50	36.9	
5	1	50	36.9	27.3
	2	50	36.8	
	3	50	36.7	
6	1	50	36.0	28.2
	2	50	36.2	
	3	50	38.0	
7	1	50	35.6	29.7
	2	50	25.6	
	3	50	35.7	
8	1	50	35.3	30.5
	2	50	35.4	
	3	50	35.1	
9	1	50	34.5	30.9
	2	50	34.6	
	3	50	34.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	34.5	31.1
	2	50	34.4	
	3	50	34.4	
11	1	50	34.1	31.6
	2	50	34.2	
	3	50	34.3	
12	1	50	33.9	32.1
	2	50	34.0	
	3	50	34.0	
13	1	50	33.7	32.7
	2	50	33.7	
	3	50	33.6	
14	1	50	33.5	33.0
	2	50	33.5	
	3	50	33.5	
15	1	50	33.1	33.7
	2	50	33.2	
	3	50	33.1	
16	1	50	32.9	34.2
	2	50	33.0	
	3	50	32.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 9 ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	39.3	21.3
	2	50	39.2	
	3	50	39.6	
2	1	50	38.1	23.7
	2	50	38.2	
	3	50	38.1	
3	1	50	37.6	24.7
	2	50	37.7	
	3	50	37.6	
4	1	50	36.6	26.5
	2	50	37.0	
	3	50	36.6	
5	1	50	36.4	27.3
	2	50	36.3	
	3	50	36.3	
6	1	50	35.6	29.0
	2	50	35.1	
	3	50	35.8	
7	1	50	35.0	29.9
	2	50	35.2	
	3	50	35.0	
8	1	50	34.5	30.9
	2	50	34.5	
	3	50	34.6	
9	1	50	34.4	31.1
	2	50	34.4	
	3	50	34.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 9 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	34.2	31.7
	2	50	34.2	
	3	50	34.0	
11	1	50	33.7	32.5
	2	50	33.7	
	3	50	33.8	
12	1	50	33.5	32.8
	2	50	33.8	
	3	50	33.5	
13	1	50	33.5	33.1
	2	50	33.5	
	3	50	33.3	
14	1	50	33.0	33.7
	2	50	33.2	
	3	50	33.2	
15	1	50	32.6	34.1
	2	50	33.1	
	3	50	33.1	
16	1	50	32.5	35.2
	2	50	33.5	
	3	50	32.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	39.2	21.4
	2	50	39.7	
	3	50	39.0	
2	1	50	38.0	24.0
	2	50	38.3	
	3	50	37.6	
3	1	50	37.2	25.1
	2	50	37.5	
	3	50	37.6	
4	1	50	36.7	26.5
	2	50	36.7	
	3	50	36.9	
5	1	50	36.9	26.5
	2	50	36.3	
	3	50	36.9	
6	1	50	36.9	27.3
	2	50	36.3	
	3	50	36.9	
7	1	50	35.5	29.6
	2	50	35.5	
	3	50	35.7	
8	1	50	35.5	2936
	2	50	35.3	
	3	50	34.8	
9	1	50	34.5	30.4
	2	50	34.9	
	3	50	35.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	34.5	30.7
	2	50	34.7	
	3	50	34.7	
11	1	50	34.3	31.3
	2	50	34.3	
	3	50	34.4	
12	1	50	34.4	31.8
	2	50	34.0	
	3	50	33.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	38.3	23.4
	2	50	38.5	
	3	50	38.1	
2	1	50	36.9	25.9
	2	50	37.2	
	3	50	37.0	
3	1	50	36.6	26.7
	2	50	36.8	
	3	50	36.6	
4	1	50	36.3	27.8
	2	50	36.1	
	3	50	35.9	
5	1	50	34.7	29.0
	2	50	34.9	
	3	50	35.0	
6	1	50	34.7	30.3
	2	50	34.9	
	3	50	35.0	
7	1	50	34.3	31.1
	2	50	34.5	
	3	50	34.6	
8	1	50	34.5	31.3
	2	50	34.5	
	3	50	34.0	
9	1	50	33.9	32.1
	2	50	33.9	
	3	50	34.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	33.9	30.7
	2	50	33.0	
	3	50	33.9	
11	1	50	32.9	33.7
	2	50	33.5	
	3	50	33.0	
12	1	50	32.5	34.7
	2	50	32.5	
	3	50	33.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 9 ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	38.0	24.2
	2	50	38.7	
	3	50	38.9	
2	1	50	37.4	25.9
	2	50	37.1	
	3	50	37.2	
3	1	50	36.8	26.6
	2	50	36.7	
	3	50	36.7	
4	1	50	35.9	27.4
	2	50	36.2	
	3	50	36.3	
5	1	50	35.5	28.6
	2	50	35.9	
	3	50	35.7	
6	1	50	34.6	30.0
	2	50	35.2	
	3	50	35.0	
7	1	50	34.0	30.8
	2	50	34.3	
	3	50	34.3	
8	1	50	34.9	31.4
	2	50	34.9	
	3	50	34.1	
9	1	50	33.9	32.8
	2	50	33.9	
	3	50	34.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 9 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	33.5	32.2
	2	50	33.5	
	3	50	33.9	
11	1	50	33.3	35.0
	2	50	33.3	
	3	50	33.5	
12	1	50	32.7	35.2
	2	50	32.7	
	3	50	32.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	38.1	23.7
	2	50	38.2	
	3	50	38.1	
2	1	50	37.0	25.7
	2	50	37.0	
	3	50	37.4	
3	1	50	36.9	26.1
	2	50	37.0	
	3	50	36.9	
4	1	50	36.3	27.6
	2	50	36.2	
	3	50	36.1	
5	1	50	35.7	28.3
	2	50	35.9	
	3	50	35.9	
6	1	50	35.1	29.3
	2	50	35.3	
	3	50	35.6	
7	1	50	35.0	30.1
	2	50	34.9	
	3	50	34.9	
8	1	50	34.4	30.9
	2	50	34.6	
	3	50	34.6	
9	1	50	34.1	31.5
	2	50	34.5	
	3	50	34.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 5 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	33.7	32.5
	2	50	33.6	
	3	50	33.9	
11	1	50	33.3	33.5
	2	50	33.4	
	3	50	33.1	
12	1	50	32.7	34.7
	2	50	32.9	
	3	50	32.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	37.6	25.1
	2	50	37.4	
	3	50	37.4	
2	1	50	36.4	27.1
	2	50	36.5	
	3	50	36.4	
3	1	50	36.3	28.1
	2	50	35.9	
	3	50	35.7	
4	1	50	35.3	29.6
	2	50	35.2	
	3	50	35.1	
5	1	50	35.7	28.3
	2	50	35.9	
	3	50	35.9	
6	1	50	35.0	31.1
	2	50	34.6	
	3	50	34.6	
7	1	50	34.1	31.6
	2	50	34.3	
	3	50	34.2	
8	1	50	33.8	32.1
	2	50	34.1	
	3	50	33.9	
9	1	50	33.5	32.9
	2	50	33.6	
	3	50	33.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 7 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	33.1	33.7
	2	50	33.1	
	3	50	33.3	
11	1	50	32.5	34.9
	2	50	32.6	
	3	50	32.5	
12	1	50	32.3	35.5
	2	50	32.3	
	3	50	32.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ ลิตรต่อนาที

