การพัฒนากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด

วิทยานิพนธ์

ของ

เดชา ปะเขทานัง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด

วิทยานิพนธ์

ของ

เดชา ปะเขทานัง

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Development of Rice Seed Drying Process Using an Infrared Radiation Rotary Dryer

Decha Prakhethanang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

October 2019

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายเดชา ปะเขทานัง แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

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

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

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ละมุล วิเศษ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

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

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

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ชื่อเรื่อง การพัฒนากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด

ผู้วิจัย เดชา ปะเขทานัง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณ ยั่งยืน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรมาส เลาหวณิช

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด การศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก โดยมีปัจจัยในการทดสอบคือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด อุณหภูมิลมร้อน และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน และการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด โดยมีปัจจัยในการทดสอบคือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุน และจำนวนรอบในการอบแห้ง จากการทดสอบพบว่า อิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดที่แตกต่างกันมีผลต่อการลดความชื้น และอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดลดลง เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งมาหาคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่าที่ ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวรับลมร้อน 9 นาที เมื่อทดสอบกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 88.50 เปอร์เซ็นต์ และ 5.06 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงซึ่งมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อน 83.75 เปอร์เซ็นต์ และ 4.32 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อทดสอบกับข้าวพันธุ์ กข 49 มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 88.50 เปอร์เซ็นต์ และ 5.06 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงซึ่งมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อน 93.50 เปอร์เซ็นต์ และ 4.11 เซนติเมตร ตามลำดับ และปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดที่แตกต่างกันมีผลต่อการลดความชื้น และอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดลดลง เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาหาคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่าที่ ความ

ยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 รอบ มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 92.75 เปอร์เซ็นต์ และ 5.08 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงซึ่งมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อน 93.50 เปอร์เซ็นต์ และ 4.11 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้งพบว่า ความชื้นเริ่มต้น 20.15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เมื่อผ่านการอบแห้ง 1 รอบ เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือ 19.46 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ใช้พลังงานจำเพาะรวมในการอบแห้ง 8.78 MJ/kg water evap. และค่าใช้จ่ายในการอบแห้งของด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเท่ากับ 179.83 บาทต่อตัน โดยเป็นค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของการใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ไม่รวมขั้นตอนที่ต้องนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาตากแดดอีกเป็นเวลา 1 วันครึ่ง จากเดิมที่เกษตรกรใช้ใช้เวลาในการตากแดดลดความชื้น 4-5 วัน

คำสำคัญ : ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ, การเจริญเติบโตต้นอ่อน, เมล็ดพันธุ์, อบแห้งเมล็ดพันธุ์, รังสีอินฟราเรด

TITLE Development of Rice Seed Drying Process Using an Infrared Radiation Rotary Dryer

AUTHOR Decha Prakhethanang

ADVISORS Assistant Professor Suphan Yangyuen , Ph.D.
Assistant Professor Juckamas Laohavanich , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Mechanical Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2019

ABSTRACT

The objectives of this research were to develop paddy seed drying process by using rotary dryer with infrared radiation. The study comprises 2 parts: 1. the study of effects of paddy seed drying with infrared radiation combined with hot air and tempering that affected to paddy seed's quality. Infrared wavelengths, hot air temperature and exposure time to hot air were the factors in the experiment, and 2.the study of the factors that affected to paddy seed drying by using rotary dryer with infrared radiation. The factors in this experiment were infrared wavelength, inclination of rotating tank, and the number of rounds for drying. The results found that paddy seed drying with infrared radiation combined with hot air and tempering on different infrared wavelength had influenced on moisture reduction of paddy seed and paddy seed's temperature was increased when infrared wavelength was decreased. After testing the quality of the paddy seed that was dried by using infrared wavelength of 3.14 micrometers with hot air temperature of 35 degree Celsius and exposure time 9 minutes. When Khao Dawk Mali 105 rice was tested with the three mentioned factors, it caused normal seedling germination and seedling growth at 88.50 percent and 5.06 centimeters respectively. Comparing with reference rice, it had normal seedling germination and seedling growth rate at 83.75 percent and 4.32 centimeters respectively. And testing RD49 rice, it had normal seedling germination and seedling growth rate at 88.50 percent and 5.06 centimeters respectively. Comparing with reference rice, it had normal seedling germination and

seedling growth rate at 93.50 percent and 4.11 centimeters respectively. The factors which influenced on paddy seed drying by using rotary dryer with infrared radiation at different infrared wavelength affected on moisture reduction of paddy seed and paddy seed's temperature was increased when infrared wavelength was decreased. After testing the quality of the paddy seed that was dried, it was found that dried paddy seed at infrared wavelength of 3.52 micrometers, inclination of rotating tank at 6 degree of arc and 1 round of drying had normal seedling germination and seedling growth rate at 92.75 percent and 5.08 centimeters respectively. Comparing with reference rice, it had normal seedling germination and seedling growth rate at 93.50 percent and 4.11 centimeters respectively. The analysis outcome of energy consumption in drying proceeding showed that at 20.15 percent wet basis of the initial moisture for drying 1 round, paddy seed’s moisture was decreased by remaining 19.46 percent wet basis which consumed total specific energy in drying process at 8.78 MJ/kg water evap. Drying process’s expenditure of using rotary dryer with infrared radiation was 179.83 baht per ton. This expenditure included only for consuming in rotary dryer with infrared radiation excluding paddy rice drying procedure which had to expose to sunlight for 1.5 day that formerly spent 4-5 days to reduce moisture according to agriculturists’ traditional way.

Keyword : Normal seedling germination, Seedling growth, Paddy seed, Paddy seed drying, Infrared radiation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ปี 2561 โดยสำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ ยั่งยืน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส เลาหวณิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาให้ความรู้คำแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชวนอุดม ประธานกรรมการควบคุมสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ละมุล วิเศษ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบแก้วิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชวนอุดม ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาตรวจแก้วิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรียศ แข็งขัน ที่กรุณาตรวจแก้วิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัวที่ให้การสนับสนุน และเป็นแรงผลักดันที่ดีเสมอมา และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์และสถานที่สำหรับการวิจัย

เดชา ปะเขทานัง

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพประกอบ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา 3

1.3 ขอบเขตการศึกษา 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล 5

2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าว 5

2.2 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว 7

2.3 คุณภาพทางกายภาพ 11

2.4 ลักษณะของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่ดี 12

2.5 การงอกของเมล็ดพันธุ์ 14

2.6 การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Seed vigor evaluation) 17

2.7 การเสื่อมสภาพและการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ 19

2.8 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช 21

2.9 ทฤษฎีการอบแห้ง 22
2.10 การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด 26
2.11 การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน 31
2.12 หลักการอบแห้งข้าวเปลือก 31
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 38
3.1 การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก 38
3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด 45
3.3 วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 49
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย 53
4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก 53
4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด 67
4.3 วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 81
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 88
5.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก 88
5.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด 89
5.3 วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 89
5.4 ข้อเสนอแนะ 90
บรรณานุกรม 91

ภาคผนวก 95

ภาคผนวก ก ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก 96

ภาคผนวก ข ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด 136

ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบ 165

ประวัติผู้เขียน 172

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ที่เมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่าง ๆ สามารถงอกได้.....16

ตาราง 3.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ทดสอบอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49.....45

ตาราง 3.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด ที่มีผลต่อเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49.....49

ตาราง 4.1 ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....61

ตาราง 4.2 ผลของร้อยละการการงอกต้นอ่อนปกติ ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 65

ตาราง 4.3 ผลของการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 67

ตาราง 4.4 ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 73

ตาราง 4.5 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 76

ตาราง 4.6 ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 79

ตาราง 4.7 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 .81

ตาราง 4.8 ข้อมูลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก 82

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก 87

ตาราง ก.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....97

ตาราง ก.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 103

ตาราง ก.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....109

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....114

ตาราง ก.5 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร 124

ตาราง ก.6 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร 127

ตาราง ก.7 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร.....130

ตาราง ก.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร 132

ตาราง ข.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....137

ตาราง ข.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 141

ตาราง ข.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....145

ตาราง ข.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....148

ตาราง ข.5 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ 155

ตาราง ข.6 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ 157

ตาราง ข.7 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ.....159

ตาราง ข.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ 161

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 2.1 ส่วนประกอบของแกลบ (กรมวิชาการเกษตร, 2562) 8

ภาพประกอบ 2.2 ชั้นของเมล็ดข้าวกล้อง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)....8

ภาพประกอบ 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการอบแห้ง (Fellows, 1988)....25

ภาพประกอบ 2.4 (a) การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (b) การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (สมชาติ โสภรณฤทธิ์, 2540) 26

ภาพประกอบ 2.5 การสะท้อนการดูดซึม และการส่งผ่านพลังงานของวัตถุ (Ozisik, 1985) 27

ภาพประกอบ 2.6 การปลดปล่อยพลังงานของวัตถุดำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Ozisik, 1985) 29

ภาพประกอบ 2.7 ความสัมพันธ์ของการดูดซับ (Absorbtivity) คลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัตถุ (Mujumdar, 1995)....30

ภาพประกอบ 3.1 กระบวนการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก 40

ภาพประกอบ 3.2 (a) เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด (b) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (c) กล่องอับอากาศเพื่อใช้ในการเทมเปอริง 40

ภาพประกอบ 3.3 วิธีการวัดร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว 42

ภาพประกอบ 3.4 วิธีการวัดการเจริญเติบโตของต้นอ่อน 44

ภาพประกอบ 3.5 กระบวนการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด....47

ภาพประกอบ 3.6 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด....47

ภาพประกอบ 3.7 ตำแหน่งจุดสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าว ของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด....48

ภาพประกอบ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นหลังผ่านการอบแห้ง....54

ภาพประกอบ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และการเทมเปอริง ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส 55

ภาพประกอบ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และการเทมเปอริง ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส 56

ภาพประกอบ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และการเทมเปอริง ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส 56

ภาพประกอบ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส 58

ภาพประกอบ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส 58

ภาพประกอบ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส 59

ภาพประกอบ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส.....60

ภาพประกอบ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส.....60

ภาพประกอบ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส 61

ภาพประกอบ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อนและอุณหภูมิลมร้อนที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร.....63

ภาพประกอบ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร.....64

ภาพประกอบ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร 65

ภาพประกอบ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร 66

ภาพประกอบ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการอบแห้ง และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 ไมโครเมตร.....68

ภาพประกอบ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการอบแห้ง และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร.....69

ภาพประกอบ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการอบแห้ง และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 ไมโครเมตร.....70

ภาพประกอบ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการอบแห้ง และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร.....70

ภาพประกอบ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ 71

ภาพประกอบ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 2 รอบ 72

ภาพประกอบ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 3 รอบ 72

ภาพประกอบ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ 74

ภาพประกอบ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 2 รอบ 75

ภาพประกอบ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 3 รอบ 75

ภาพประกอบ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ 77

ภาพประกอบ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ 78

ภาพประกอบ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุน และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว ..79

ภาพประกอบ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุน และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ 80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ข้าว (Oryza sativa) เป็นธัญพืชซึ่งประชากรโลกบริโภคเป็นอาหารสำคัญ และเป็นธัญพืชซึ่งมีการปลูกมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย การปลูกข้าวจะปลูกไว้เพื่อบริโภค ส่วนที่เหลือจากการบริโภคก็จะนำไปขายให้กับโรงสีเพื่อแปรรูปและจำหน่ายต่อไป แต่มีข้าวบางส่วนที่จะต้องเก็บไว้เป็นเมล็ดพันธุ์เพื่อปลูกในฤดูกาลต่อไป โดยทั่วไปวิธีการเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตร คือหลังจากเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวแล้ว จะต้องนำมาตาดแดด 4-5 วัน จนข้าวมีความชื้น ไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก จากนั้นบรรจุถุงเก็บไว้เพื่อรอการเพาะปลูกในฤดูกาลต่อไป เกษตรกรบางกลุ่มมีการรวมตัวกันเพื่อผลิตพันธุ์ข้าวโดยเฉพาะ เนื่องจากว่าการจำหน่ายเป็นเมล็ดพันธุ์ข้าวนั้นได้ราคาที่สูงขึ้นกว่าการจำหน่ายเป็นข้าวเปลือกปกติ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2562)

ปัจจุบันได้มีโครงการระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ (นาแปลงใหญ่) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาประเทศตามนโยบาย ไทยแลนด์ 4.0 ของรัฐบาล เพื่อลดต้นทุนการผลิต เพิ่มผลผลิตและคุณภาพข้าว โดยสนับสนุนให้เกษตรกรผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวไว้ใช้เอง รวมถึงการผันตัวเองเป็นเกษตรกรสมัยใหม่ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวไว้จำหน่ายดังเช่น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่มีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปี 2561 มีศูนย์ข้าวชุมชนที่ได้ขึ้นทะเบียนกับกรมการข้าวทั้งสิ้น 1,786 ศูนย์ ในจำนวนนี้เข้าร่วมโครงการนาแปลงใหญ่แล้วจำนวน 368 ศูนย์ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2561) แต่วิถีการเพาะปลูกข้าวในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปเนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแรงงานและการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ดังนั้นจึงมีการนำเครื่องจักรเข้ามาใช้เพื่อทุ่นแรง ลดระยะเวลา และอำนวยความสะดวก เช่น เครื่องเกี่ยวและนวดข้าว ถึงแม้จะช่วยลดระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวให้สั้นลง แต่พบข้อเสีย คือ ข้าวที่ได้จากการเก็บเกี่ยวมีความชื้นสูงต้องนำมาลดความชื้นก่อนการเก็บรักษาหรือเก็บไว้เพื่อทำเมล็ดพันธุ์ โดยวิธีการลดความชื้นของเกษตรกรโดยทั่วไปยังคงใช้วิธีการตากด้วยแสงอาทิตย์บนลานตาก ด้วยการแผ่ให้มีความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร และระหว่างวันที่ทำการตากแดดเกษตรกรต้องหมั่นกลับกองข้าวเพื่อให้ได้รับแสงแดดสม่ำเสมอ โดยหากตากข้าวเพื่อบริโภคจะใช้เวลา 3-4 วัน หากต้องตากทำเมล็ดพันธุ์ต้องเพิ่มระยะเวลาในการตากเพิ่มขึ้นเป็น 4-5 วัน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวไม่ให้เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้นเกิน

มาตรฐานการเก็บรักษา ปัจจุบันพบปัญหาที่กำลังทวีความรุนแรงคือในช่วงที่มีการเก็บเกี่ยวพร้อม ๆ กันจะมีปัญหาพื้นที่ตากแห้งไม่เพียงพอ เกษตรกรบางส่วนจำเป็นต้องใช้พื้นผิวจราจรทำเป็นลานตาก ลดความชื้น ผลคือเกิดปัญหาทางสังคมตามมามีข้อพิพาทขัดแย้งหรือถึงขั้นเกิดอันตรายจากอุบัติเหตุบนท้องถนนได้ อีกทั้งข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวพบว่า คุณภาพข้าวที่ได้จากการตากบนลานตากมีการแตกหักสูงเป็นผลให้เกิดการกีดกันจากโรงสี ถึงแม้เทคโนโลยีการอบแห้งจะมีแพร่หลายแต่ก็พบว่าส่วนใหญ่เหมาะกับผู้ประกอบการรายใหญ่ หรือโรงสี เป็นต้น หากจะใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเข้ามาใช้ในระดับชุมชน เช่น เครื่องอบแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า ซึ่งมีขนาดใหญ่และราคาแพง ในขณะเครื่องอบที่มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องอบแบบลมร้อน จะมีต้นทุนพลังงานในการผลิตสูง กำลังการผลิตต่ำเพราะส่วนใหญ่เป็นการทำงานแบบเป็นงวดยากต่อการปฏิบัติงาน

จักรมาส เลาหวณิช และสุพรรณ ยั่งยืน, (2557) ได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง (เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด) มีความสามารถในการทำงาน 8-10 ตันวัตถุดิบต่อชั่วโมง ใช้ได้กับวัสดุประเภท เม็ด เมล็ด หรือ ผง เช่น ปุ๋ยอัดเม็ด ข้าวเปลือก และผงเปลือกไม้ยูคาลิปตัส สามารถลดความชื้นวัสดุได้ 4-6 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ในเวลา 3-5 นาที และ ทรงพล วิจารณ์จักร และคณะ, (2559) ได้ทดสอบอบข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก อัตราการป้อน 100-200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ 40-50 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นให้เหลือ 16-20 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ภายในเวลา 10 นาที คุณภาพการสีดีขึ้นกว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกรคือ สามารถลดการแตกหักจาก 15.04 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือเพียง 1.32 เปอร์เซ็นต์ การทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อการลดลงของความชื้น และความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวด้วยวิธีการตากแดดนาน 7 วัน เปรียบเทียบกับวิธีการให้ความร้อนก่อนนำไปตากแดด วิธีการแผ่รังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 2.7 ไมโครเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าวิธีการแผ่รังสีอินฟราเรดทำให้ความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าวิธีอื่น รวมถึงค่าเฉลี่ยร้อยละการงอกและความแข็งแรงดีกว่าวิธีอื่น ที่ 90.67 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (นฤพนธ์ บ่อคำเกิด และคณะ, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรวรรณ ฤทธิวุธ และคณะ, (2555) พบว่าการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิผิวของเมล็ด 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปตากแดดอีก 7 วัน จะทำให้เมล็ดพันธุ์มีร้อยละการงอกและความแข็งแรงสูงกว่าวิธีการอบด้วยลมร้อน 43 องศาเซลเซียส แล้วนำไปตากแดดอีก 7 วัน จากการศึกษาของ Ding *at el*., (2018) เพื่อเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรด มีความเข้มการแผ่รังสี 4685 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นเวลา 58 วินาที จะทำให้อากาศแวดล้อมอุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จากนั้นพักการอบ หรือ

เทมเปอริง ข้าวไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วเป่าลมเย็นอีก 30 นาที สุดท้ายคือ เป่าลมอากาศแวดล้อมอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส อีก 6 ชั่วโมง ไปยังข้าวมีความหนา 1 ชั้นเมล็ด มีผลทำให้ข้าวเปลือกความชื้นลดจาก 25 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เหลือ 15.92 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เทียบกับ การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิลมร้อน 43±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ความเร็วลม 0.10±0.001 เมตรต่อวินาที และการเป่าอากาศแวดล้อม ความเร็วลม 0.10±0.001 เมตรต่อวินาที พบว่าการลดความชื้นข้าวเปลือกทั้งสามวิธีมีร้อยละการงอกไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้กล่าวถึงการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าว

จากปัญหาและความน่าสนใจของเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดดังกล่าวข้างต้น หากมีการศึกษากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรดแล้ว คาดว่าจะทำให้ช่วยบรรเทาปัญหาการจัดการอบแห้งแบบเดิมของเกษตรกร และยังเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยเพิ่มคุณภาพเมล็ดพันธุ์ได้ ซึ่งหมายถึงจะช่วยส่งผลดีต่อการพัฒนากระบวนการผลิตในภาคเกษตรกรรมของประเทศได้เป็นอย่างดี

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1. ศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด
3. ศึกษาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ที่กลุ่มเกษตรกรมีอยู่

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วัสดุที่ใช้ทดสอบ คือ ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวนาปรังพันธุ์ กข 49 จากกลุ่มเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนโนนรัง
2. ทดสอบการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ในระดับห้องปฏิบัติการ

ตัวแปรต้น

1 ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ได้แก่ 2.83 2.98 และ 3.14 ไมโครเมตร

2 อุณหภูมิลมร้อน ได้แก่ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

3 เวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวรับลมร้อน ได้แก่ 3 6 และ 9 นาที

ตัวแปรตาม

1 ความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง

2 คุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง ได้แก่ ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อน

3. ทดสอบการอบแห้งเมล็ดพันธุ์โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง (เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด) ที่กลุ่มเกษตรกรมีอยู่

ตัวแปรต้น

1 ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ได้แก่ 2.83 3.14 3.32 และ 3.52 ไมโครเมตร

2 ความลาดเอียงของถังหมุน ได้แก่ 3 6 และ 9 องศา

3 จำนวนรอบในการอบแห้ง ได้แก่ 1 2 และ 3 รอบ

ตัวแปรตาม

1 ความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง

2 คุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง ได้แก่ ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ภายหลังเสร็จสิ้นการศึกษาคาดว่าจะได้องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับเทคโนโลยีหรือปัจจัยที่เหมาะสมกับการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ช่วยเพิ่มคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เพิ่มร้อยละการงอก และต้นกล้ามีความแข็งแรงสูงกว่าวิธีการลดความชื้นแบบดั้งเดิม และยังช่วยลดระยะเวลาการลดความชื้นของข้าวให้น้อยลง ส่งผลดีต่อการพัฒนากระบวนการผลิตใน ภาคเกษตรกรรมของประเทศได้เป็นอย่างดี

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าว

ข้าวเป็นหญ้าชนิดหนึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Family Gramineae Gramineae เช่นเดียวกับหญ้าใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) อื่น ๆ รวมทั้งต้นไผ่ด้วย ข้าวเป็นพืชที่มีลำต้นเป็นปล้องงอ (Internode) ภายในกลวง แต่ละปล้องปิดหัวท้ายด้วยข้อ (Node) ใบข้าว (Leaf Blde) มีลักษณะเป็นแผ่นบางแคบและเรียวยาว เส้นใบขนานกันปลายใบแหลมคล้ายใบหอกและมีก้านใบยาวเรียกว่า กาบใบ (Leaf sheath) ห่อหุ้มรอบลำต้นใบสุดท้ายของข้าวเรียกว่าใบธง (Flag leaf) มีความกว้างมากกว่าใบอื่น ๆ เป็นใบที่ติดอยู่กับรวงข้าวที่ข้อต่อของใบ ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบนั้นมีเยื่อกันน้ำฝน (Liqule) และมีเขี้ยวกันแมลง (Auricle) ติดอยู่ เขี้ยวกันแมลงมี 2 ลักษณะเป็นพู่คล้ายหางกระรอกติดอยู่ข้างละอันของข้อต่อใบส่วนเยื่อกันฝนจะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ รูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมประกบติดอยู่กับลำต้น เยื่อกันน้ำฝนจะมีขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ข้าว (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2535)

เวลาเมล็ดพันธุ์ข้าวงอก รากอ่อนหรือรากแรกเกิด (Primary Root) จะงอกออกมาก่อนส่วนที่จะกลายเป็นลำต้น 1-2 วัน จะพัฒนาไปเป็นรากแก้ว ซึ่งจะสลายไปภายใน 1 เดือน ดังนั้นข้าวเมื่อโตเต็มวัยจึงไม่มีรากแก้ว ข้าวมีเฉพาะรากฝอย (Fibrous Root) ซึ่งเป็นรากพิเศษ (Adventitious root) ที่เจริญเติบโตมาจากส่วนของลำต้นที่อยู่ใกล้ผิวดินซึ่งทำหน้าที่แทนรากแก้วแล้วหลังจากข้าวงอกออกมาจากเมล็ดแล้วปลอกหุ้มใบ หรือเรียกว่าปลอกหุ้มยอดอ่อน (Coleoptiles) จะงอกออกมาจากทางด้านตรงข้ามกับที่รากงอก หลังจากนั้นใบที่ 1 2 และ 3 จะงอกตามกันออกมาภายหลังประมาณ 40-50 วัน ต้นข้าวจะพัฒนาเป็นปล้องเรียกว่า ย่างปล้อง ปล้องแรกๆ จะอยู่ใต้ผิวดินละสั้นกว่าปล้องอื่น ๆ ปล้องสุดท้ายคือปล้องที่เป็นก้านของรวงเรียกว่า คอรวง (Uppermost Intermode)

ช่อดอกเรียกว่า รวง (Panicle) แขนงอันแรก (Primary Branch) ของรวงจะเริ่มจากข้อด้านบนของคอรวง (Panicle branch) แขนงต่อ ๆ ไปจะเกิดบนแกนรวงบนแขนงเหล่านี้ยังแตกกิ่งเล็ก ๆ (Secondary Branch) ออกไปอีก แต่ละกิ่งจะมีดอกข้าวภายหลังผสมเกสรและข้าวสุกแล้วเรียกว่าเมล็ดข้าวเปลือก ความถี่ห่างของแขนงและกิ่งแตกต่างในข้าวแต่ละพันธุ์ ดอกของต้นข้าวนั้นจัดเป็นดอกสมบูรณ์เพศ คือมีทั้งเกสรตัวผู้ (Stamen) และเกสรตัวเมีย (Pistill) อยู่ในดอกเดียวกัน ดอกข้าวประกอบด้วยเปลือกนอก 2 แผ่น ประสานกันเพื่อจะห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอก

แผ่นส่วนใหญ่เรียกว่าริ้วประดับใหญ่ (Lemma) ส่วนเปลือกแกนแผ่นเล็กเรียกริ้วประดับเล็ก (Plaea) บนส่วนยอดของริ้วประดับใหญ่บางพันธุ์อาจมีปลายแหลมยื่นออกไปเรียกว่า หาง (Awn) เกสรตัวผู้ประกอบด้วย อับเรณู (Anther) 6 อัน ซึ่งมีกิ่งก้านอับเกสร (Filament) ยาว เมื่อดอกข้าวบานบนก้านนี้จะส่งอับเกสรตัวผู้โผล่พ้นออกมานอกดอกข้าว ภายในอับเกสรตัวผู้เต็มไปด้วย ละอองเกสร (Pollen Grain) ขนาดเล็ก เกสรตัวเมียประกอบด้วย พู่ละอองเกสร (Stigma) 2 อัน และรังไข่ 1 รัง เชื่อมกันด้วยก้านพู่รับละอองเกสร (Style) ก้านนี้มีขนาดไม่ใหญ่นัก ดอกข้าวจะบานในเวลาเช้า การผสมเกสรอาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังดอกบานเล็กน้อย ดอกข้าวจะบานหลังจากโผล่พ้นกาบใบ 1-2 วัน โดยเริ่มบานจากปลายลงมาหาโคนรวง ใช้เวลาบานประมาณ 7 วันจึงจะบานครบทุกดอก

การผสมเกสร คือ การที่ละอองเกสรตัวผู้ (Pollen Grain) ตกลงบนเกสรตัวเมีย (Stigma) หลังจากการผสมเกสรเล็กน้อย ก็เกิดการผสมพันธุ์ที่เรียกว่า Double Fertilization คือละอองเกสรตัวผู้งอลงไปในก้านของเกสรตัวเมีย นำนิวเคลียสจากละอองเกสรตัวผู้ลงไปผสมกับไข่ Egg Cell และ Polar Nuclei ในรังไข่ นิวเครียสที่ได้รับการผสมกับไข่จะเจริญเติบโตเป็น Embryo ส่วนที่ผสมกับ Polar Nuclei จะเจริญเติบโตเป็น Endosperm ระยะเวลาของ Pollination และ Fertilization ของข้าวจะกินเวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง ต่อจากนั้นก็เป็นการสร้างเมล็ดซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

1.ระยะน้ำนม (Milk Stage) หลังการผสมพันธุ์ระยะแรกๆ ส่วนที่เป็นข้าวกล้องมีลักษณะเป็นน้ำเหนียวๆ ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นน้ำนม ซึ่งใช้เวลาประมาณ 7 วัน หลังผสมเกสร

2.ระยะแป้ง (Dough Stage) เป็นระยะที่น้ำนมค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นแป้งอ่อน (Soft Dough) และกลายเป็นแป้งแข็ง (hard dough) ตามลำดับ ระยะนี้อยู่ระหว่าง 14-21 วันหลังผสมเกสร

3.ระยะสุกแก่ (Maturation Satge) ประมาณ 30 วัน หลังผสมเกสรเมล็ดจะสุกแก่เมื่อได้มีวิวัฒนาการเต็มที่ในเรื่องของขนาด (Size) ความแข็ง ความใส และปราศจากสีเขียวแล้ว ระยะสุกหมายถึงระยะที่มากกว่า 90% ของเมล็ดในรวงสุกแก่แล้ว

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

2.2 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนห่อหุ้มเมล็ดข้าวเรียกว่า แกลบ และส่วนเนื้อผล หรือข้าวกล้องโดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

2.2.1 แกลบ (Hull หรือ Husk)

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (Lemma) เปลือกเล็ก (Palea) หาง (Awn) ขั้วเมล็ด (Rachilla) และกลีบรองเมล็ด (Sterile Lemmae) เปลือกใหญ่จะปกคลุมอยู่ 2 ใน 3 ของเนื้อที่เมล็ดเปลือกเล็กจะยึดแน่นอยู่ภายในส่วนของเปลือกใหญ่ด้วย โครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตะขอ (Hooklike Structure) ดังนั้นเปลือกข้าวจึงปิดแน่น แกลบเป็นส่วนที่อยู่ด้านนอกสุดของเมล็ดข้าวมีหน้าที่ในการห่อหุ้มเมล็ดข้าว ดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.1 โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. เปลือกใหญ่ (Dorsal Side) เป็นเปลือกหุ้มผลด้านท้อง มีขนาดใหญ่อาจมีหาง หรือไม่มีหางก็ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะเป็นรอยเส้น (Nerves) ตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้งสองด้าน ในลักษณะขบอยู่ข้างบนอย่างแน่นสนิทประมาณ 2 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด

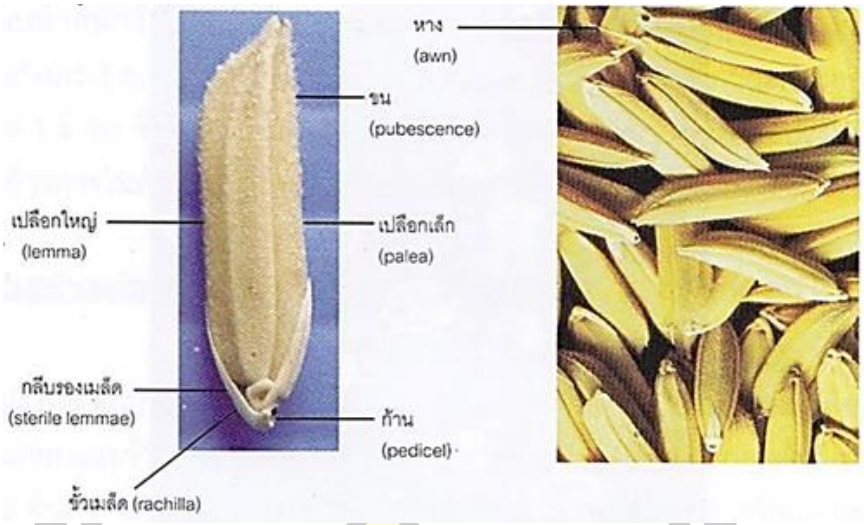
2. เปลือกเล็ก (Ventral Side) เป็นเปลือกหุ้มผลด้านหลัง มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ประมาณ 1 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาวทำให้เปลือกทั้งสองติดกันสนิทบนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น โดยรอยเส้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กอาจทำให้ข้าวกล้องเป็นรอยเส้นตามไปด้วย ข้าวบางพันธุ์ถึงแม้จะผ่านกระบวนการขัดขาว (Polishing) แล้วยังอาจมีรอยเส้นค้างอยู่บนข้าวสารเรียกว่า สาแหรกข้าว

3. ขน (Pubescence) จะขึ้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ อาจมีบางพันธุ์ที่ไม่มีขนแต่เป็นส่วนน้อย ขนนี้คือส่วนของเซลล์ผิวนอกที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ลดการระเหยของน้ำ ป้องกันอันตรายจากสภาวะภายนอก และเพื่อการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ

4 หาง (awn) เป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดดอก (Apiculus) ในบางพันธุ์อาจสั้น ยาว หรือไม่มีก็ได้ ซึ่งจะทำหน้าที่กระจายพันธุ์คล้ายขน

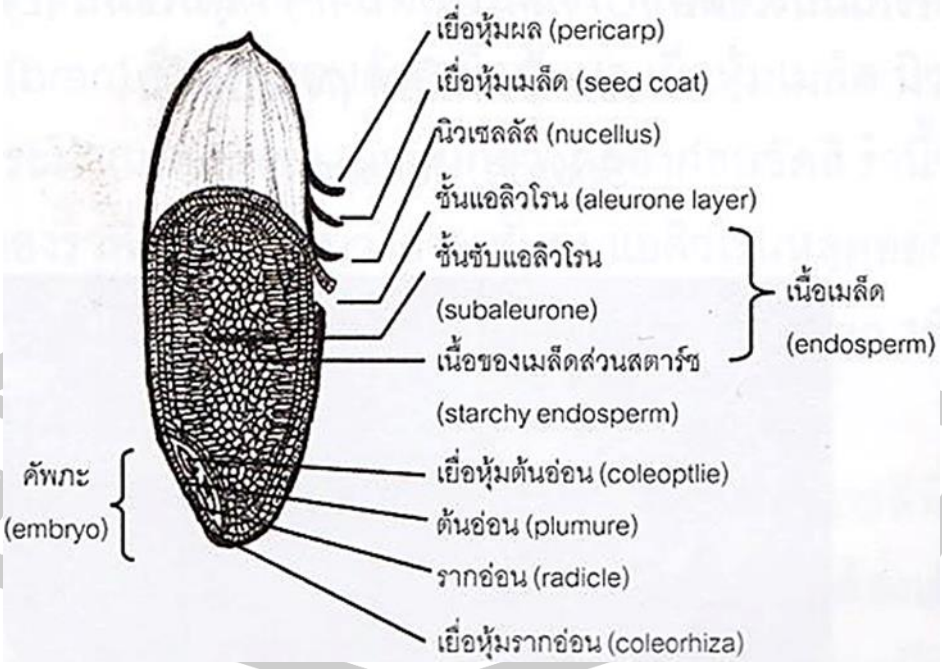
5 ขั้วเมล็ด (Rachilla) เป็นก้านสั้นอยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

6. กลีบรองเมล็ด (sterile lemmae) เป็นกลีบเล็ก 2 กลีบ อยู่ตรงข้ามกันด้านล่างสุดของเมล็ด



ภาพประกอบ 2.1 ส่วนประกอบของแกลบ (กรมวิชาการเกษตร, 2562)

2.2.2 ข้าวกล้อง (Caryopsis, Brown Rice, Dehulled Rice, or Cargo Rice) แบ่งออกเป็นชั้นต่าง ๆ ดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.2 โดยแต่ละชั้นของเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติดังนี้



ภาพประกอบ 2.2 ชั้นของเมล็ดข้าวกล้อง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

1. เยื้อหุ้มผล (Pericarp) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้องที่พัฒนามาจากรังไข่ของดอกข้าว มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน และมีท่ออาหารอยู่ทางด้านหลัง (Dorsal) ของเมล็ดอาจมีสารสีอยู่ เช่น ข้าวแดง หรือข้าวเหนียวดำ

2. เยื้อหุ้มเมล็ด (Seed Coat or Tegmen) เป็นเซลล์ชั้นเดียว หนาประมาณ 0.5 ไมครอน ส่วนนี้อุดมด้วยโปรตีน ไขมัน เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) สารสีที่เกิดกับข้าวกล้องจะอยู่ในส่วนเยื้อหุ้มเมล็ดเช่นกัน

3. ชั้นอลูโรน (Aleurone Layer) ประกอบด้วย เซลล์ 1-7 ชั้น ข้าวเมล็ดสั้น และป้อมมักมีจำนวนชั้นอลูโรนมากกว่าข้าวเมล็ดเรียวยาว และภายในเมล็ดเดียวกันด้านหลังเมล็ด (Dorsal) ที่อยู่ตรงข้ามกับคัพภะ (Embryo or Germ) มักมีจำนวนชั้นอลูโรนมากกว่าด้านท้องของเมล็ด (Ventral) ภายในเซลล์ อลูโรนอุดมด้วยโปรตีน และไขมัน ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้องจึงรู้สึกสารกระด้างกว่าข้าวสาร

4. คัพภะ (Embyo) คัพภะของข้าวมีขนาดเล็กมากอยู่ตรงปลายของเมล็ดด้านท้อง ส่วนนี้จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ภายในคัพภะอุดมด้วยโปรตีน ไขมัน นอกจากนี้ส่วนเยื่ออลูโรนและคัพภะยังอุดมไปด้วยวิตามิน เช่น B1 (Thiamine) B2 (Riboflavin) และไนอาซิน (Niacin) ซึ่งวิตามินเหล่านี้จะถูกขัดออกไปเมื่อผ่านกระบวนการสีข้าว และคงเหลืออยู่ในข้าวสารน้อยมาก

5. เอนโดสเปิร์ม (Endosperms) คือส่วนที่เป็นข้าวสาร ในส่วนของเอนโดรสเปิร์มนี้มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งข้าวมีรูปร่างเป็นทรงผลึกหลายเหลี่ยม (Polygonal) ขนาด 2-10 ไมครอน อยู่รวมกันเป็นกลุ่มแป้ง (Starch Compound) กลุ่มแป้งหลายๆ กลุ่มจะอยู่ร่วมกันในเซลล์โดยมีกลุ่มโปรตีน (Protein Body) แทรกอยู่ กลุ่มโปรตีนเหล่านี้มีขนาด 1-4 ไมครอน และมีอยู่หนาแน่นตรงบริเวณผิวของเมล็ดข้าวสาร ภายในเมล็ดข้าวสารมีแป้งอยู่ประมาณร้อยละ 84-93 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแป้ง และโปรตีนประมาณร้อยละ 5-14 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวประกอบด้วย

อมิโลเปคติน (Amylopectin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลกลูโคส (Glucose) จำนวนมาก และมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันแบบเป็นกิ่งก้านสาขา (Branched Chain) เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะเป็นสีน้ำตาลแดง (Red Brown) เมื่อทำให้สุก (Gelatinized) ในน้ำเดือดค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นาน และส่วนที่ทำให้ข้าวสุกติดกัน