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
1	1	50	37.1	25.9
	2	50	37.0	
	3	50	37.1	
2	1	50	36.6	27.0
	2	50	36.5	
	3	50	36.4	
3	1	50	36.0	28.3
	2	50	35.6	
	3	50	36.0	
4	1	50	35.2	29.7
	2	50	35.3	
	3	50	35.0	
5	1	50	34.7	30.7
	2	50	34.6	
	3	50	34.7	
6	1	50	34.4	31.2
	2	50	34.3	
	3	50	34.5	
7	1	50	34.2	32.0
	2	50	34.8	
	3	50	34.0	
8	1	50	33.7	32.5
	2	50	33.7	
	3	50	33.9	
9	1	50	33.2	33.1
	2	50	33.3	
	3	50	33.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองความชื้นข้าวที่ผ่านสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการสเปรย์น้ำ 9 ลิตรต่อนาที (ต่อ)

จำนวนครั้งสเปรย์	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น %
		ก่อนอบ	หลังอบ	(w.b)
10	1	50	33.1	34.0
	2	50	33.1	
	3	50	32.9	
11	1	50	32.6	34.8
	2	50	32.7	
	3	50	32.5	
12	1	50	32.3	35.3
	2	50	32.3	
	3	50	32.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 ผลการทดลองร้อยละการงอกด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่การบ่มด้วยวิธีเบดนิ่ง (Fixed bed)