อมิโลส (Amylose) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของ กลูโคสจำนวนมากเช่นกัน แต่มีโครงสร้างต่อกันเป็นแนวยาว (Linear Chain) เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะมีสีน้ำเงินเมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดและทำให้เย็นจะเกิดกระบวนการคืนตัวเป็นของแข็ง (Retrogradation) ขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลทำให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น ในแป้งข้าวจะมีอมิโลสเป็นส่วนรอง โดยจะปะปนกับอมิโลเปคติน

กลิ่นหอม (Aroma) ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด เคยมีผู้ทำการวิเคราะห์ไอที่ได้จากการหุงข้าวสุก Koshihikari ของญี่ปุ่น พบว่ามีสารอยู่กว่าร้อยชนิด ซึ่งประกอบด้วยสาร hydrocarbon 13 ชนิด Alcohol 13 ชนิด Aldehyde 16 ชนิด Ketone 14 ชนิด กรด 14 ชนิด Ester 8 ชนิด Phenol 5 ชนิด pyridine 3 ชนิด Pyrazine 6 ชนิด ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีกลิ่นแตกต่างกัน เช่น สาร 2-Acetylthiazole และ Benzothiasole มีกลิ่นรำ สำหรับข้าวหอมมะลิมีสาร 2-acetyl-1- pyrroline มากกว่าข้าวทั่วไป ในข้าวสารหอมหนึ่งกรัมอาจมีสารนี้ 0.04-0.09 ไมโครกรัม และในข้าวกล้องอาจมี 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม สารชนิดนี้ยังพบมีปริมาณสูงมากในพืชตระกูลใบเตย (Pandonus Amaryllifolius Roxb. Fragrant Pine) ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 1 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณโปรตีน (Protein Content) แม้ว่าโปรตีนจะไม่ค่อยถูกอ้างถึงเมื่อกล่าวถึง คุณภาพข้าวสุก แต่มีบางรายงานพบว่า โปรตีนโดยเฉพาะที่อยู่ส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาการหุงต้มเมล็ดข้าวให้สุกนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำ เข้าไปภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ข้าวหอมมะลิไทย (Thai Hom Mali Rice) ข้าวหอมมะลิเป็นพันธุ์ข้าวเจ้าที่ไวต่อช่วงแสง ลำต้นสูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร มีต้นและใบค่อนข้างเล็ก แตกกอดีปานกลาง ลักษณะใบสีเขียวอ่อน ค่อนข้างแคบแต่ยาว ทนต่อความแห้งแล้ง ดินเปรี้ยว และดินเค็มได้ดี คุณภาพในการขัดสีดี ถ้ามีการปลูกดูแลรักษาดีเก็บเกี่ยวในเวลาที่พอเหมาะมีการตาก และการนวดที่ดีจะสามารถสีได้ข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวถึงร้อยละ 56 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือกยาวรี น้ำหนักเบา และเมื่อนำมาสีเป็นข้าวสาร เมล็ดข้าวสารจะมีลักษณะขาว ใส เลื่อมมัน เมล็ดเรียวยาวบิดเล็กน้อย ความยาวเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 7.0 มิลลิเมตร ความกว้างเฉลี่ย ไม่เกิน 2.2 มิลลิลิตร และมีส่วนประกอบของอมิโลส ร้อยละ 12-19 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักข้าวขาว เมื่อหุงหรือนึ่งสุกแล้วเมล็ดข้าวสุกจึงอ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นข้าวใหม่จะมีกลิ่นหอมมาก การปลูกข้าวหอมมะลิให้ได้คุณภาพดีทั้งเมล็ดและกลิ่นหอมนั้น นอกจากจะต้องใช้พันธุ์ข้าวหอมแท้แล้วยังต้องอาศัยสภาพพื้นที่ปลูก สภาพแวดล้อมที่มีลักษณะเฉพาะและเหมาะสม (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

2.3 คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางด้านกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือก ประกอบด้วย

2.3.1 น้ำหนักเมล็ดข้าว กำหนดได้ 2 แบบ คือ

2.3.1.1 น้ำหนักต่อปริมาตร หมายถึง การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยปริมาตรคงที่ เช่น กรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อถัง

2.3.1.2 น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึง การชั่งน้ำหนักข้าวด้วยปริมาตรคงที่ เช่น กรัมต่อ 100 เมล็ด หรือ กรัมต่อ 1000 เมล็ด วิธีการนี้เป็นลักษณะหนึ่งในการจำแนกพันธุ์ข้าว

2.3.2 สีเปลือกของข้าวเปลือกบ่งบอกถึงลักษณะของพันธุ์ข้าว มีหลายสีตั้งแต่สีขาว สีฟางน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข็ม น้ำตาลทอง ม่วงน้ำตาล ม่วง หรือดำ เป็นต้น สำหรับพันธุ์ข้าวของประเทศไทยมีสีเปลือกส่วนใหญ่เป็นสีขาว หรือสีฟาง และสีน้ำตาล ส่วนสีน้ำตาลแดง สีเขียวแกมเทา และสีดำมีส่วนน้อย พันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีควรมีเปลือกสีอ่อน (สีฟาง หรือน้ำตาล)

2.3.3 สีข้าวกล้องบอกถึงลักษณะประจำพันธุ์เช่นเดียวกับสีของข้าวเปลือก คุณภาพข้าวกล้องที่เกี่ยวข้องกับสีจึงขึ้นอยู่กับผู้บริโภค

2.3.4 ขนาดและรูปร่างบอกถึงลักษณะประจำพันธุ์ เพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว และใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขายข้าวของประเทศไทย โดยวัดขนาดเป็นความยาววัดรูปร่างจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง และการวัดความหนาเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวสาร ข้าวกล้องและข้าวเปลือก รูปร่างของเมล็ดข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ เรียว ปานกลาง และป้อม ซึ่งผลที่ได้จะบอกถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของการขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสารแต่ละชนิด

2.3.5 ข้าวท้องไข่ หมายถึง จุดขาวขุ่นคล้ายชอล์กที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ดข้าวสารมี 3 ลักษณะ คือจุดขาวขุ่นตรงกลางของเนื้อเมล็ดข้าวสาร (White Center) จุดขาวขุนด้านข้างหรือด้านท้อง (White Belly) และจุดขาวขุ่นด้านหลังของเมล็ดข้าวสาร ซึ่งเป็นด้านตรงข้ามกับคัพภะ (White Back) เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งบอกคุณภาพ และราคาข้าวเปลือก เนื่องจากเมล็ดข้าวที่เป็นข้าวท้องไข่มาก เมื่อนำไปสีจะทำให้เมล็ดหัก จึงมีผลต่อคุณภาพการสีโดยตรง

2.3.6 ความเลื่อมมันของเมล็ด เป็นปัจจัยที่ใช้ประเมินคุณภาพ และราคาข้าวเนื่องจากข้าวกล้องที่มีความเลื่อมมันดี เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวไม่หักได้ข้าวเต็มเมล็ดมาก

2.3.7 ความขาวของข้าวสาร เมื่อนำข้าวกล้องไปขัดขาวจนได้ข้าวสารซึ่งมีสีขาวเสมอ แต่อาจจะมีความขาวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับการสีถ้าขัดเบา ๆ จะมีสีคล้ำกว่าเมื่อขัดหนัก ๆ เพราะมีส่วนของรำติดอยู่ที่ผิวของเมล็ดข้าว สำหรับข้าวเปลือกที่เก็บไว้นาน ถ้านำไปสีจะได้ข้าวสารสีคล้ำกว่าข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่ ๆ ดังนั้นความขาวของข้าวสารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของข้าว (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

2.3.8 ความใสของเมล็ดเป็นลักษณะความโปร่งแสง โดยแสงส่องผ่านได้ทั้งเมล็ดข้าว ต่างจากข้าวท้องไข่ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะจุดในข้าวเจ้าด้วยกันหรือแม้แต่พันธุ์ข้าวเดียวกันจะมีความใสหรือขุ่นต่างกันได้ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมที่ปลูก ในขณะที่ข้าวเหนียวทั่วไปจะมีความทึบแสง (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

2.4 ลักษณะของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่ดี

มีความบริสุทธิ์ตรงตามพันธุ์ไม่มีพันธุ์ปนโดยเฉพาะข้าววัชพืชควรมีไม่เกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีสิ่งเจือปน เช่น เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช กรวด หิน ดิน ทราย แมลง และกลุ่มก้อนเชื้อราควรมีไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ มีร้อยละการงอกไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดมีความสม่ำเสมอทั้งขนาด รูปร่าง น้ำหนัก และสีสัน เมื่อนำไปปลูกจะได้ต้นกล้าที่เจริญเติบโตออกดอก และเก็บเกี่ยว พร้อมกันมีความแข็งแรงสูง เมื่อนำไปปลูกจะได้ต้นกล้าที่เจริญเติบโตเร็ว ทนต่อสภาพแวดล้อม เมล็ดสะอาดไม่ค่อยมีแผลที่เกิดจากการทำลายของโรคและแมลง มีความชื้นต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าจะเก็บรักษาในระยะยาวควรลดความชื้น ให้ต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์

2.4.1 เมล็ดพันธุ์ข้าว แบ่งออกเป็น 4 ประเภท

1) เมล็ดพันธุ์คัด ได้จากเมล็ดพันธุ์จากกรวง และได้รับการควบคุมการตรวจพันธุ์อย่างถี่ถ้วน เมล็ดพันธุ์คัดนี้ผลิต โดยศูนย์วิจัยข้าวและสถานีทดลองข้าว กรมวิชาการเกษตร

2) เมล็ดพันธุ์หลัก ได้จากการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์คัดตามวิธีของนักปรับปรุงพันธุ์ผลิตโดยศูนย์วิจัยข้าว ของกรมวิชาการเกษตรทุกปี เพื่อนำไปจำหน่ายให้กรมส่งเสริมการเกษตร ปลูกเป็นพันธุ์ขยายต่อไป

3) เมล็ดพันธุ์ขยาย ได้จากการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์หลัก โดยชาวนาที่มีฝีมือดี ด้วยการปฏิบัติตามวิธีการที่ได้รับคำแนะนำจากเจ้าหน้าที่

4) เมล็ดพันธุ์จำหน่าย ได้จากการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ขยาย โดยเกษตรกรปลูก ด้วยการปฏิบัติตามวิธีการ ที่ได้รับคำแนะนำจากเจ้าหน้าที่ เพื่อผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์จำหน่ายให้แก่ชาวนาทั่วไปนำไปปลูกทำพันธุ์การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ดี (กรมวิชาการเกษตร, 2562)

2.4.2 การเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าว

เมื่อข้าวเริ่มออกดอก หมั่นเดินสำรวจแปลงนาถ้าพบข้าวออกดอกทั้งแปลงประมาณร้อยละ 80 เปอร์เซ็นต์ ให้กำหนดเป็นวันออกดอกของแปลงนั้น ๆ บันทึกวันออกดอก

1) กำหนดวันเก็บเกี่ยว โดยนับจากวันที่ข้าวออกดอกไป 28-30 วัน นัดรถเก็บเกี่ยวข้าวหรือแรงงานที่จะเก็บเกี่ยวให้พร้อมระบายน้ำออกจากแปลงนาหลังจากข้าวออกดอก 20-25 วัน (หรือ 7-10 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว) เพื่อให้ข้าวสุก แก่สม่ำเสมอ

2) การเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวนวดข้าว ต้องสอบถามประวัติการเก็บเกี่ยวนวดของรถถ้าเกี่ยวพันธุ์อื่นมาก่อนต้องทำความสะอาดเครื่องเกี่ยวนวดเพื่อกำจัดพันธุ์อื่นที่ตกค้างอยู่ภายใน หรือเดินรถเกี่ยวข้าวขอบแปลงก่อนประมาณ 100 กิโลกรัม แยกไว้เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีข้าวพันธุ์อื่นตกค้างอยู่ ส่วนกรณีเครื่องนวดข้าวก็เช่นเดียวกันหากนวดข้าวพันธุ์อื่นมาก่อนต้องทำความสะอาดเครื่องนวดหรือนวดเพื่อกำจัดข้าวพันธุ์ที่ตกค้างอยู่ในเครื่องออก

2.4.3 การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

การลดความชื้นโดยทั่วไปขณะที่ทำการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวจะมีความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 20-30 มาตรฐานเปียก หรือมากกว่า ซึ่งเป็นระดับที่สูงเกินไปสำหรับการนำไป แปรสภาพหรือเก็บรักษา เมื่อเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวแล้วต้องมีการลดความชื้นลงให้เหลือประมาณร้อยละ 14 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก หรือต่ำกว่าเพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเกิดความเสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ ซึ่งวิธีการลด ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวทำได้ดังนี้

1) วิธีธรรมชาติ ได้แก่ การใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งของความร้อน และ ใช้การเคลื่อนที่ของอากาศเป็นตัวช่วยพาความชื้นออกจากเมล็ดพันธุ์ข้าว เป็นวิธีการที่เกษตรกรใช้กันมาก ที่สุด เพราะประหยัดไม่ยุ่งยาก แต่วิธีนี้ต้องใช้แรงงานและพื้นที่ตากมาก

2) การใช้เครื่องอบ ได้แก่ การใช้เครื่องกำเนิดลมร้อน และพัดลมเป่าลมร้อนผ่านเมล็ดในถังบรรจุเมล็ดที่จะลดความชื้น ซึ่งสามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้อย่างถูกต้องใช้ระยะเวลาลดความชื้นไม่มาก แต่การลดความชื้นด้วยการอบ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ไม่ควรเกิน 42 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ควรเกิน 60 เปอร์เซ็นต์ และไม่ควรลดความชื้นในอัตราที่เร็วเกินไปโดยเฉพาะในขณะที่เมล็ดมีความชื้นสูงจะทำให้เกิดความเสียหายกับเมล็ดพันธุ์ได้

2.4.4 การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าว เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ข้าวมีคุณภาพดี การปฏิบัติในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ ทำได้ดังนี้

1) สถานที่เก็บรวบรวมเมล็ดพันธุ์ข้าวต้องสะอาด ถูกสุขลักษณะ มีการระบายอากาศดี มิดชิด สามารถป้องกันอันตรายจากสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และสามารถป้องกันการเข้าทำลายของศัตรูพืชที่ทำให้คุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเสื่อมหรือเสียหา

2) จัดพื้นที่และสถานที่เก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวแยกจากสถานที่เก็บปุ๋ย วัตถุอันตราย ทางการเกษตร หรือสารเคมีอื่น ๆ

3) เก็บหรือจัดวางเมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นสัดส่วน และต้องติดรหัสหรือ เครื่องหมายกำกับรุ่นที่เก็บเกี่ยวหรือแหล่งเก็บเกี่ยว เพื่อไม่ให้เกิดการปะปนของข้าวพันธุ์อื่น และสามารถตามตรวจสอบได้

4) ควรบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวใส่กระสอบแล้วใช้ไม้หนุนรองท้องกระสอบให้ยกสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 13 -15 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดดูดความชื้นจากพื้น และควรเว้นช่องว่างระหว่างแถวเพื่อระบายอากาศ

2.5 การงอกของเมล็ดพันธุ์

การงอกของเมล็ดพันธุ์ หมายถึง การงอกและพัฒนาการของต้นอ่อน ถึงขั้นที่โครงสร้างที่สำคัญของส่วนต่าง ๆ ของต้นอ่อน ที่สามารถบ่งชี้ได้ว่าสามารถเจริญเติบโตต่อไปเป็นต้นพืชที่ปกติภายใต้สภาพแวดล้อมในดินที่เหมาะสม (ISTA, 1999) อย่างไรก็ตาม การให้คำจำกัดความหรือการให้ความหมายการงอกของเมล็ดพันธุ์ของบุคคลในแต่ละสาขาอาชีพมีความแตกต่างกัน บุคคลโดยทั่วไปอาจมองว่าต้นอ่อนโผล่พ้นมาเหนือดินก็แสดงว่าเมล็ดนั้นงอก สำหรับนักสรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์ได้ให้ความหมายว่า เมื่อใดก็ตามที่เห็นรากโผล่ออกมา แสดงว่าเมล็ดพันธุ์งอก ส่วนนักวิทยาศาสตร์ทางด้านเมล็ดพันธุ์และนักวิชาการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืชกล่าวว่า การงอกของเมล็ดพันธุ์ หมายถึงเริ่มตั้งแต่เมล็ดพันธุ์มีกระบวนการต่างเกิดขึ้นในเมล็ดที่กำลังอยู่ในระยะพัก จนถึงระยะที่ต้นอ่อนเจริญเติบโต และพัฒนาไปเป็นต้นกล้าที่แข็งแรง ในการทดสอบร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ตามหลักสากลของสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์ นานาชาติ (ISTA) ที่บ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่สามารถงอกไปเป็นต้นอ่อนปกติได้ในสภาพแวดล้อม ที่เหมาะสมจำนวนเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการทดสอบความงอก 300-400 เมล็ด โดยแบ่งเป็นซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด จำนวน 3-4 ซ้ำ การสุ่มเมล็ดมาทดสอบต้องไม่คำนึงถึงขนาด รูปร่าง การแตกหัก หรือเมล็ดที่มีโรคและแมลงเข้าทำลาย นำไปเพาะในวัสดุที่มีความชื้นที่เหมาะสม เป็นเวลา 7-14 วัน แล้วนำไปประเมินผลต้นอ่อน

2.5.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับเพาะเมล็ดพันธุ์

1) สามารถดูดซึมน้ำได้ดี และรักษาความชื้นไว้ได้ตลอดระยะเวลาการทดสอบ

2) เป็นวัสดุที่ไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อต้นอ่อน

3) สะอาดและปราศจากเชื้อโรคที่เข้าทำอันตรายเมล็ดและต้นอ่อน

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ มีอยู่ 3 ปัจจัยคือ น้ำ ออกซิเจน และอุณหภูมิ เมื่อเมล็ดพันธุ์ได้รับปัจจัยดังกล่าวที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการ เมล็ดพันธุ์ จะสามารถงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นพืชที่แข็งแรงได้ ความสำคัญของแต่ละปัจจัยมีดังนี้

1) น้ำ เมื่อเมล็ดพันธุ์เจริญเติบโตเต็มที่พร้อมจะเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่น้อยมาก เมื่อเมล็ดพันธุ์จะงอก น้ำเป็นปัจจัยแรกที่จะกระตุ้นให้เมล็ดพันธุ์ตื่นตัว กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีและขบวนการเมตาบอลิซึม ในเบื้องต้น เมล็ดพันธุ์ดูดน้ำเข้าไปทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม ทำให้เมล็ดพองโตขึ้น เนื่องจากการขยายของผนังเซลล์และโพรโทพลาสต์เมื่อเปลือกเมล็ดอ่อนนุ่มทำให้รากแทงผ่านเปลือกได้สะดวกมากขึ้น เมล็ดพันธุ์พืชแต่ละชนิดต้องการน้ำสำหรับการงอกแตกต่างกัน บางชนิดหากได้รับน้ำมากเกินไปจะทำให้เมล็ดขาดออกซิเจนที่ใช้สำหรับหายใจและทำให้เมล็ดเน่า ในบางชนิดการที่เมล็ดพันธุ์ได้รับน้ำมาก ๆ อาจจะทำให้เมล็ดเข้าสู่สภาวะพักตัวใหม่ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ความหนาของเปลือก สารที่เคลือบอยู่ที่ผิวเปลือก ความเข้มข้นของน้ำ อุณหภูมิ และการสุกแก่ของเมล็ดที่ต่างกัน เป็นต้น

2) ออกซิเจน ออกซิเจนมีความสำคัญต่อขบวนการหายใจของเมล็ดพันธุ์ที่กำลังงอก เมล็ดพันธุ์ที่กำลังงอกต้องการพลังงาน และพลังงานนั้นได้จากขบวนการ oxidation โดยใช้ออกซิเจน คือ ขบวนการหายใจ เมล็ดพันธุ์ที่กำลังงอกจะมีอัตราการหายใจสูง เมื่อเทียบกับการหายใจในช่วงอื่น ๆ และจะมีกิจกรรมการสลายและเผาผลาญอาหารที่เก็บสะสมไว้ เมล็ดพันธุ์โดยทั่วไปจะงอกในสภาพบรรยากาศปกติที่มีออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็มีเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิดที่งอกได้ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำกว่าปกติ เช่น พืชที่งอกได้ในน้ำ เมล็ดพันธุ์ข้าวจะงอกได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ (พืชน้ำ) และสภาพที่มีออกซิเจนสูง ซึ่งลักษณะการงอกจะมีความแตกต่างกัน ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำจะงอกยอดอ่อนออกมาก่อน แล้วจึงงอกในส่วนของรากออกมาทีหลัง (จินดา ศรศรีวิชัย, 2514) และพลังงานที่ใช้ในการงอกจะมาจากขบวนการ oxidation ที่ไม่ใช้ออกซิเจนคือ ขบวนการ fermentation เมล็ดที่งอกจึงทนต่อการสะสมแอลกอฮอล์หรือสารพิษที่เกิดจากขบวนการหมักได้จนกว่าต้นกล้าจะงอกขึ้นเหนือน้ำและได้รับออกซิเจน ส่วนเมล็ดที่ต้องการออกซิเจนสูงสำหรับการงอกนั้น เมื่อได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ดังเช่นในกรณีเมล็ดถูกฝังอยู่ลึกในดินเมล็ดจะพักตัวจนกว่าจะมีการไถฟื้นขึ้นมา จึงจะสามารถงอกได้ตามปกติ นอกจากนี้ อัตราการใช้ออกซิเจนจะเป็นตัวชี้การเกิดขบวนการงอก และเป็นตัววัดความแข็งแรงของเมล็ดอีกด้วย

3) อุณหภูมิ มีความสำคัญมากต่อการควบคุมและอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตามมา ด้วยความแตกต่างของชนิดและถิ่นกำเนิดของพืช ทำให้พืชมีความต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกที่แตกต่างกัน เช่น พืชเขตหนาว เอนไซม์และปฏิกิริยาชีวเคมีในเมล็ดพันธุ์พืชเขตหนาวยังทำงานได้เมื่ออุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็ง และเมล็ดยังสามารถงอกได้ ในขณะที่จุดเยือกแข็งจะเป็นอันตรายสำหรับการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชเขตร้อน ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ซึ่งเกินกว่าที่เมล็ดพันธุ์จะสามารถงอกได้ เมล็ดบางชนิดอาจจะมีการพักตัวหรือบางชนิดอาจจะเสียชีวิตได้ ดังนั้นเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดจะมีระดับอุณหภูมิสูงสุด

และต่ำสุดที่เมล็ดจะสามารถงอกได้แตกต่างกัน (ตาราง 2.1) อย่างไรก็ตามเมล็ดพันธุ์ยังมีการปรับตัวต่อช่วงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในรอบวัน คือ ถ้าอุณหภูมิกลางคืนและกลางวันมีความแตกต่างกันมาก เมล็ดพันธุ์จะงอกได้ดีกว่าการได้รับอุณหภูมิที่สม่ำเสมอตลอดเวลา เช่น หญ้า blue grass จะงอกได้ดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 16 ชั่วโมง

ตาราง 2.1 อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ที่เมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่าง ๆ สามารถงอกได้

ชนิดพืช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ต่ำสุด	เหมาะสม	สูงสุด
ข้าว	10-20	20-30	40-42
ข้าวโพด	3-5	15-20	30-40
ข้าวบาร์เลย์	8-10	25	40-44
ข้าวสาลี	3-5	15-20	30-43
ถั่วเหลือง	8	20-35	40
มะเขือเทศ	20	20-30	35-40
ยาสูบ	10	24	30
แคนตาลูป	16-19	20-30	45-50

ที่มา : (จวงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529)

นอกจากปัจจัย 3 ชนิดข้างต้นที่จำเป็นในการงอกของเมล็ดพันธุ์โดยทั่วไปแล้วยังมีเมล็ดพันธุ์บางชนิดที่ต้องการแสงสำหรับการงอก เช่น ปอกระเจา ผักกาดเขียวปลี ผักกาดหอม และพริก เป็นต้น เมล็ดพันธุ์บางชนิดอาจจะต้องการแสงเพียงเพื่อกระตุ้นการงอกในระยะใดระยะหนึ่งเท่านั้น สำหรับเมล็ดพันธุ์บางชนิดแสงจะเป็นตัวยับยั้งการงอก มีพืชบางกลุ่มเท่านั้นที่สามารถงอกได้ในที่ ที่ไม่มีแสง เช่น พืชตระกูลหอม หรือไม้หัว และพืชในกลุ่มไม้ดอกบางชนิด เช่น ฟล็อก พืชในกลุ่มนี้เมื่อได้รับแสงจะมีเปอร์เซ็นต์การงอกลดลง

ปัจจัยของแสงที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงและระยะเวลาการให้แสงหรือช่วงแสง โดยทั่วไป ความเข้มแสงสำหรับการงอกอยู่ในช่วง 0.08 ลักซ์ ถึง 5 ลักซ์ ส่วนช่วงแสงในช่วง visible light พบว่าช่วงแสงที่กระตุ้นการงอกเป็นช่วงตั้งแต่ 660-700 นาโนเมตร ซึ่งก็คือแสงสีแดงมีผลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์มากที่สุด ช่วงที่กระตุ้นการงอกมากที่สุด คือที่ 670 นาโนเมตร และที่ความยาวของแสงมากกว่า 700 และสั้นกว่า 290 นาโนเมตร จะมีผลในการยับยั้งการงอกของเมล็ดพันธุ์ ในขณะเดียวกัน แสงสีน้ำเงินมักจะไม่มีผล เมื่อให้แสงสีแดงสลับกับสีน้ำ

เงิน พบว่าการงอกของเมล็ดพันธุ์ขึ้นอยู่กับแสงสุดท้ายที่ได้รับ นอกจากนี้การตอบสนองของแสงต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาการดูดน้ำของเมล็ดด้วย

2.6 การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Seed vigor evaluation)

คุณภาพของเมล็ดพันธุ์จะดีเพียงใดจะขึ้นอยู่กับระดับความเสื่อมของเมล็ด การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เป็นการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์แบบหนึ่ง ซึ่งมีความสำคัญมากในวงการเมล็ดพันธุ์พืช เพื่อใช้ประเมินค่าความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เมื่อนำ ไปปลูกในแปลง หรือประเมินความสามารถในการเก็บรักษา การทดสอบเมล็ดพันธุ์สามารถนำ ไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ มากมาย เป็นต้น การปรับปรุงพันธุ์พืช การผลิตและควบคุมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ การประเมินค่าความงอกในไร่นา และความสามารถในการเก็บรักษา การวางแผนการจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ และการกำหนดราคาของเมล็ดพันธุ์การวางแผนปลูกและการใช้ประโยชน์

การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์มีด้วยกันหลายวิธีโดยแบ่งออกได้ตามรูปแบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.6.1 การทดสอบการเจริญเติบโตและการประเมินความแข็งแรงของต้นกล้า (Seedling growthand evaluation test) แบ่งออกเป็น

1) การวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth rate)

เป็นวิธีการทดสอบที่เก่าแก่ที่สุดแต่ง่ายและสะดวกใช้ทดสอบได้กับเมล็ดพันธุ์ทุกชนิด จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายการทดสอบวิธีนี้มีหลักการว่าความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธุ์กับอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้านั้นคือเมล็ดที่มีคุณภาพย่อมให้ต้นกล้าที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงนอกจากนี้ต้นกล้ายังสามารถตั้งตัวได้ดีในแปลงปลูกวิธีการตรวจสอบเช่นเดียวกับการทดสอบความงอกมาตรฐานการประเมินค่าโดยใช้การเจริญเติบโตในลักษณะต่าง ๆ หรือเพียงลักษณะเดียว เช่นจำนวนของต้นกล้าที่แข็งแรงและไม่แข็งแรงอัตราการเจริญทางความสูงของต้นกล้าอัตราการลดลงของน้ำหนัก ใบเลี้ยงอัตราการยืดตัวของ hypocotyls น้ำหนักของต้นกล้าในระยะเวลาจำกัดและที่นิยมคืออัตราการเจริญของต้นกล้าซึ่งได้จากสัดส่วนของน้ำหนักแห้งของยอดอ่อนและรากอ่อนต่อจำนวนต้นกล้าปกติ

$$\text{อัตราการเจริญของต้นกล้า} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของยอดอ่อนและรากอ่อน}}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}} \qquad (2.1)$$

อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้ามีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อต้นเมล็ดที่มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าสูงแสดงว่าเมล็ดมีความแข็งแรงมาก

2) การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Germination index หรือ speeg of germination)

เป็นวิธีการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดจากอัตราการความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์โดยอาศัยหลักการว่าเมล็ดที่แข็งแรงย่อมงอกได้อย่างรวดเร็วแต่ทั้งนี้เมล็ดพันธุ์ต้องไม่มีการพักตัวหรือการพักตัวสิ้นสุดแล้ววิธีการคล้ายกับการทดสอบความงอกมาตรฐานซึ่งอาจทำให้ควบคู่ไปด้วยกันแต่ต้องทำการตรวจนับการงอกทุกวันนับจากวันแรกที่เมล็ดงอก

การประเมินผลค่าดัชนีการงอกได้จากผลรวมของสัดส่วนระหว่างจำนวนต้นกล้าที่งอกต่อจำนวนวันหลังเพาะ

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนต้นกล้าที่งอก}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}} \qquad (2.2)$$

3) การหาน้ำหนักแห้งของต้นกล้า (Seedling dry weight) เป็นการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยใช้น้ำหนักแห้งของต้นกล้าเป็นเกณฑ์มีหลักการว่าเมล็ดที่มีความแข็งแรงย่อมให้ต้นกล้าที่เจริญเติบโตดีให้น้ำหนักแห้งของต้นกล้ามากวิธีการคือสุ่มเมล็ดมาเพาะในระยะเวลาหนึ่งจากนั้นนำต้นกล้าที่งอกทั้งหมดมาวัดค่าน้ำหนักแห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 70-75°C เป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง ประเมินผลจากค่าความแข็งแรงของเมล็ดจากน้ำหนักแห้งของต้นกล้าที่ได้

4) การจำแนกความแข็งแรงต้นกล้า (Seedling vigor classification) เป็นการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยใช้ลักษณะความปกติของต้นกล้า (normal) และความผิดปกติของต้นกล้า (abnormal) เป็นเกณฑ์วิธีการทดสอบเช่นเดียวกันกับการทดสอบการงอกมาตรฐานต่างกันที่วิธีการประเมินผลโดยการจัดแบ่งกลุ่มหรือจำแนกต้นกล้าที่ปกติออกเป็นต้นกล้าที่แข็งแรงส่วนต้นกล้าที่ผิดปกติเป็นกล้าที่ไม่แข็งแรงซึ่งสามารถจัดกลุ่มออกเป็น 2-3 กลุ่มตามระดับความแข็งแรงโดยใช้ลักษณะความบกพร่องทางสัณฐานวิทยาของต้นกล้าที่สำคัญ 4 ส่วน คือระบบรากลำต้นส่วนใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) ใบเลี้ยงและลำต้นส่วนเหนือใบเลี้ยง (epicotyl)

2.6.2 การทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม แบ่งออกเป็น

1) การเร่งอายุ (Accelerate aging test)

วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้ในการประเมินค่าความสามารถในการงอกของเมล็ดพันธุ์ในแปลงปลูกและประเมินความสามารถในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์โดยใช้หลักการว่าให้เมล็ดได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในสภาพความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพืชแล้วนำเมล็ดไปทดสอบความงอกเมล็ดที่มีร้อยละการงอกหรือความมีชีวิตลดลงน้อยแสดงว่า

การเสื่อมคุณภาพของเมล็ดมีไม่มากนักนั่นหมายถึงว่าเมล็ดมีความแข็งแรงมากหรือมีคุณภาพดีผลการทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุแล้วมีความสัมพันธ์กับความงอกในแปลงปลูกในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

2) การทดสอบในสภาพหนาว (Cold test)

วิธีนี้เหมาะสำหรับการคัดเลือกหรือปรับปรุงพันธุ์พืชที่จะนำไปปลูกในสภาพดินที่มีอากาศหนาวและชื้นใช้สำหรับประเมินหรือตรวจสอบความเสียหายของเมล็ดพันธุ์ที่เกิดจากการใช้สารเคมีควบคุมและป้องกันโรคประเมินความเสียหายที่เกิดจากผลกระทบของอุณหภูมิต่ำ (freezing injury) และผลเสียหายที่เกิดขึ้นกับเมล็ดพันธุ์อันเนื่องมาจากการลดความชื้นของเมล็ด (drying) วิธีการทดสอบโดยทดสอบความงอกของเมล็ดที่เพาะในสภาพอุณหภูมิต่ำ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นระดับ 60-80 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 3-7 วัน จากนั้นย้ายออกมาไว้ในที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ประมาณ 3-4 วัน เมล็ดที่มีความงอกสูงแสดงว่าเมล็ดกลุ่มนั้นมีความแข็งแรงมากวิธีนี้เหมาะสำหรับประเทศในเขตหนาวมากกว่าประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนอย่างไรก็ดีวิธีนี้ใช้ทดสอบเมล็ดพันธุ์บางชนิดได้เช่นข้าวโพดเป็นต้น

3) การทดสอบการงอกในสภาพอากาศเย็น (Cool germination test)

การทดสอบวิธีนี้ดัดแปลงมาจากวิธีการทดสอบในสภาพอากาศหนาวเนื่องจากเมล็ดพันธุ์บางชนิดไม่สามารถทนต่อระดับอุณหภูมิที่ต่ำถึง 10 องศาเซลเซียส ได้และดินที่เปียกชื้นซึ่งอาจมีผลในการยับยั้งการงอกของเมล็ดได้จึงปรับระดับอุณหภูมิให้สูงขึ้น 18 องศาเซลเซียส และลดความชื้นลงเท่ากับความชื้นสำหรับการทดสอบความงอกมาตรฐานการทดสอบการงอกในสภาพอากาศเย็นสามารถแยกความแตกต่างของความแข็งแรงเมล็ดพันธุ์ได้อย่างชัดเจนเนื่องจากสภาพอากาศเย็นจะมีผลยับยั้วหรือชะลอความงอกของเมล็ดพันธุ์

2.7 การเสื่อมสภาพและการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์

เมล็ดพันธุ์เป็นสิ่งมีชีวิตจึงมีการเสื่อมสภาพเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยที่คุณภาพเมล็ดพันธุ์ หมายถึง ลักษณะโดยรวมของเมล็ดพันธุ์และแต่ละเมล็ดที่แสดงออกมาร่วมกัน ได้แก่ ความบริสุทธิ์และแท้จริงของสายพันธุ์ ความงอก ความแข็งแรง ความชื้น การปะปนของวัชพืช ความชำรุดเสียหายของเมล็ดพันธุ์ ขนาด สี น้ำหนัก รวมทั้งโรคและแมลงที่ติดปะปนมากับเมล็ดพันธุ์ และศักยภาพของเมล็ดพันธุ์ในการงอกและเจริญเติบโต

การเสื่อมคุณภาพคือการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับเมล็ดพันธุ์อันมีผลทำให้เมล็ดพันธุ์ตายในที่สุด ลำดับของการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เริ่มจาก การเสื่อมของเยื่อหุ้มเมล็ด การเสื่อม

ของเอนไซม์และกระบวนการสังเคราะห์เอนไซม์ การหายใจและกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวเคมีลดลง มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เมล็ดพันธุ์เปลี่ยนสี ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาลดลง เมล็ดพันธุ์สามารถงอกในสภาพแวดล้อมที่จำกัด ร้อยละการงอก อัตราการเจริญเติบโต และการพัฒนาของต้นกล้าความต้านทานของพืชต่อสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน ความสม่ำเสมอของต้นกล้าในแปลงปลูกลดลง ต้นกล้าผิดปกติเพิ่มมากขึ้นผลผลิตในแปลงลดลง และสุดท้ายเมล็ดพันธุ์สูญเสียความงอกในที่สุด (Delouche and Baskin 1973)

การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การเก็บรักษาแบบเปิด (Opened Storage) ที่เมล็ดพันธุ์สามารถแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศได้ เช่น การเก็บในถุงผ้า กระสอบป่าน และถุงกระดาษ เป็นต้น ซึ่งความชื้นของเมล็ดพันธุ์สูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และการเก็บแบบปิด (Sealed Storage) เป็นการเก็บรักษาไว้ในภาชนะที่กันความชื้นได้ เช่น กระป๋องอลูมิเนียม ถุงพลาสติกหนา อลูมิเนียมฟอยล์ ขวดแก้ว เป็นต้น ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะขึ้นอยู่กับความชื้นของเมล็ดพันธุ์เก็บรักษา Perez-Garcia *et al*. 2009 เมล็ดพันธุ์สามารถเก็บรักษาได้นานแค่ไหนขึ้นอยู่กับคุณภาพก่อนการเก็บรักษา ประวัติความเป็นมาสภาพที่มีผลกระทบต่อต้นแม่ และการปฏิบัติต่อเมล็ดพันธุ์ก่อนนำเข้าเก็บรักษา อายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่มีผลมาจากหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง ทั้งปัจจัยภายในเมล็ดพันธุ์และปัจจัยภายนอก ที่เป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมและการจัดการ

ความชื้นของเมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อความสามารถในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ (วัลลภ สันติประชา, 2529) การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีควรควบคุมให้เมล็ดพันธุ์มีความชื้นต่ำตลอดอายุการเก็บรักษาทำให้สามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้นานขึ้น (Perez-Garcia *et al*. 2009) เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา (Doijode, 2001) นอกจากเป็นอันตรายต่อเมล็ดพันธุ์โดยตรงแล้วยังส่งผลให้เชื้อราและแมลงเจริญเติบโตและทำลายเมล็ดพันธุ์ได้เร็วขึ้นด้วย (Delouche and Baskin. 1973) รายงานว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก. ไม่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา หากต้องการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้สามารถใช้ได้นานประมาณ 12 เดือน ต้องบรรจุในถุงพลาสติก ซึ่งเมล็ดพันธุ์สามารถรักษาความงอกไว้ได้สูง เช่น เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวยังมีความงอกสูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ (วัลลภ สันติประชา, 2535) ถั่วลิสงมีความงอก 94 เปอร์เซ็นต์ (วัลลภ สันติประชา และคณะ, 2541) ถั่วเหลืองมีความงอก 90 เปอร์เซ็นต์ (นงเยาว์ รัตนพันธ์, 2535) และถั่วฝักยาวมีความงอก 79 เปอร์เซ็นต์ (วัลลภ สันติประชา และคณะ, 2533) เป็นต้น

2.8 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช

โดยทั่วไปจะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้งทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็วและได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ อุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธีและเทคนิคการนำไปใช้ในการอบแห้งโดยมากเรามักจะเลือกเอาอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่ยอมให้ได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งได้เร็วมีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลงทำให้การลงทุนต่ำ ในการอบแห้งบางวิธีเราอาจใช้อากาศแวดล้อมในการอบแห้ง เช่น วิธีการอบแห้งในถังเก็บ คือ อบแห้งเมล็ดพืชภายในตัวถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนก่อนแห้งเกินกว่าที่ต้องการ ส่วนเมล็ดพืชทางด้านบนของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนที่หลังจะยังชื้นอยู่

ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืชจะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นพร้อม ๆ กัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืชและทำหน้าที่พาความชื้นบริเวณผิวเมล็ดระเหยเข้าไปอยู่ในอากาศเป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดต่ำลงและหากความชื้นลดลงมากพอแล้วอุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะเริ่มสูงขึ้นด้วยจนในที่สุดเมล็ดพืชจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง หากว่าความชื้นลดลงจนถึงความชื้นสมดุลถ้าเก็บเมล็ดพืชที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่อาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ อันเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิซึ่งมีผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้เมล็ดพืชในบริเวณที่มีการควบแน่นมีความชื้นสูงขึ้นโดยมากมักจะเป็นที่ชั้นบน ๆ และจะเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่เชื้อราและแมลงต่อไป

2.8.1 การอบแห้งเมล็ดพืช

เนื่องจากผลผลิตข้าวและเมล็ดพืชอื่น ๆ จะมีเป็นฤดูกาล แต่การบริโภคจะมีตลาดทั้งปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาที่ดี เพื่อรักษาทั้งคุณภาพและปริมาณ ปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาอันหนึ่งก็คือ เมล็ดพืชเหล่านี้จะต้องมีความชื้นที่เหมาะสม คือ ไม่สูงเกินไป ระยะเวลาของการเก็บรักษาได้โดยปลอดภัยขึ้นอยู่กับความชื้นของเมล็ดพืช ถ้าความชื้นต่ำก็จะเก็บรักษาได้นาน แต่การที่จะอบแห้งเมล็ดพืชให้แห้งมาก ๆ นั้นก็ไม่มีประโยชน์ เพราะนอกจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นโดยไม่จำเป็นแล้ว ยังทำให้เกิดความเสียหาย (เมล็ดแตกหัก) ระหว่างการขนถ่ายเมล็ดพืชได้ง่าย และทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์อีกด้วย ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษามีค่าระหว่าง 13-15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก สำหรับเมล็ดพืชพวกแป้งประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก สำหรับพืชน้ำมันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ต้องการเก็บรักษา

2.8.2 คุณภาพของเมล็ดพืชกับการอบแห้ง

การอบแห้งมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมีและชีวภาพของเมล็ดพืช หลังการอบแห้งคุณภาพทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความชื้นและการหดตัวของเมล็ดพืชระหว่างการอบแห้ง ซึ่งส่งผลให้เกิดการร้าวหรือแตกหักในเมล็ดพืช คุณภาพทางเคมีในเมล็ดพืชบางชนิดได้แก่ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Rractions) ความสามารถในการแยกแป้งและคุณค่าทางอาหาร เป็นต้น ส่วนคุณภาพทางชีวภาพได้แก่ความสามารถในการงอกของเมล็ดพืช

อุณหภูมิของการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพืชหลังการอบแห้งมาก การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปมักทำให้คุณภาพของเมล็ดพืชลดลง อุณหภูมิของอากาศที่อบแห้งจะแตกต่างจากอุณหภูมิของเมล็ดพืช เมื่อเริ่มการอบแห้งอุณหภูมิของเมล็ดพืชจะต่ำกว่าของอากาศ เมื่อเมล็ดพืชแห้งลงมากแล้วอุณหภูมิของเมล็ดพืชจะเพิ่มสูงขึ้น จนในที่สุดอาจมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิของเมล็ดพืชจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพ

การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้บริเวณผิวของเมล็ดพืชสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผิวแข็งตัว เมื่อโซนการอบแห้งเคลื่อนย้ายจากบริเวณผิวไปยังชั้นในของเมล็ดพืชทำให้ชั้นในสูญเสียความชื้น และหดตัวโดยแยกตัวออกจากผิวที่แข็ง ซึ่งอาจมีผลให้เกิดรอยร้าวแยกแตกหรือหักในเมล็ดพืชได้ถ้าอุณหภูมิไม่สูงเกินไป การอบแห้งหรือการสูญเสียความชื้นจะเป็นอย่างช้า ๆ ซึ่งผิวของเมล็ดพืชจะไม่แข็งตัวในเวลาอันรวดเร็วเกินไป การหดตัวภายในเมล็ดพืชเมื่อโซนการอบแห้งเคลื่อนย้ายเข้าไปถึงจึงไม่ก่อให้เกิดการแยกแตกหรือหักในเมล็ดพืช คุณภาพที่สำคัญของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งอันหนึ่งได้แก่เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด ซึ่งข้าวเต็มเมล็ดหมายถึงเมล็ดข้าวสารที่มีความยาว ตั้งแต่ 8 ใน 10 ของเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ ส่วนในเมล็ดข้าวอื่นที่สำคัญได้แก่ ข้าวโพดซึ่งถ้ามีการแตกหักของเมล็ดข้าวโพดมากคุณภาพโดยรวมจะลดลง

2.9 ทฤษฎีการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้ง (สมชาติ โสภรณฤทธิ์, 2540) คือกระบวนการลดความชื้นโดยจะใช้วิธีการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่เอาความชื้นออกโดยการระเหย ใช้การถ่ายเทความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย การอบแห้งจะทำให้สามารถที่จะเก็บหรือถนอมอาหารไว้ได้นานขึ้น และยังสามารถลดปริมาตรและน้ำหนักของอาหาร

2.9.1 ความสำคัญของการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ประโยชน์ของการอบแห้งพอสรุปได้ดังนี้

1) เพื่อการถนอมรักษาอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสีย เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย

2) เพื่อลดปริมาตร และน้ำหนักอาหารที่แห้งแล้วจะมีปริมาตร และน้ำหนักลดลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง

3) เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตดีขึ้น ในกรณีนี้อาจจะไม่จริงเสมอไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตนั้น ๆ

2.9.2 การอบแห้งข้าวเปลือก

การที่ปัจจุบันเกษตรกรมีความนิยมใช้รถเก็บเกี่ยวและนวดข้าวมากขึ้น ข้าวเปลือกที่ได้จะมีความชื้น 20-30 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ทำให้อาจเกิดการเสื่อมคุณภาพของข้าวได้เนื่องจากจุลินทรีย์ยังสามารถเจริญเติบโตได้การหายใจของเมล็ดข้าวทำให้เป็นการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตทำให้น้ำหนักข้าวลดลงและเมล็ดมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้าวฟันหนู (เมล็ดข้าวสารมีสีเหลือง) เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่ำ ขายไม่ได้ราคา ดังนั้น จะต้องลดความชื้นข้าวเปลือกลงเพื่อลดค่าความเป็นอิสระของน้ำ (Water activity) ของข้าวเปลือกเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซด์ โดยการตากบนลานคอนกรีต การเป่าด้วยอากาศเย็นหรือใช้เครื่องอบแห้งเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก หรือใกล้เคียงความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกจึงจะสามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นระยะเวลานานได้ การตากข้าวบนลานนั้นมีค่าใช่จ่ายต่ำแต่อาจมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของข้าวเปลือกระยะเวลาที่ใช้ลดความชื้นที่ไม่แน่นอน นอกจากนั้นการเกลี่ยข้าวแผ่เป็นชั้นบางเพื่อลดความชื้นโดยใช้รถติดคราววิงเกลี่ยอาจเหยียบทับทำให้ข้าวแตกร้าวได้ดังนั้น ปัจจุบันจึงมีการหันมาใช้เครื่องอบแห้งเพื่อลดความชื้นข้าวมากขึ้น เนื่องจากสามารถลดความชื้นข้าวได้รวดเร็วและรักษาคุณภาพของข้าวเปลือกได้เป็นอย่างดี (สมชาติ โสภรณฤทธิ์, 2540 : วิไล รังสาดทอง, 2546)

ความชื้น (Moisture content) ของเมล็ดข้าวเปลือก หมายถึง น้ำที่แทรกตัวอยู่ในระหว่างช่องว่างของเซลล์ซึ่งเรียกว่า น้ำอิสระ (Free water หรือ Active water) แต่ความเป็นจริงยังมีน้ำเป็นส่วนประกอบในเมล็ดข้าวที่ยึดเกาะเกี่ยวกับสารอื่นด้วยพันธะที่แข็งแรงเรียกว่า (Bound water) น้ำในส่วนนี้จะไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายเหมือนน้ำอิสระซึ่งนอกจากเป็นตัวทำละลายแล้วยังเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์นำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ ค่าความเป็นอิสระของน้ำหรือปริมาณความชื้นนั้นอธิบายถึงปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในข้าวเปลือกเมื่อเทียบกับมวลของข้าวเปลือก

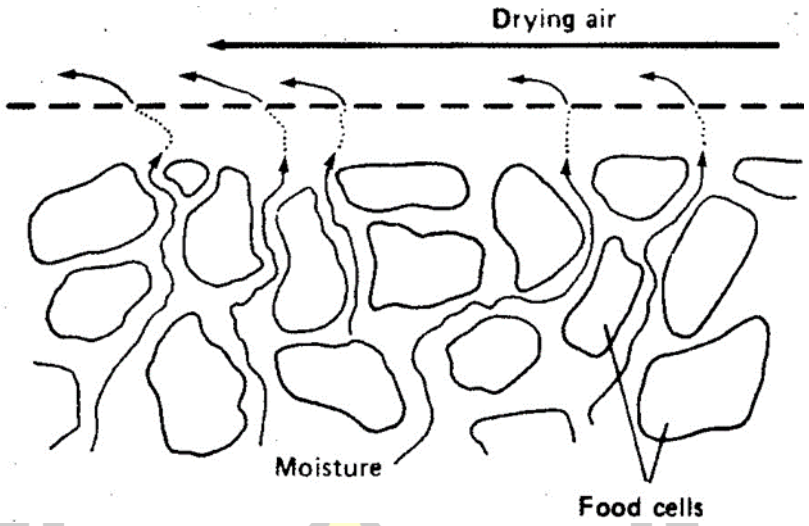
ชื้นโดยแสดงได้ 2 ลักษณะจากวิธีการนำตัวอย่างข้าวเปลือกไปอบลดความชื้นจนแห้งโดยตัวอย่างจะถูกชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบเพื่อใช้ในการคำนวณ (วิไล รังสาดทอง, 2546) ซึ่งความชื้นฐานเปียก (Wet basis, w.b.) คำนวณจากน้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบลบหลังอบน้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่มีในตัวอย่างข้าวเปลือกแล้วหารด้วยน้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบ ส่วนความชื้นฐานแห้ง (Dry basis, d.b.) จะเปลี่ยนตัวหารเป็นน้ำหนักข้าวเปลือกแห้งหลังอบแทน (สมชาติ โสภรณฤทธิ์, 2540:Fellows, 1988)

ความชื้นฐานแห้งนั้นนิยมใช้ในการคำนวณเนื่องจากมีฐานคงที่คือน้ำหนักแห้ง ส่วนความชื้นฐานเปียกใช้บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในข้าวเปลือก ซึ่งในสภาวะอากาศคงที่ ความชื้นของข้าวเปลือกจะลดลงถึงค่าต่ำสุดจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งจุดที่อุณหภูมิข้าวเปลือกเท่ากับอุณหภูมิอากาศรอบ ๆ และมีความดันไอของน้ำในข้าวเปลือกเท่ากับความดันไอน้ำของอากาศ ความชื้นที่จุดนี้มีชื่อเรียกว่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, Meq) เป็นสภาวะที่วัสดุอยู่ในสภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ นั่นคือข้าวเปลือกจะไม่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลง ณ สภาวะนั้น ๆ ซึ่งโดยปกติความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกมีค่าประมาณ 13-15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก แต่ค่าความชื้นยังสามารถสูงขึ้นหรือต่ำลงได้เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเปลี่ยนแปลงไป

การเปลี่ยนแปลงภายในของข้าวเปลือกความชื้นสูงระหว่างการลดความชื้นนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวเปลือกโดยรับการถ่ายโอนความร้อนทั้งจากหลักการ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) หรือการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) มีวัตถุประสงค์เพื่อไล่ความชื้นออกจากข้าวเปลือกให้ระเหยกลายเป็นไอ แพร่ผ่านฟิล์มอากาศที่ห่อหุ้มเมล็ดอยู่และถูกพัดพาออกไปโดยอากาศรอบ ๆ (ภาพประกอบ 2.3)

โดยเมื่อผิวข้าวเปลือกชื้นได้รับการถ่ายโอนความร้อน อุณหภูมิข้าวเปลือกจะสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิอากาศรอบ ๆ (อุณหภูมิกระเปาะเปียก) ณ อุณหภูมิที่จุดนี้ ความร้อนที่ถ่ายโอนให้ข้าวเปลือกจะใช้ในการระเหยน้ำที่ผิวเปลือกออกจนหมดโดยอัตราการ อบแห้งคงที่ (Constant drying rate) โดยที่อุณหภูมิข้าวเปลือกไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกว่าความร้อนนี้ว่าความร้อนแฝงของการระเหยซึ่งเป็นค่าความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวต่ำกว่าความดันไอของเนื้อในเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันขึ้นซึ่งเนื้อในมีความดันไอสูงกว่าทำให้เกิดแรงดันไล่น้ำออกมาที่ผิว แรงดังกล่าวเรียกว่าแรงแคปิลารี่ (เรียวโซ โทเอ, 2529: สมชาติ โสภรณฤทธิ์, 2540: Fellows, 1988)

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าวัสดุที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของวัสดุ และน้ำในวัสดุจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หลังจากนั้นไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังในภาพประกอบ 2.3 (วิไล รังสาดทอง, 2546)



ภาพประกอบ 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการอบแห้ง (Fellows, 1988)

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันที่ผิวหน้าของวัสดุต่ำกว่าความดันด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันขึ้น วัสดุชั้นด้านในจะมีความดันสูงกว่าจะค่อย ๆ ลดต่ำลง เมื่อชั้นวัสดุเข้าใกล้อากาศแห้งความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อขับไล่น้ำออกจากวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

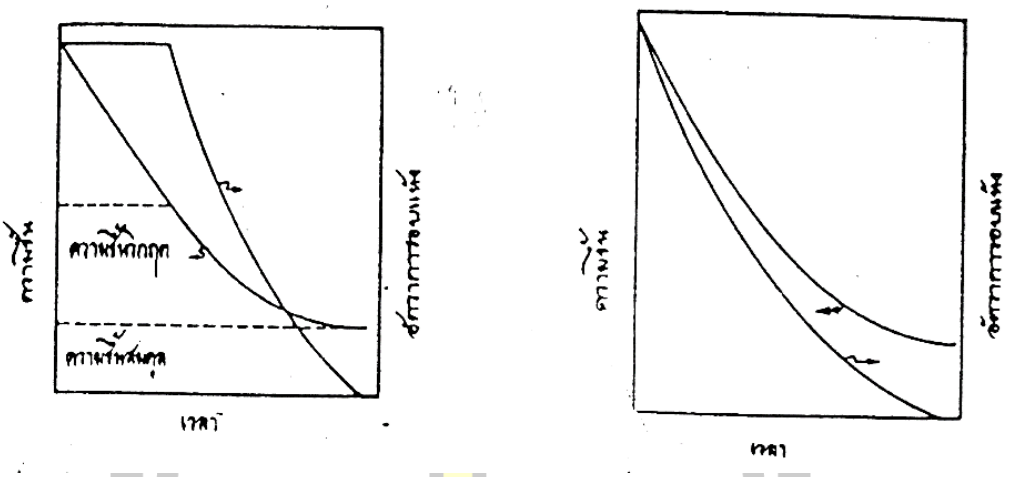
2.9.2.1 การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงคาปิลารี่

2.9.2.2 การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในวัสดุ

2.9.2.3 การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในวัสดุ

2.9.2.4 ความแตกต่างของความดันทำให้เกิดการแพร่ของน้ำในช่องอากาศของวัสดุ

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

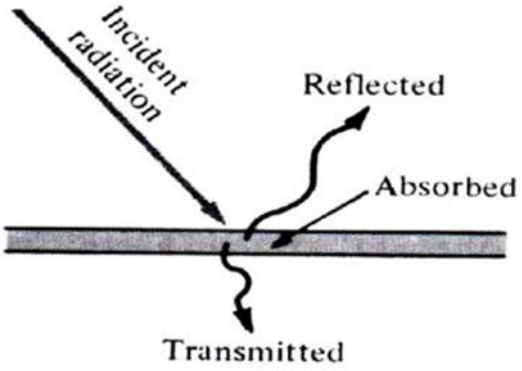


ภาพประกอบ 2.4 (a) การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (b) การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (สมชาติ โสภรณฤทธิ์, 2540)

ภาพประกอบ 2.4 (a) และ (b) เป็นกราฟแสดงการอบแห้งวัสดุทั่ว ๆ ไป มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิวของวัสดุมายังกระแสอากาศ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำน้อยอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิ และความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อปริมาณน้ำลดลงมากแล้ว อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยอุณหภูมิจะสูงขึ้น และความเข้มข้นจะลดน้อยลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดน้อยลง