เวลาที่ใช้ในการงอก	ร้อยละการงอก (%)			
(h)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	0.0	0.0	0.0	0.0
16	1.0	2.0	5.0	2.67
20	10.0	11.0	12.0	11.00
24	28.0	26.0	28.0	27.33
28	47.0	48.0	45.0	46.67
32	61.0	62.0	61.0	61.33
36	87.0	86.0	86.0	86.33
38	92.0	92.0	91.0	91.67

ตารางที่ ก.16 ผลการทดลองร้อยละการงอกด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่บ่มด้วยวิธีเบดหมุน (Rotated bed)

เวลาที่ใช้ในการงอก	ร้อยละการงอก (%)			
(h)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0
20	4.0	5.0	5.0	4.67
24	9.0	10.0	10.0	9.67
28	31.0	30.0	30.0	30.33
32	58.0	55.0	57.0	56.67
36	73.0	73.0	76.0	74.00
40	88.0	91.0	93.0	90.67

ตารางที่ ก.17 ผลการทดลองร้อยละการงอกด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่บ่มด้วยวิธีเบดหมุนร่วมกับสเปรย์น้ำ (Rotated bed + water spray)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการงอก	ร้อยละการงอก (%)			
(h)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	0.0	0.0	0.0	0.0
16	32.0	33.0	31.0	32.0
20	66.0	69.0	63.0	66.0
24	88.0	84.0	85.0	86.0
26	92.0	94.0	91.0	92.33

ตารางที่ ก.18 ผลการทดลองความชื้นด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่การบ่มด้วยวิธีเบดนิ่ง (Fixed bed)

เวลาที่ใช้ในการงอก	ร้อยละการงอก (%)			
(h)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	31.0	31.0	31.2	31.1
12	31.0	31.0	31.2	30.9
16	31.0	30.6	31.0	31.3
20	31.4	31.2	31.2	31.2
24	31.6	31.2	30.8	30.9
28	31.6	30.2	30.8	31.1
32	31.0	31.0	31.2	31.3
36	31.4	31.2	31.2	31.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.19 ผลการทดลองความชื้นด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่บ่มด้วยวิธีเบดหมุน (Rotated bed)

เวลาที่ใช้ในการงอก	ร้อยละการงอก (%)			
(h)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	31.0	30.8	30.8	30.9
16	30.6	30.4	30.6	30.6
20	30.4	30.2	30.6	30.4
24	30.4	30.8	29.8	30.3
28	30.4	30.2	30	30.2
30	29.8	29.8	29.8	29.8
32	29.6	29.8	29.6	29.7
34	31.0	30.8	30.8	30.9
36	30.6	30.4	30.6	30.5

ตารางที่ ก.20 ผลการทดลองความชื้นด้วยการสเปรย์น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่บ่มด้วยวิธีเบดหมุนร่วมกับสเปรย์น้ำ (Rotated bed+water spray)

เวลาที่ใช้ในการงอก	ร้อยละการงอก (%)			
(h)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
12	31.6	32.2	31.8	31.9
16	32.6	32.6	33.2	32.8
20	34.0	33.6	33.8	33.8
24	36.0	35.0	35.8	35.6
26	35.4	35.4	35.0	35.3
28	35.0	35.2	35.2	35.1
30	31.6	32.2	31.8	31.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 21 ผลการทดลองจลศาสตร์การอบแห้งแบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส (water spray 40 ℃)

เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น % (w.b)	อุณหภูมิเมล็ด (℃)
		ก่อนอบ	หลังอบ		
3	1	50	32.7	33.00	36.4
	2	50	32.6		
	3	50	32.5		
6	1	50	33.1	32.93	42.1
	2	50	33.2		
	3	50	33.5		
9	1	50	34.0	31.60	45.5
	2	50	34.1		
	3	50	34.2		
12	1	50	34.4	30.20	48.9
	2	50	34.8		
	3	50	34.8		
15	1	50	35.2	28.40	51.8
	2	50	35.0		
	3	50	35.0		
18	1	50	36.4	27.00	54.3
	2	50	36.6		
	3	50	36.8		
21	1	50	37.1	25.67	57.1
	2	50	37.1		
	3	50	37.1		
24	1	50	37.5	24.40	59.7
	2	50	37.1		
	3	50	37.4		
27	1	50	37.8	22.67	62.3
	2	50	37.8		
	3	50	38.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 21 ผลการทดลองจลศาสตร์การอบแห้งแบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส (water spray 40 ℃) (ต่อ)

เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น % (w.b)	อุณหภูมิเมล็ด (℃)
		ก่อนอบ	หลังอบ		
30	1	50	38.1	21.67	66.2
	2	50	38.1		
	3	50	38.2		
33	1	50	38.8	20.33	69.9
	2	50	38.9		
	3	50	39.1		
36	1	50	39.8	19.00	73.2
	2	50	39.7		
	3	50	39.7		
39	1	50	41	17.93	77.6
	2	50	41.2		
	3	50	41.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 22 ผลการทดลองจลศาสตร์การอบแห้งแบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 2000 W (water spray 40 °C)

เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น % (w.b)	อุณหภูมิเมล็ด (°C)
		ก่อนอบ	หลังอบ		
3	1	50	33.4	32.20	39.5
	2	50	33.5		
	3	50	33.6		
6	1	50	34.1	31.73	44.0
	2	50	34.2		
	3	50	34.1		
9	1	50	34.9	29.80	49.1
	2	50	34.9		
	3	50	34.7		
12	1	50	35.4	28.27	52.4
	2	50	35.0		
	3	50	35.2		
15	1	50	36.2	26.80	58.5
	2	50	36.4		
	3	50	36.6		
18	1	50	37.4	24.07	61
	2	50	37.4		
	3	50	37.4		
21	1	50	38.8	22.20	66.0
	2	50	38.7		
	3	50	38.8		
24	1	50	39.5	20.60	70.3
	2	50	39.1		
	3	50	39.4		
27	1	50	40.9	18.13	77.1
	2	50	40.9		
	3	50	41.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 23 ผลการทดลองจลศาสตร์การอบแห้งแบบเบดหมุน ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 2000 W (Soaking 35 °C)

เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น % (w.b)	อุณหภูมิเมล็ด (°C)
		ก่อนอบ	หลังอบ		
3	1	50	32.2	35.80	35.5
	2	50	32.2		
	3	50	32.2		
6	1	50	33.1	34.40	39.7
	2	50	33.1		
	3	50	33.1		
9	1	50	34.2	32.00	41.2
	2	50	34.0		
	3	50	34.0		
12	1	50	34.9	31.33	46.6
	2	50	34.8		
	3	50	34.7		
15	1	50	35.6	29.20	50.3
	2	50	35.9		
	3	50	36.0		
18	1	50	36.7	27.73	56.0
	2	50	36.7		
	3	50	36.2		
21	1	50	37.0	25.00	61.7
	2	50	37.2		
	3	50	37.2		
24	1	50	37.6	23.80	65.2
	2	50	37.6		
	3	50	37.5		
27	1	50	39.4	21.67	70.0
	2	50	38.9		
	3	50	39.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 23 ผลการทดลองจลศาสตร์การอบแห้งแบบเบดหมุน ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ 2000 W (Soaking 35 °C) (ต่อ)

เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)	ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกงอก (g)		ความชื้น % (w.b)	อุณหภูมิเมล็ด (°C)
		ก่อนอบ	หลังอบ		
30	1	50	39.7	20.20	75.9
	2	50	39.8		
	3	50	39.1		
33	1	50	40.5	18.53	81.2
	2	50	41		
	3	50	40.7		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 24 ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวอ้างอิง (Reference brown rice)

ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้น (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกที่คัดออก (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้นจริง (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกเต็มเมล็ด (g)	ร้อยละต้นข้าว (%)
1	125.0	5.2	119.8	77.6	67.68
2	125.0	3.4	121.6	79.5	67.23
3	125.0	4.8	120.2	77.8	67.45

ตารางที่ ก. 25 ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS)

ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้น (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกที่คัดออก (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้นจริง (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกเต็มเมล็ด (g)	ร้อยละต้นข้าว (%)
1	125.0	6.7	118.3	72.3	64.75
2	125.0	5.3	119.7	73.1	63.91
3	125.0	6.9	118.1	71.5	64.33

ตารางที่ ก. 26 ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS)

ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้น (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกที่คัดออก (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้นจริง (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกเต็มเมล็ด (g)	ร้อยละต้นข้าว (%)
1	125.0	8.1	116.9	70.2	64.55
2	125.0	8.1	119.6	69.7	63.88
3	125.0	7.7	117.3	70.4	64.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 27 ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (HA130+HL2000)

ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้น (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกที่คัดออก (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้นจริง (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกเต็มเมล็ด (g)	ร้อยละต้นข้าว (%)
1	125.0	7.2	117.8	66.8	65.85
2	125.0	7.1	117.9	66.5	66.69
3	125.0	6.9	118.1	67.0	66.27

ตารางที่ ก. 28 ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2 (HA130+HL2000)

ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้น (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกที่คัดออก (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้นจริง (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกเต็มเมล็ด (g)	ร้อยละต้นข้าว (%)
1	125.0	5.2	119.8	75.5	65.01
2	125.0	6.1	118.9	75.2	66.27
3	125.0	6.7	118.3	74.0	65.64

ตารางที่ ก. 29 ผลการทดลองร้อยละต้นข้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS) และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส (HA130)

ครั้งที่	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้น (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกที่คัดออก (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกตั้งต้นจริง (g)	น้ำหนักข้าวเปลือกเต็มเมล็ด (g)	ร้อยละต้นข้าว (%)
1	125.0	7.2	117.8	71.9	60.42
2	125.0	7.1	117.9	73.4	60.02
3	125.0	6.9	118.1	73.0	60.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 30 ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวอ้างอิง (Reference brown rice)

ครั้งที่	ร้อยละแตกร้าว(%)
1	19.00
2	18.00
3	18.00
เฉลี่ย	18.33

ตารางที่ ก. 31 ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS)

ครั้งที่	ร้อยละแตกร้าว(%)
1	38.00
2	37.00
3	34.00
เฉลี่ย	36.33

ตารางที่ ก. 32 ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS)

ครั้งที่	ร้อยละแตกร้าว(%)
1	46.00
2	43.00
3	42.00
เฉลี่ย	43.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 33 ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (HA130+HL2000)

ครั้งที่	ร้อยละแตกร้าว(%)
1	48.00
2	48.00
3	51.00
เฉลี่ย	49.00

ตารางที่ ก. 34 ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2 (GBR-WSS HA130+HL2000)

ครั้งที่	ร้อยละแตกร้าว(%)
1	55.00
2	60.00
3	60.00
เฉลี่ย	58.33

ตารางที่ ก. 35 ผลการทดลองร้อยละแตกร้าวของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส (GBR-WSS HA130)

ครั้งที่	ร้อยละแตกร้าว(%)
1	78.00
2	82.00
3	82.00
เฉลี่ย	80.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 36 ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวอ้างอิง (Reference brown rice)

ครั้งที่	GABA (mg/100g)
1	1.54
2	1.43
3	1.48
เฉลี่ย	1.40

ตารางที่ ก. 37 ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส (GBR-WS)

ครั้งที่	GABA (mg/100g)
1	14.99
2	14.93
3	14.96
เฉลี่ย	14.96

ตารางที่ ก. 38 ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส (GBR-WSS)

ครั้งที่	GABA (mg/100g)
1	12.94
2	12.94
3	12.93
เฉลี่ย	12.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 39 ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยวิธีการแช่น้ำ 35 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2000 W (HA130+HL2000)

ครั้งที่	GABA (mg/100g)
1	12.55
2	12.68
3	12.61
เฉลี่ย	12.62

ตารางที่ ก. 40 ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียสร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2 (GBR-WSS HA130+HL2000)

ครั้งที่	GABA (mg/100g)
1	10.55
2	10.71
3	10.63
เฉลี่ย	10.63

ตารางที่ ก. 41 ผลการตรวจวัด GABA ของข้าวงอกโดยใช้เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ 40 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยลมร้อน 130 องศาเซลเซียส (GBR-WSS HA130)

ครั้งที่	GABA (mg/100g)
1	8.76
2	8.69
3	8.73
เฉลี่ย	8.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แบบประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างแบบประเมินการยอมรับของผู้บริโภคข้าวกล้องงอก (A=Reference brown rice, B=Dried GBR with water soaking (HA 130 °C +HL 2,000 W), C=Dried GBR with water spraying (HA 130 °C +HL 2,000 W))

ตัวอย่าง	รายการตัวอย่าง	ลักษณะทางประสามสัมผัส/ระดับการยอมรับของผู้บริโภค				
		ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความพึงพอใจโดยรวม
		9 8 7 6 5 4 3 2 1	9 8 7 6 5 4 3 2 1	9 8 7 6 5 4 3 2 1	9 8 7 6 5 4 3 2 1	9 8 7 6 5 4 3 2 1
1	A					
2	B					
3	C					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารรับรองโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่. 64_019
เลขที่ EC-KMITL _64_019