2.10 การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด

อินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.7 - 1,000 ไมโครเมตร แต่ช่วงคลื่น ที่มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อน จะมีค่าความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.1 - 100 ไมโครเมตร โดยจำแนกเป็น 3 ช่วง คือ Near infrared (0.7 - 3 ไมโครเมตร) Medium infrared (3 - 25 ไมโครเมตร) และ Far infrared (25 - 100 ไมโครเมตร) รังสีความร้อนที่แผ่ไปตกกระทบกับวัสดุนั้นทำให้เกิดผลได้แก่การดูดซับพลังงาน ซึ่งจะแปลงเป็นพลังงานความร้อน การส่งผ่าน และการสะท้อนกลับ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 การสะท้อนการดูดซึม และการส่งผ่านพลังงานของวัตถุ (Ozisik, 1985)

วัตถุดำนั้นเป็นวัตถุในอุดมคติ (ε=1) ซึ่งสำหรับวัตถุจริงนั้นคุณสมบัติการแผ่รังสีที่ปลดปล่อย ออกมาจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุนั้น เช่น อุณหภูมิผิววัตถุร้อนสีมุมการแผ่รังสี ความหยาบมันเงา ของผิวเป็นต้น ทำให้ค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมามีค่าไม่ถึงหนึ่ง ($\varepsilon < 1$) โดยพลังงานความร้อน จากการแผ่รังสีออกมา (Thermal Radiation Power) สามารถคำนวณด้วยกฎของสเตฟาน-โบลแมน (Stefan-Boltzmann Law) ดังสมการ 2.3

$$Q = \varepsilon\sigma AT^4 \qquad (2.3)$$

เมื่อ Q = พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสี (Watt, W หรือ J/s)

ε = ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุเทา (มีค่า 0 ถึง 1)

σ = ค่าคงที่ของ สเตฟาน-โบลแมน (5.67×10^{-8} $W/m^2 K^4$)

A = พื้นที่ผิว (m^2)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K, ^oC)

ส่วนวัตถุที่รับรังสีอินฟราเรดนั้น ปริมาณรังสีที่ถูกดูดซับด้วยวัตถุเทานั้น ความสามารถ ในการดูดซับรังสี (α) จะถูกสมมติให้มีค่าเท่ากับความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุนั้น (ε) โดยที่เมื่อความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดกำหนดโดยกำเนิดรังสีอุณหภูมิที่สูงกว่าจะให้ความยาวที่สั้นกว่าและการแทรกซึมลึกกว่าปริมาณสุทธิของการถ่ายโอนความร้อนสู่วัตถุจึงเท่ากับอัตราการดูดซับลบจากอัตราแผ่รังสี ดังสมการ 2.4

$$Q = \varepsilon\sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.4)$$

เมื่อ T_1 = อุณหภูมิของวัตถุที่แผ่รังสี (K)

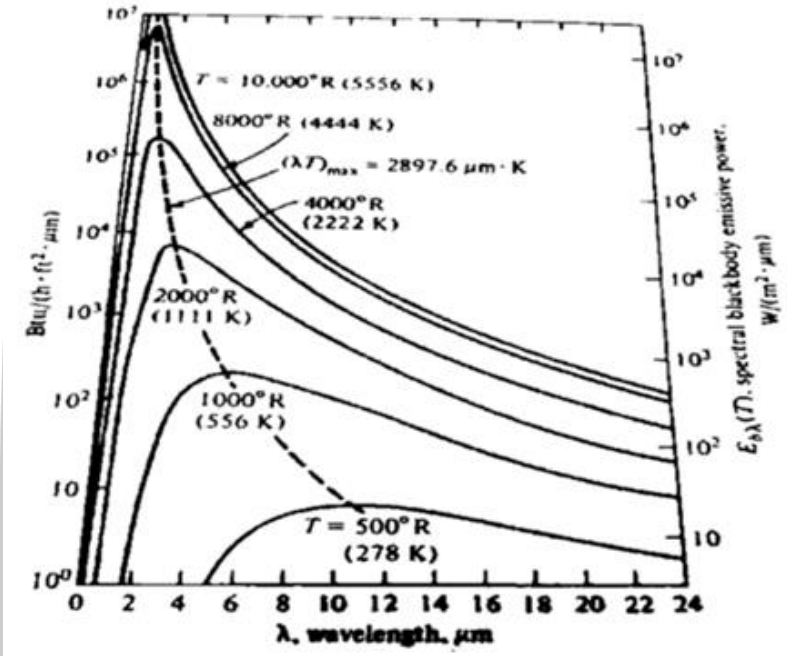
T_2 = อุณหภูมิของวัตถุที่ดูดซับรังสี (K)

การปลดปล่อยพลังงานของวัตถุจากการแผ่รังสีต่อหน่วยพื้นที่ของวัตถุร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Spectral Blackbody Emissive Power) มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของวัตถุร้อนนั้น ซึ่งหากกำหนดค่าความยาวคลื่นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ จะสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความยาวคลื่นกับอุณหภูมิค่าต่าง ๆ ของวัตถุที่พลังงานจากการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุดำ

2.10.1 การถ่ายเทความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด

วัตถุที่จะรับการถ่ายเทความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่เหมาะสม วัตถุต้องมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ นอกจากนั้นคุณสมบัติของวัตถุที่ต้องมีมาก คือ การดูดซับสูง (High Absorptivity) ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิของผิวหน้าวัตถุให้ความร้อนและวัตถุรับความร้อน คุณสมบัติของผิวหน้าทั้งวัตถุที่ให้ความร้อน รูปร่างของวัตถุที่แผ่รับรังสีและรับรังสีอัตราการปลดปล่อยพลังงานจากการแผ่รังสีต่อหน่วยพื้นที่ของวัตถุร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ หรือ Spectral Mlackbody Emissive Power มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของวัตถุ ซึ่งหากกำหนดค่าความยาว คลื่นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ จะสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับอุณหภูมิ ค่าต่าง ๆ ของวัตถุโดยจุดสูงสุด (Peak wavelength, λ_{max}) ของเส้นกราฟหมายถึงตำแหน่งที่วัตถุ ปลดปล่อยพลังงานออกมาสูงสุดด้วยความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

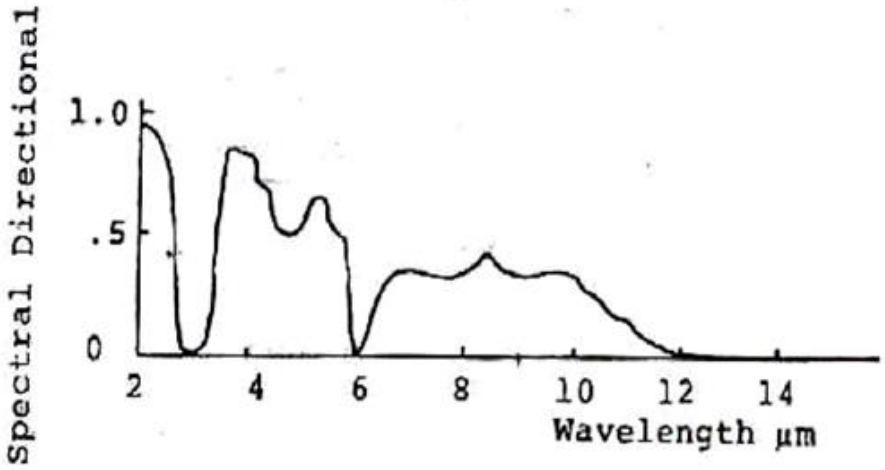


ภาพประกอบ 2.6 การปลดปล่อยพลังงานของวัตถุดำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Ozisik, 1985)

ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับอุณหภูมิของวัตถุ ณ ตำแหน่งสูงสุด เป็นไปตามกฎของเวนน์ (Wien's displacement law) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.5 (Ozisik, 1985)

$$\lambda_{max}T = 2897.6 \quad (\mu m \cdot K) \qquad (2.5)$$

ซึ่งสำหรับการแผ่รังสีของวัตถุจริง ที่อุณหภูมิ T และความยาวคลื่น λ ย่อมจะปลดปล่อยพลังงานออกมาขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุนั้น ๆ แต่สำหรับการลดความชื้นวัตถุที่มีชั้นหนาและความชื้นสูง เช่น อาหาร ก็มีความจำเป็นที่จะต้องมีค่าการส่งผ่านของรังสีสูงเพื่อที่ผิวหน้าจะไม่ถูกทำลายโดยรังสี เช่นกัน (Ozisik, 1985 ; Fellows, 1988) ดังนั้นวัตถุชื้น นอกจากคุณสมบัติการดูดซับและส่งผ่าน พลังงานของวัตถุแล้ว ต้องศึกษาคุณสมบัติในแง่ของ ความยาวคลื่นของวัตถุร้อน และความหนาของ วัตถุที่รับพลังงาน ซึ่งจะเกี่ยวพันกับปริมาณน้ำในวัตถุด้วย แต่โดยทั่วไปวัตถุชื้นส่วนมากจะมีการดูดซับพลังงานต่ำหากค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าสูง โดยความสัมพันธ์ของการดูดซับคลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัตถุ (ภาพประกอบ 2.7) มักจะพบว่ามีค่าการส่งผ่านพลังงานสูงที่ความยาวคลื่นสั้น (Mujumdar, 1995)



ภาพประกอบ 2.7 ความสัมพันธ์ของการดูดซับ (Absorbtivity) คลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัตถุ (Mujumdar, 1995)

2.10.2 การถ่ายโอนความร้อนระหว่างรังสีอินฟราเรดกับวัสดุเกษตร

ในอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร พบว่ามีการพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด อยู่ระดับหนึ่งอาทิ เช่น ในประเทศญี่ปุ่นใช้ในการทำแห้งสาหร่าย ผงกระหรี่ แครอท และฟักทอง ทั้งยังพบว่าสามารถใช้ได้ดีในอุตสาหกรรมการทำแห้งอาหารที่มีความชื้นต่ำ เช่น ผงโกโก้ แป้ง เมล็ด ธัญพืช มอลท์ ผลิตภัณฑ์พาสตาและผงชา เป็นต้น ส่วนวัสดุที่มีความหนา ยังคงพบว่ามีข้อจำกัด ในการใช้งานอยู่ ซึ่งต้องมีการพัฒนาร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น ร่วมกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ หรือลมร้อน รังสีอินฟราเรดนั้นเหมาะสำหรับใช้ในการให้ความร้อนวัตถุโดยเฉพาะบริเวณผิว (Surface Drying) ดังนั้นวัตถุที่ได้รับการถ่ายโอนความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้ดีนั้นควรมีลักษณะบาง มีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ ผิวไม่มีลักษณะมันวาว มีคุณสมบัติการดูดซับสูง (High Absorptivity) นอกจากนั้นอัตราการถ่ายโอนความร้อนของวัตถุยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ระดับการแผ่รังสีที่แสดง ค่าเป็นอุณหภูมิของผิวหน้าวัตถุร้อนที่แตกต่างกัน และระดับความเข้มรังสีซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่าง วัตถุร้อนกับวัตถุรับความร้อน ซึ่งสำหรับวัสดุทางการเกษตรที่เป็นวัตถุชื้น นอกจากคุณสมบัติการดูดซับ และส่งผ่านพลังงานของวัตถุแล้ว ต้องศึกษาคุณสมบัติในแง่ของความยาวคลื่นของวัตถุร้อน และ ความหนาของวัตถุที่รับพลังงานซึ่งจะเกี่ยวพันกับปริมาณน้ำในวัตถุด้วย แต่โดยทั่วไปวัตถุชื้นส่วนมาก จะมีค่าการดูดซับพลังงานต่ำหากค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าสูง โดยความสัมพันธ์ของการดูดซับคลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัตถุ มักจะพบว่ามีค่าการส่งผ่านพลังงานสูงที่ความยาวคลื่นสั้น ถึงปานกลาง ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมมีค่าประมาณใกล้เคียง 3 และ 6 ไมโครเมตร ที่พบว่าน้ำมีค่า การดูดซับพลังงานเกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

2.11 การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน

สำหรับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนความร้อนจากอากาศร้อน จะถ่ายเทผิวด้านนอกของวัสดุ ทำ ให้ความชื้นและไอน้ำระเหยออกจากผิววัสดุ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นแบบการพาความร้อน ซึ่งมีอากาศร้อนเป็นตัวกลางพาความร้อน โดยการพาความร้อนแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.11.1 การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก

2.11.2 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free Convection หรือ Natural Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใด ๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็จะเคลื่อนที่โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัว นี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีผลต่างของอุณหภูมิ สำหรับความร้อนที่ถ่ายเทด้วยการพาความร้อน สามารถแทนด้วยสมการ 2.6

$$q = h.A\ (T_h - T_c) \qquad (2.6)$$

เมื่อ q = ปริมาณความร้อน, (W)

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับวัตถุ (W/m^2)

A = พื้นที่วัสดุอบแห้ง (m^2)

T_h= อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (°C)

T_c= อุณหภูมิที่เย็นกว่า (°C)

2.12 หลักการอบแห้งข้าวเปลือก

ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นข้าวเปลือก จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อน และมวลขึ้นพร้อม ๆ กัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังข้าวเปลือก และทำให้น้ำที่บริเวณผิวข้าวเปลือกระเหยเข้าไปอยู่ในอากาศ เป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงขึ้น ส่วนข้าวเปลือกจะมีความชื้นลดต่ำลง และหากความชื้นลดลงมาพอแล้วอุณหภูมิของข้าวเปลือกก็จะเริ่มสูงขึ้นด้วย จนในที่สุดอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่ใช้อบแห้ง การกำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นอยู่กับความต้องการในการ

ใช้งานของเมล็ดพืชและชนิดของเมล็ดพืช ถ้าต้องการเก็บเมล็ดพืชไว้ทำพันธุ์ต้องอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 43 องศาเซลเซียส (Brooker *et al.* 1974) หากว่าความชื้นลดลงจนถึงความชื้นสมดุล เมื่อข้าวเปลือกแห้งดีแล้ว จะผ่านอากาศแวดล้อมเข้าชั้นข้าวเปลือกเพื่อให้อุณหภูมิลดลง หากเก็บข้าวเปลือกทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้ข้าวเปลือกในบริเวณที่มีการควบแน่นมีความชื้นสูงขึ้น โดยมักจะเป็นที่ชั้นบน และจะเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเชื้อรา และแมลงต่อไป (สมชาติ โสภรณฤทธิ์, 2540)

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.13.1 งานวิจัยเกี่ยวกับรังสีอินฟราเรด

Afazl *et al.* (2000) ได้ทดลองอบแห้งข้าวบาร์เล่ย์โดยกำหนดค่าความเร็วอากาศเท่ากับ 0.3 0.5 และ 0.7 เมตรต่อวินาที ใช้ความเข้มของรังสีอินฟราเรดไกล 0.167 0.333 และ 0.500 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ความชื้นเริ่มเท่ากับ 23 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ที่อุณหภูมิ 40 55 และ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองด้วยรังสีอินฟราเรดไกลร่วมกับขดลวดให้ความร้อนเปรียบเทียบกับการใช้ขดลวดให้ความร้อนอย่างเดียว พบว่าที่ความเข้มรังสี 0.333 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีความเหมาะสมที่สุด ความเร็วลมมีผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว

Hebber *et al.* (2004) ได้พัฒนาการทำงานร่วมกันของรังสีอินฟราเรด และลมร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งถั่วเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในการศึกษาได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดและลมร้อนจากการทดลองพบว่า เมื่อนำอินฟราเรดและลมร้อนมาทำงานร่วมกัน จะสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งและพลังงานได้ถึง 48 และ 63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบที่ใช้อินฟราเรดเพียงอย่างเดียวพบว่าแบบทำงานร่วมกันให้ผลที่ดีกว่า

Ipsita Das *et al.* (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา โดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับชุดอุปกรณ์สั่นช่วยเพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกคลุกเคล้ากันและสามารถสัมผัสความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้อย่างทั่วถึงหมด โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขการสั่นสะเทือน และมีความแตกต่างกันที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดเท่ากับ 5514 4520 3510 2520 และ 1509 วัตต์ต่อตารางเมตร และความหนาของชั้นผิวของเมล็ดข้าวเปลือกที่ 3

6 12 และ 25 มิลลิเมตร พบว่า ความถี่และความกว้างของการสั่นสะเทือนที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 20-22 Hz และ 8-9 มิลลิเมตร ของสามระดับความหนาของชั้นผิวเมล็ดข้าวเปลือก คือ 25 12 และ 6 มิลลิเมตร พบว่าความเข้มของรังสีอินฟราเรดและความหนาของชั้นผิวเมล็ดนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยการแพร่ของความชื้นอยู่ที่ 1 เปอร์เซ็นต์

Ding *at et.* (2018) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรด (การแผ่รังสี 4685 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นเวลา 58 วินาที จะทำให้อากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จากนั้นพักการอบ หรือ tempering ข้าวไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วเป่าลมเย็นอีก 30 นาที สุดท้ายคือเป่าลมอากาศแวดล้อมอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส อีก 6 ชั่วโมง ความชื้นลดลงจาก 25 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เหลือ 15.92 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ไปยังข้าวมีความหนา 1 ชั้นเมล็ด เทียบกับอุณหภูมิลมร้อน 43±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ความเร็วลม 0.10±0.001 เมตรต่อวินาที และการเป่าอากาศแวดล้อมความเร็วลม 0.10±0.001 เมตรต่อวินาที พบว่า การลดลงความชื้นข้าวเปลือกทั้งสามวิธีมีร้อยละการงอกไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้กล่าวถึงการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าว

จักรมาส เลาหวณิช และเสรี วงส์พิเชษฐ (2549) ทำการศึกษาลักษณะการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรดภายในห้องอบแห้ง จากอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรดที่ระดับความแรงของรังสีระดับ ต่าง ๆ ดำเนินการโดยการวัดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องอบตามระนาบราบ เพื่ออธิบายการแผ่กระจายของรังสีมายังระนาบทดสอบที่อยู่ห่างจากอุปกรณ์กำเนิดรังสีระยะต่าง ๆ กัน โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะการแผ่กระจายของรังสีด้วยการวิเคราะห์พื้นที่ตอบสนอง และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ในรูปสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง (R^2 = 0.908) รวมถึงแสดงลักษณะการแผ่กระจายของรังสีด้วยเส้นชั้นระดับอุณหภูมิของอากาศในห้องอบตามระนาบราบ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการเลือกขนาดของพื้นที่อบแห้งที่มีการกระจายตัวของรังสีสม่ำเสมอตามเกณฑ์ผู้ใช้กำหนด

นฤพนธ์ บ่อคำเกิด และคณะ (2555) ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อการลดลงของความชื้น และความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว ด้วยวิธีการตากแดดเป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับวิธีการให้ความร้อนเบื้องต้นก่อนนำไปตากแดด กับวิธีการแผ่รังสีอินฟราเรดที่ 2.70 ไมโครเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าการเปรียบเทียบความชื้นของเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง ที่ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพดคือ 53 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก วิธีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างชัดเจน ซึ่งระดับความชื้นที่ลดลงไม่แตกต่างกัน การอบแห้งด้วยลมร้อนความชื้นจะลดลงมากกว่าเล็กน้อย หลังจากนำเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง มาผึ่งไว้ในอุณหภูมิห้องอีก 7 วัน ความชื้นมีค่าลดมากกว่าวิธีการตากแดดถึง 5 เปอร์เซ็นต์

ร้อยละการงอกของเมล็ดข้าวโพด พบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยลมร้อนจะมีร้อยละการงอกที่สูงที่สุด คือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของเมล็ดข้าวโพด 100 เมล็ด รองลงมาจะเป็นวิธีการตากแดด และความแข็งแรงของเมล็ดข้าวโพด โดยการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยลมร้อน มีการงอกค่าความแข็งแรงที่สูงที่สุด คือ 80 เปอร์เซ็นต์ ของเมล็ดข้าวโพด 100 เมล็ด รองลงมาจะเป็นวิธีการตากแดด

อรวรรณ ฤทธิวุธ และคณะ (2555) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานต่อร้อยละการงอกและความแข็งแรงของต้นกล้า โดยทำการทดลองลดความชื้น ของเมล็ดพันธุ์ 3 วิธี คือ การตากแดด 7 วัน การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปตากแดดอีก 7 วัน และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วแล้วนำไปตากแดดอีก 7 วัน โดยความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างร้อยละ 74 มาตรฐานเปียก จากนั้น นำมาลดความชื้น ด้วยกรรมวิธีดังกล่าวจนลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก จากนั้น นำตัวอย่างไปทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ โดยการวัดความการงอกและความแข็งแรงของต้นกล้า ผลการทดลองพบว่า ความงอกของข้าวโพดทั้ง 3 วิธี พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่ระดับอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด คือ 90.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกับวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ส่วนวิธีการตากแดดมีความงอกน้อยที่สุดคือ 86 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดทั้ง 3 วิธี พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่ระดับอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด คือ 82.33 เปอร์เซ็นต์ และไม่แตกต่างจากวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่มีความแข็งแรง 80.33 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวิธีการตากแดดมีความแข็งแรงน้อยกว่า คือ 76 เปอร์เซ็นต์

ทรงพล วิจารณ์จักร และคณะ (2559) ได้ศึกษาพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนสองขั้นตอนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับข้าวกล้องงอก ผลการทดสอบอบข้าวกล้องงอกข้าวพันธุ์หอมมะลิ105 ที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก อัตราการป้อน 100- 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ 40-50 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นให้เหลือ 16-20 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ภายในเวลา 10 นาที คุณภาพการสีดีขึ้นกว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกรคือสามารถลดการแตกหักจาก 15.04 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือเพียง 1.32 เปอร์เซ็นต์

2.13.2 งานที่เกี่ยวกับทรัพย์สินทางปัญญา

จักรมาส เลาหวณิช และสุพรรณ ยั่งยืน (2557) ได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้านรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง ประกอบด้วย สามส่วนหลัก คือ ส่วนที่หนึ่ง ถังทรงกระบอกหมุนซึ่งถือเป็นส่วนของห้องอบแห้ง ส่วนที่ สอง คือ ชุดให้ความร้อนอินฟราเรด

และส่วนที่สาม คือ ชุดเป่าร้อนปล่อยทิ้งซึ่งลักษณะสำคัญทางเทคนิคของการประดิษฐ์นี้ คือ ห้องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกหมุนซึ่งถือเป็นส่วนของห้องอบแห้ง ภายในติดตั้งอุปกรณ์ช่วยในการลำเลียง สองช่อง คือ ช่วงที่หนึ่งเกลียวลำเลียงซึ่งติดตั้งขดวงรอบถัง และช่วงที่สองใบโปรยวัสดุที่ติดตั้งตามแนวรัศมีของตัวถัง ซึ่งห้องอบแห้งระบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง นี้เป็นการทำงานสองระบบด้วยกัน คือ ช่วงที่หนึ่งการ ใช้เกลียวลำเลียงในการลำเลียงวัสดุ จะทำให้วัสดุเกิดการพลิกตัวและคลุกเคล้ากัน เมื่อวัสดุ เคลื่อนที่ถึงความสูงระดับหนึ่งแล้วจะตกมาด้วยแรงโน้มถ่วง ช่วงที่สอง วัสดุที่ถูกลำเลียงเข้ามาจะ ถูกให้มีพฤติกรรมการเคลื่อนที่ต่างไปจากเดิม โดยใบโปรยวัสดุที่ติดตั้งรอบถังนั้น โดยระบบรองรับ วัสดุและพาให้เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนของตัวถังได้ ซึ่งจะปล่อยหรือโปรยวัสดุที่ตำแหน่งที่มีความลาดเลียง ของใบโปรยวัสดุไม่เพียงพอที่จะพาให้วัสดุอยู่กับที่จึงเป็นผลให้วัสดุที่อยู่ภายในใบโปรยวัสดุ นั้นค่อยๆ ร่วงหล่นอย่างช้าๆ ออกจากใบโปรยวัสดุจนกระทั่งหมดเมื่อมุมของใบโปรยวัสดุเป็นแนวดิ่ง ชุดให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดติดตั้งระบบการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดจากชุดหัวเผาอินฟราเรดที่ช่วงที่หนึ่งของถังทรงกระบอกหมุนโดยรังสีอินฟราเรดเป็นการให้ความร้อนแก่วัสดุด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงทำให้วัสดุนั้นสามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึงเมื่อวัสดุนั้นถูกลำเลียงและพฤติกรรมการเคลื่อนที่ร่วงหล่นจากใบโปรยวัสดุ ชุดเป่าลมร้อนปล่อยทิ้ง การเผาไหม้ด้วยหัวเผาอินฟราเรดนั้นจะมีความร้อนเกิดขึ้นซึ่งความร้อนนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นตามพฤติกรรม อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ที่สูง ในที่นี้การติดตั้งพัดลม เพื่อเป่าลมร้อนปล่อยทิ้งที่เกิดขึ้นจากหัวเผาดังกล่าว จะทำให้อากาศร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในห้องอบลมร้อนจะสัมผัสกับวัสดุและตัวถัง ซึ่งทำให้เกิดการอบแห้งด้วยลมร้อนขึ้นกับวัสดุ โดยพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของวัสดุในลักษณะที่ถูกโปรยจากใบโปรยวัสดุจะทำให้รับลมร้อนปล่อยทิ้งได้ทั่วถึง และขณะเดียวกันลมจะพาให้ไอน้ำที่เกิดจากการกระบวนการอบแห้งนั้นเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้งด้วย

2.13.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดพันธุ์

Shahzad et al. (2000) ได้ศึกษาการประเมินผลทางสรีรวิทยาและลักษณะ ทางชีวเคมีของเมล็ดฝ้ายพันธุ์ Gossypium hersutum เมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ที่สัมผัส อุณหภูมิสูง (45-48 องศาเซลเซียส) มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการทดสอบ 2 3 10 และ 20 วัน ตรวจสอบค่าความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้า ตรวจสอบร้อยละการงอก จากการศึกษาพบว่าเมล็ดพันธุ์ฝ้ายเมื่อผ่านกระบวนการเร่งอายุมีร้อยละการงอกที่ลดลง แต่เมล็ดที่งอกมีความยาวของรากเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์มีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาในการ ทดสอบที่เพิ่มขึ้น คือที่ระยะเวลาในการทดสอบ 20 วัน มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด

Maluf et al. (2003) ได้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ Eugenia involucrate มีทั้งหมด 4 สายพันธุ์ คือ cerejeira cerejeira-do-mato cerejeira-da-terra and cerejeira-do-riogrande อบแห้งที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ทำการอบแหงเมล็ดพันธุ์จากความชื้นเริ่มต้น อยู่

ในช่วง ร้อยละ 57 – 49 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ให้เหลือปริมาณความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 13 มาตรฐานเปียก โดยแบ่งการอบแห้งเป็น 5 ระดับ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ร้อยละการงอกของเมล็ดพันธุ์ Eugenia involucrate มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีการงอกของเมล็ดพันธุ์ต่ำที่สุด และที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นร้อยละการงอกของ เมล็ดพันธุ์มีแนวโน้มที่ต่ำลง

Siri et al. (2003) ศึกษาวิธีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงด้วยวิธีการแตกต่างกัน 3 วิธี คือ การใช้เครื่องอบแห้งชนิดลมร้อน การตากแดด และการผึ่ง หลังการลดความชื้นนำเมล็ดพันธุ์ที่ได้ในแต่ละวิธีบรรจุกระสอบป่านเก็บไว้ในสภาพห้องที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทำการสุ่มตัวอย่างเมล็ดทุกเดือน เป็นเวลานาน 6 เดือน ผลการทดลองพบว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบ ยังคงมีร้อยละความงอกสูง ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ และมีร้อยละเมล็ดติดเชื้อรา Aspergillusflavus น้อยกว่าเมล็ดที่ลดความชื้นด้วยวิธีอื่น

Fessel et al. (2006) ศึกษาการประเมินผลกระทบของอุณหภูมิและ ระยะเวลาการเก็บรักษาตอการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด โดยทางผู้วิจัยใช้วัตถุดิบคือเมล็ดพันธุ์ ข้าวโพด สายพันธุ์ Zea mays L. แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง คือแบบไม่แช่สารเคมี และนำไปแช่ ในสารเคมีซึ่งประกอบด้วยสาร Ca^{2+} Mg^{2+} and K^{+} แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 20 30 20/10 และ 30/10 องศาเซลเซียส วัดค่าการนำไฟฟ้าและร้อยละการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดทุก ๆ 4 เดือน เป็นเวลา 16 เดือน จากการศึกษาพบว่า ทุก ๆ อุณหภูมิในการเก็บรักษายกเว้น 10 องศาเซลเซียส ทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงการประเมินผลความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น

Thilakarathana et al. (2006) ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและมวลของข้าวเปลือกที่สูญเสียระหว่างการเก็บรักษาในถังเก็บที่ปิดผนึกมิดชิดโดยการนำข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบเดือนละครั้ง วัดคุณภาพในด้านสี ร้อยละต้นข้าว ความชื้นและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่าการเก็บรักษาในถังปิดผนึกสามารถรักษาคุณภาพของข้าว โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีของข้าว ร้อยละต้นข้าว ความชื้น และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

Beardmore et al. (2008) ได้ศึกษาผลของปริมาณน้ำและอุณหภูมิในการ เก็บรักษาที่มีผลกับการงอกของเมล็ด black spruce, lodgepole pine และเมล็ด white spruce โดยที่ใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาคือ +4 -20 -80 และ -196 องศาเซลเซียส ซึ่งมีระยะเวลาการเก็บ รักษาระหว่าง 6 12 24 48 และ 60 เดือน พบว่าที่ปริมาณน้ำร้อยละ 2–3 5–6 และ 22–25 ร้อยละ การงอกของเมล็ดพันธุ์มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาและปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น ทั้งเมล็ด black spruce และเมล็ด white spruce และผลจากการทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

พบว่า เมล็ด black spruce และเมล็ด lodgepole pine มีร้อยละการงอกที่ลดลงตามอุณหภูมิที่ต่ำลง เช่นกัน

Thobunluepop et al. (2008) ได้ศึกษาผลของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าว หอมมะลิ 105 ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ ทดสอบใช้สารเคมีเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าได้แก่ Chemical fungicide captan (CA), chitosan-lignosulphonate polymer (CL) และ eugenol incorporated into chitosan-lignosulphonate polymer (E+CL) ในระยะเวลาการเก็บรักษา 12 เดือน โดยได้ตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 ด้วยวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ (electrical conductivity test: cond) จากผลการศึกษาพบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 มีค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ซึ่งเมล็ดพันธุ์ที่เคลือบด้วย CA เมล็ดพันธุ์ มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดในงานวิจัยนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงต่ำเมื่อใช้ CA เคลือบเมล็ดพันธุ์

2.13.4 สรุปผลที่ได้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวของ

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวของสามารถกล่าวได้วา เมื่อนำอินฟราเรดและลมร้อนมาทำงานร่วมกัน จะสามารถลดระยะเวลาการอบแห้ง เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบที่ใช้อินฟราเรดเพียงอย่างเดียวพบว่าแบบทำงานร่วมกันให้ผลที่ดีกว่า ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด โดยการตรวจสอบร้อยละ การงอกของเมล็ดพันธุ์และตรวจสอบค่าความแข็งแรงของเมล็ดพันธุด้วยวิธีการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของสมาคมระหว่างประเทศหรือ ISTA (ISTA, 1995 ; ISTA, 1999 ; ISTA, 2016) และ ประเมินการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้ดำเนินการวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาพัฒนากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีลำดับขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจนเพื่อที่จะสามารถดำเนินการให้เสร็จตามวัตถุประสงค์ได้ ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินศึกษาพัฒนากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

3.3 วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

3.1 การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก โดยมีการศึกษากับเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

3.1.1 การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

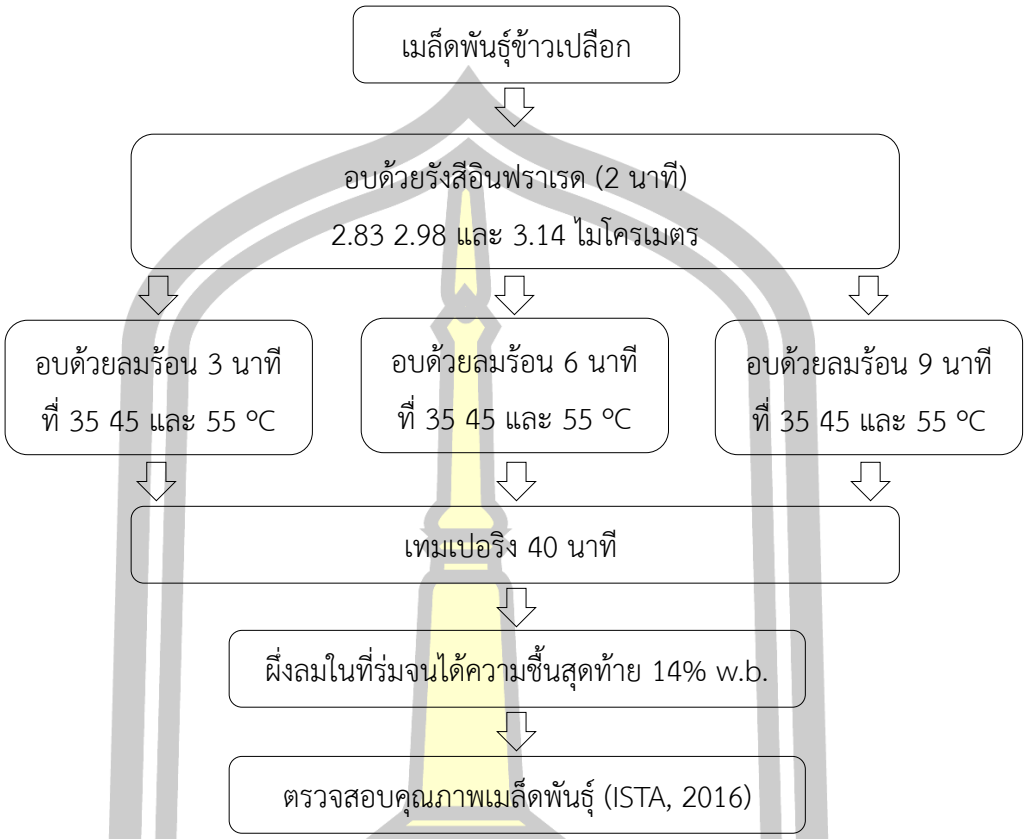
ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงเพื่อศึกษาปัจจัยของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ข้าวนาปี ฤดูกาล 2561 จากอำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ความชื้นเริ่มต้น 21-23 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เป็นวัสดุในการทดสอบ

3.1.1.1. เงื่อนไขและวิธีการทดสอบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง

การเตรียมข้าวตัวอย่างอ้างอิง โดยการนำข้าวตัวอย่างมาลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดดบนลานดินที่ปูพื้นด้วยแผ่นผ้าใบ นำข้าวออกแผ่ตากในสภาพวันที่ท้องฟ้าโปร่งแดดจัด โดยแผ่ข้าวให้มีความหนา 2 เซนติเมตร วันที่หนึ่งตากตั้งแต่เวลา 9.00 -18.00 น. แล้วเก็บข้าวบรรจุในกระสอบวางไว้ในอาคาร แล้วตากต่อเนื่องเป็นวันที่สองโดยแผ่ตากตั้งแต่เวลา 9.00 -12.00 น. ในระหว่างการแผ่ตากทุก 3 ชั่วโมงทำการกลับกองข้าว สิ้นสุดกระบวนการวัดค่าความชื้นสุดท้ายได้ 14 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เก็บข้าวบรรจุลงกระสอบวางไว้ในอาคารในสภาวะอุณหภูมิห้องเพื่อรอการทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ต่อไป

การศึกษาปัจจัยของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและการเทมเปอริงที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ โดยดำเนินการศึกษาปัจจัย ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (**λ**IR) 2.83 2.98 และ 3.14 ไมโครเมตร (อุณหภูมิใต้ผิวหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรดชนิดใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงเป็น 750 700 และ 650 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) อุณหภูมิลมร้อน (HRTD) 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวรับลมร้อน (HRTI) 3 6 และ 9 นาที ทั้งสามปัจจัยทำการแปรค่า 3 ระดับ ใช้แผนการทดลองแบบ 3^3 Factorial in CRD 3 ซ้ำ (27 ทรีตเมนต์ 81 การทดลอง) ในแต่ละการทดลองใช้ข้าวเปลือกตัวอย่าง 2 กิโลกรัม ซึ่งใน ภาพประกอบ 3.1 และ 3.2 แสดงแผนการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยเริ่มจากนำเมล็ดพันธุ์ข้าวเข้าอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด แล้วอบแห้งต่อในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อสิ้นสุดการอบแห้งให้ทำการเทมเปอริงในภาชนะปิดเป็นเวลา 40 นาที (คงศักดิ์ ชินนาบุญ, 2543) ทำการสุ่มวัดความชื้นเมล็ดที่ผ่านการอบแห้ง การเทมเปอริง และระหว่างการผึ่งลม ด้วยวิธีมาตรฐานในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ASAE (1996) และทำการวัดอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 3.1 กระบวนการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

(a) (b) (c)

ภาพประกอบ 3.2 (a) เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่โดยใช้รังสีอินฟราเรด (b) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (c) กล่องอับอากาศเพื่อใช้ในการเทมเปอริง

3.1.1.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ผ่านการทดสอบการอบแห้งตามข้อ 3.1.1.1 มาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยวิธีการเดิมของกลุ่มวิสาหกิจ ฯ (ข้าวอ้างอิง) โดยมีขั้นตอนในการตรวจสอบดังนี้