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารรับรองโครงการวิจัย

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยเกี่ยวกับมนุษย์ประจำ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดำเนินการให้การรับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นมาตรฐานสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, The Belmont Report, CIOMS Guideline และ International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice หรือ ICH-GCP

ชื่อโครงการวิจัย : **เครื่องผลิตข้าวงอกด้วยระบบสเปรย์น้ำ**
รหัสโครงการวิจัย : EC-KMITL_64_019
ผู้วิจัยหลัก : **นายธัชพล จุ้งเจริญ**
ผู้วิจัยร่วม : **นายนฤบดี ศรีสังข์ และ นายณัฐพงศ์ รัตนเดช**
สังกัดหน่วยงาน : สจล. วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
วิธีทบทวน : แบบเร็ว (Expedited)/แบบเต็มชุด (Full board)
รายงานความก้าวหน้า : ส่งรายงานความก้าวหน้าอย่างน้อย 1 ครั้ง/ปี หรือส่งรายงานฉบับสมบูรณ์หากดำเนินโครงการเสร็จสิ้นก่อน 1 ปี/ส่งรายงานความก้าวหน้าอย่างน้อยทุก 3 เดือน/ 6 เดือน
เอกสารรับรอง :

1. แบบเสนอโครงการวิจัย เวอร์ชัน 1 ฉบับลงวันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563
2. โครงการวิจัยฉบับเต็ม เวอร์ชัน 2 ฉบับลงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563
3. เอกสารชี้แจงอาสาสมัครผู้รับการวิจัย เวอร์ชัน 2 ฉบับลงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563
4. หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย เวอร์ชัน 2 ฉบับลงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563
5. แบบบันทึกข้อมูล เวอร์ชัน 3 ฉบับลงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563
6. ประวัติผู้วิจัย

ลงนาม

(รองศาสตราจารย์ ดร.พัลดราภรณ์ ทีฆโสธร)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ประจำ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2563

วันที่รับรอง : **5 มกราคม พ.ศ. 2564**
วันหมดอายุ : **5 มกราคม พ.ศ. 2565**

ทั้งนี้ การรับรองนี้มีเงื่อนไขดังที่ระบุไว้ด้านหลังทุกข้อ (ดูด้านหลังของเอกสารรับรองโครงการวิจัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. 64_019
EC-KMITL_64_019

The Research Ethics Committee of
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1, Chalongkrung Rd., Lat Krabang, Bangkok Thailand 10520
Tel 02-3298000

Research certificate

The Research Ethics Committee of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang has exempted the following study which is to be carried out in compliance with the International guidelines for human research protection as Declaration of Helsinki, The Belmont Report, CIOMS Guideline, International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice (ICH-GCP) and 45CFR 46.101(b)

Study title : Germinated rice product machine with water spray system.
Study code : EC-KMITL_64_019
Principal investigator : Mr.Thatchapol Chungcharoen.
Co-Investigator : Mr.Narueboodee Srisang and Mr.Nuttapong Ruttanadexh
Study center : KMITL Prince of Chumphon Campus.
Review method : Expedited / Full board
Progress report : Progress report submitted at least 1 time / year or submit a complete report if the project is completed 1 year before / submit progress report at least every 3 months 6 months

Document reviewed :
1. Submission form version 1 dated 23 November, 2020
2. Full protocol/proposal version 2 dated 30 December, 2020
3. Participant information sheet version 2 dated 30 December, 2020
4. Informed consent form version 2 dated 30 December, 2020
5. Data record form version 3 dated 30 December, 2020
6. Curriculum Vitae

Signature Pastraporn Thipayasothorn
(Asst.Prof.Dr.Pastraporn Thipayasothorn.)
Chair of the Human Ethics Committee
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2020

Date of certification: 5 January, 2021
Expiration date: 5 January, 2022

In all this certification, there are conditions as stated on every back. (See the back of the research certificate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอุดมรัตน์ ใจตรึก
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ.2542
ภูมิลำเนา	จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ที่อยู่	222 ถนนหัวหิน-หนองพลับ ตำบลหินเหล็กไฟ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการอบรมสถาบันวิทยาการพลังงาน ครั้งที่ 4
- เข้าร่วมประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 7 Online conference ประจำปี 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้