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการทดลองและข้าวอ้างอิงจากข้อ 3.1.1.1. บรรจุในกระสอบวางพักไว้ในห้องที่มีการระบายอากาศที่ดีเป็นระยะเวลานาน 2 เดือน แล้วทำการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของสมาคมระหว่างประเทศหรือ ISTA (ISTA, 1995 ; ISTA, 1999 ; ISTA, 2016) โดยนำเมล็ดพันธุ์ทรีตเมนต์ละ 4 ซ้ำ แบ่งเป็นสองกลุ่ม สำหรับการทดสอบร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จำนวนซ้ำละ 100 และ 25 เมล็ด ตามลำดับ เมื่อทดสอบเพาะเมล็ดบนกระดาษ Between Paper – BP แล้วให้แบ่งบรรจุลงในกล่องเพาะเมล็ดแบบโปร่งแสงสำหรับวัดร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ให้ห่อหุ้มกล่องบรรจุด้วยถุงดำจนทึบแสง แล้ววางกล่องทั้งสองไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส จนกระทั่งระยะเวลาผ่านไป 14 วัน ให้ตรวจนับ ประเมินผลร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน ตามวิธีของ ISTA (2016)

หลังจากนั้นทุก 2 เดือน ให้ทำการทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเช่นเดียวกัน จนครบเดือนที่ 6 ของการพักตัวซึ่งนับตั้งแต่วันเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์

วิธีปฏิบัติ

1. การตรวจสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกโดยการเพาะระหว่างกระดาษ (Between Paper – BP)

1) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เมล็ดพันธุ์ ที่เป็นเมล็ดพันธุ์สุทธิ
2. กระดาษแบบ Between Paper – BP ขนาด 20 x 25 เซนติเมตร
3. กล่องพลาสติกพร้อมฝา
4. ดินสอเขียนกระดาษเปียก
5. กระดานนับเมล็ด 100 เมล็ด ขนาด 14.7 x 17.4 เซนติเมตร
6. ภาชนะใส่น้ำสำหรับแช่กระดาษเพาะ
7. น้ำสะอาด
8. ปากคีบ

2). วิธีการตรวจสอบ

1. นับจำนวนกระดาษเพาะที่ต้องการใช้ทดสอบใส่ในถาด เทน้ำสะอาดใส่ให้ท่วม เมื่อน้ำซึมทั่วกระดาษดีแล้วให้ยกกระดาษเพาะขึ้นให้สะเด็ดน้ำ จนไม่มีน้ำหยดจากกระดาษเพาะ

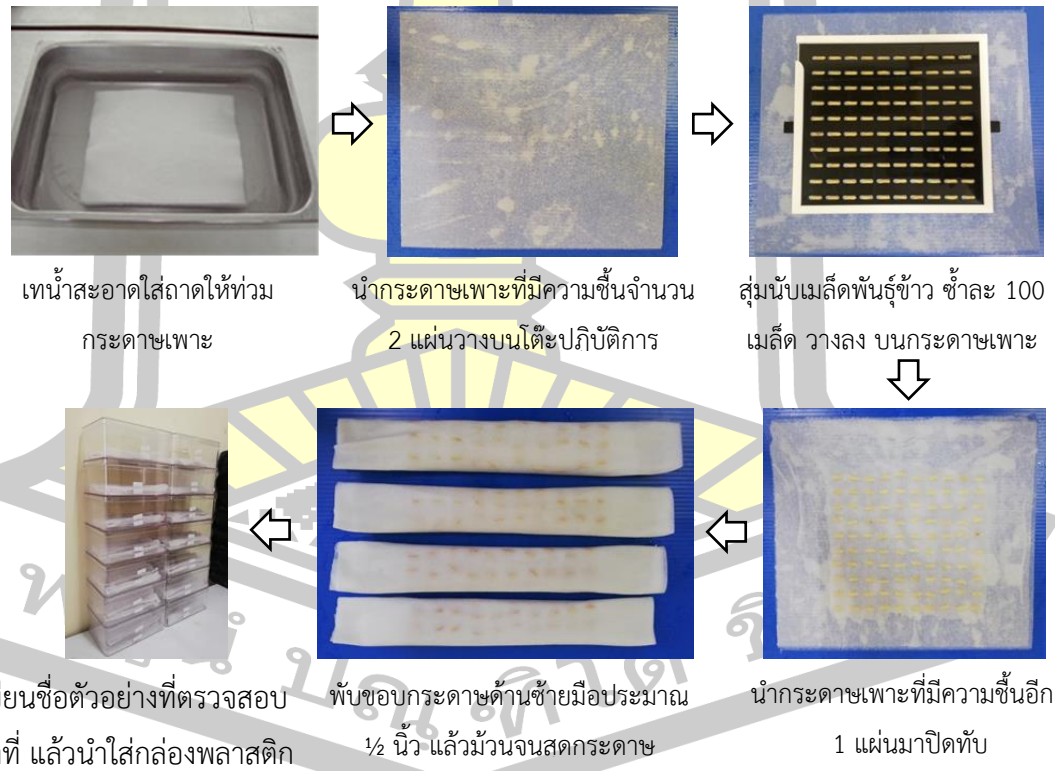
2. นำกระดาษเพาะที่มีความชื้น จำนวน 2 แผ่น วางราบบนพื้นถาด หรือโต๊ะปฏิบัติงาน

3. สุ่มนับเมล็ดพันธุ์ข้าวที่จะทำการทดสอบ ซ้ำละ 100 เมล็ด วางลงบนกระดาษเพาะที่เตรียมไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.3 แล้วนำกระดาษเพาะที่มีความชื้นอีก 1 แผ่นมาปิดทับบนเมล็ด พับกระดาษจากขอบซ้ายมือประมาณ ½ นิ้วแล้วม้วนกระดาษจากขอบซ้ายมือไปจนสุดกระดาษ โดยม้วนอย่าให้แน่นหรือหลวมเกินไป ทำเช่นนี้จนครบ 4 ซ้ำ

4. เขียนชื่อตัวอย่างที่ตรวจสอบ แล้วนำไปวางในกล่องพลาสติกที่เตรียมไว้

5. นำกล่องตัวอย่างไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เพื่อรอประเมินผลเมื่อครบกำหนดต่อไป

6. ตรวจนับประเมินผลความงอกภายหลังเมื่อเพาะได้ 14 วัน



ภาพประกอบ 3.3 วิธีการวัดร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว

2. การวัดการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (Seedling Growth Test)

ในการทดสอบร้อยละการงอกตามวิธีมาตรฐาน ร้อยละการงอกของเมล็ดได้มาจากจำนวนต้นอ่อนปกติ ในขณะที่ทำการตรวจประเมินโครงสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้นอ่อน เพื่อจำแนกว่าเป็นต้นอ่อนปกติ (Normal seedling) หรือผิดปกติ (Abnormal seedling) มักจะพบอยู่เสมอว่าต้นอ่อนที่งอกปกติจะมีระดับของความสมบูรณ์แข็งแรงแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ใช้ความแตกต่างของการเจริญเติบโตต้นอ่อนหรือต้นกล้าเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ โดยวัดจากความยาวต้นกล้าที่งอกและเจริญเติบโตในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เพื่อใช้เปรียบเทียบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ต่างล็อตกัน การทดสอบความแข็งแรงวิธีนี้เหมาะสำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี โดยใช้หลักการเหมือนกับการทดสอบร้อยละการงอกด้วยกระดาษเพาะตามวิธีมาตรฐาน แต่จะเรียงเมล็ดลงบนกระดาษเพาะจำนวน 25 เมล็ด เพื่อวัดความยาวของต้นกล้าที่งอกปกติ (ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น, 2562)

1. วิธีการเตรียมกระดาษเพาะสำหรับทดสอบวัดการเจริญเติบโตต้นอ่อน ทำเช่นเดียวกับการทดสอบร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์

2. นำกระดาษเพาะที่มีความชื้น จำนวน 2 แผ่น วางราบบนพื้นถาด หรือโต๊ะปฏิบัติงาน ให้เรียงเมล็ดลงบนกระเป็นแนวเส้นตรง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.4 จำนวน 25 เมล็ดต่อม้วน เรียงให้เมล็ดอยู่ห่างกันเล็กน้อยวางเมล็ดโดยให้ส่วนของรากอ่อนชี้ลง และส่วนของยอดอ่อนชี้ขึ้น จากนั้นปิดทับด้วยกระดาษชื้น 1 แผ่น

3. ม้วนกระดาษทำในลักษณะเดียกับวิธีทดสอบร้อยละการงอก

4. วางม้วนกระดาษที่เพาะแล้วในกล่องพลาสติกปิดฝาใสในถุงพลาสติกหนาสีดำเก็บไว้ในอุณหภูมิเช่นเดียวกับการทดสอบร้อยละการงอก

5) เมื่อถึงกำหนดตรวจนับร้อยละการงอก จดบันทึกจำนวนต้นกล้าที่งอกปกตินับจำนวนต้นกล้าปกติของแต่ละช่วงความสูง โดยดูจาก ส่วนปลายสุด (Shoot tip) ของต้นกล้าปกติจากนั้น แทนค่าในสมการ 3.1 เพื่อหา ความยาวเฉลี่ยของต้นอ่อน

$$L = \frac{(nx1 + nx2 \ldots\ldots nx15)}{N} \qquad (3.1)$$

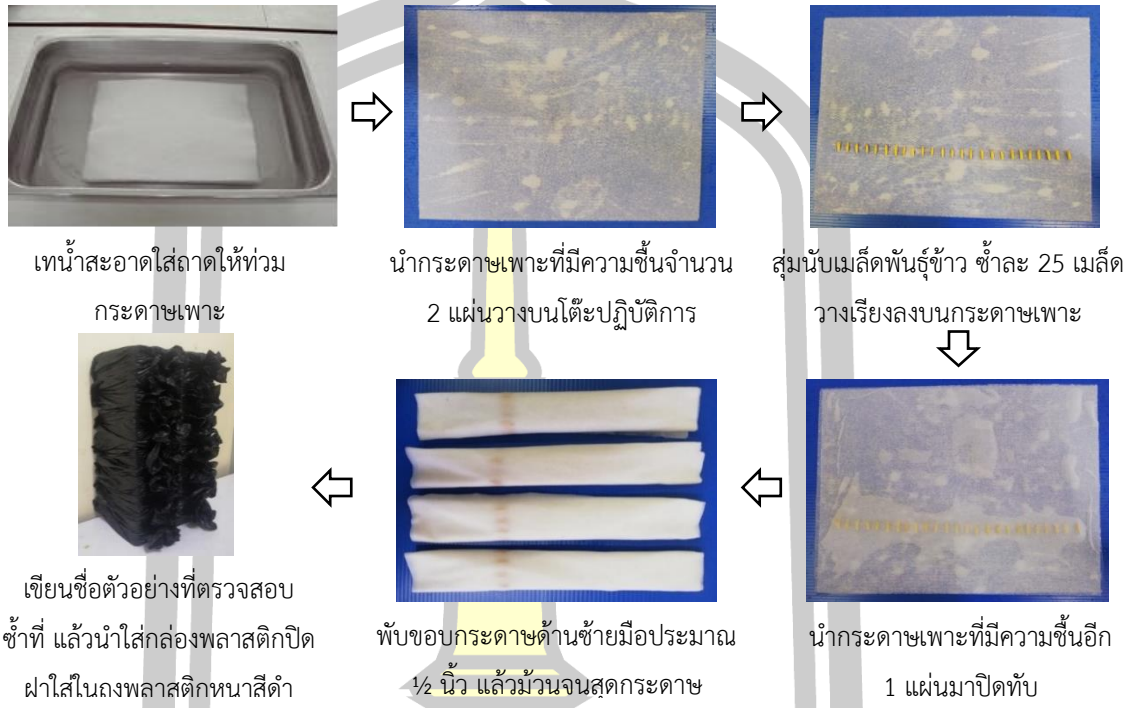
เมื่อ L คือ ความยาวเฉลี่ยของต้นอ่อนปกติ

n คือ จำนวนต้นกล้าปกติที่นับได้ในแต่ละช่วงความสูง

N คือ จำนวนเมล็ดทั้งหมดที่ทดสอบ

พหุน ปณฑิโต ชีเว

6) ให้หาความยาวของต้นกล้า ทั้ง 4 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย เมล็ดพันธุ์ล็อตที่มีความแข็งแรงสูงกว่า ต้นกล้าจะยาวกว่าเมล็ดพันธุ์ล็อตที่มีความแข็งแรงต่ำกว่า



ภาพประกอบ 3.4 วิธีการวัดการเจริญเติบโตของต้นอ่อน

3.1.2 การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงเพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ได้จากการศึกษา ในหัวข้อ 3.1.1 มาทดสอบกับข้าวนาปรังพันธุ์ กข 49 โดยใช้ข้าวนาปรังฤดูกาล 2562 จากอำเภอซำสูง จังหวัดขอนแก่น ความชื้นเริ่มต้น 18-21 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เป็นวัสดุในการทดสอบ

3.1.2.1 เงื่อนไขและวิธีการทดสอบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง

ดำเนินการศึกษาปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดสอบแสดงไว้ดังตาราง 2 โดยการสุ่มวัดความชื้น และวัดอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว ทำเช่นเดียวกับวิธีการในขั้นตอน 3.1.1 เพื่อนำเอาข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ต่อไป

ตาราง 3.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ทดสอบอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ	ระดับ	หมายเหตุ
ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด	- -	พิจารณาผลจากขั้นตอน 3.1.1
อุณหภูมิลมร้อน	3 ระดับ	35 45 และ 55 องศาเซลเซียส
เวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน	3 ระดับ	3 6 และ 9 นาที

3.1.2.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ผ่านการทดสอบการอบแห้งตามข้อ 3.1.2.1 เพื่อหาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว เปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยวิธีการเดิมของกลุ่มวิสาหกิจ ฯ โดยมีขั้นตอนในการตรวจสอบ เช่นเดียวกับวิธีการในขั้นตอน 3.1.1.2 แต่จะเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นเวลา 4 เดือน และทำการหาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อน ที่ 2 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน เพื่อนำเอาข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยมีการศึกษากับเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

3.2.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

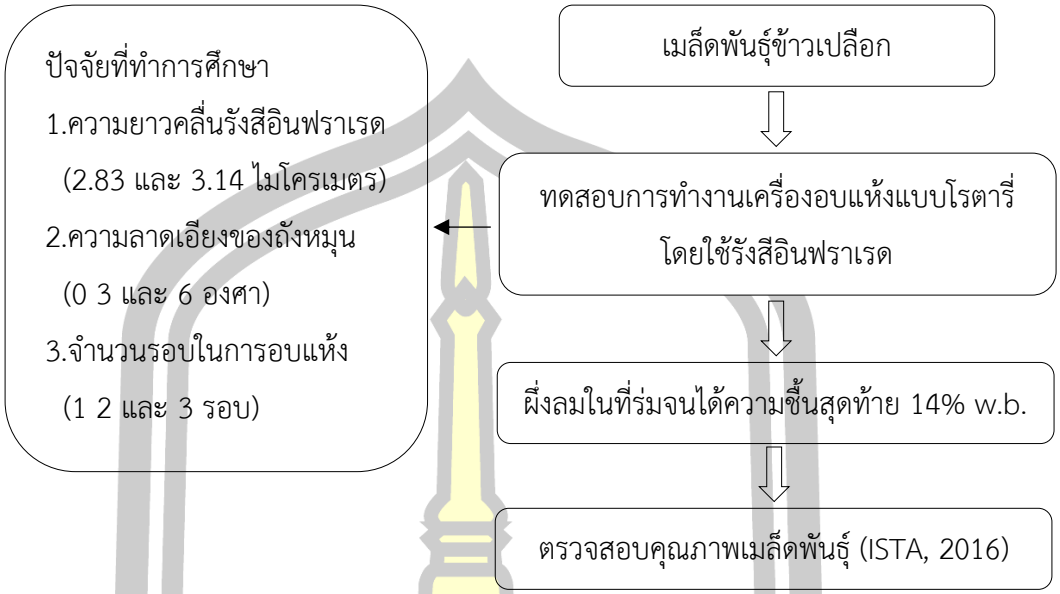
ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงเพื่อศึกษาปัจจัยของการการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ข้าวนาปีฤดูกาล 2561 จากอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ความชื้นเริ่มต้น 28-30 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เป็นวัสดุในการทดสอบ

3.2.1.1 เงื่อนไขและวิธีการทดสอบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

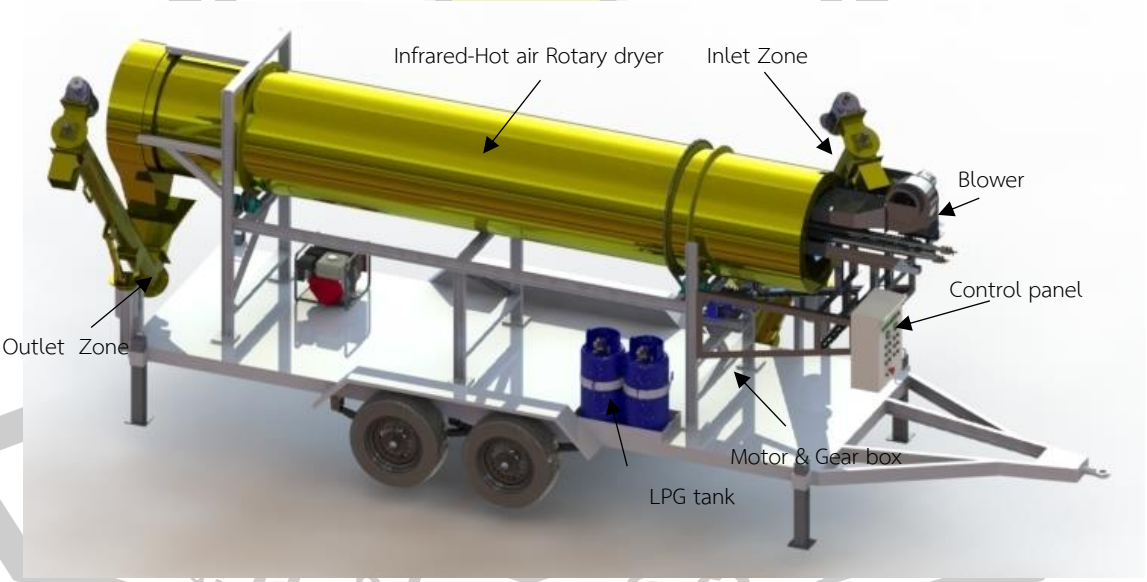
ศึกษาปัจจัยการทำงานที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด (เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง) ที่กลุ่มเกษตรกรมีอยู่ เพื่อหาความสามารถในการอบแห้ง และร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ถูกลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยวิธีการเดิมของกลุ่มวิสาหกิจ ฯ

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด จำแนกหลักการทำงานระหว่างการลดความชื้นได้เป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งแผ่มาจากหัวอินฟราเรดแบบแสตนเลสที่ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง และขั้นตอนที่สองเป็นการลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวอินฟราเรดดังกล่าวข้างต้น โดยมีพัดลมเป่าลมร้อนให้กระจายทั่วทั้งอุโมงค์อบแห้งระหว่างที่ข้าวเคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์ ฯ ด้วยเกลียวลำเลียง ระหว่างนี้จะมีครีบสำหรับโปรยเมล็ดข้าวเพื่อให้ลมร้อนสามารถสัมผัสเมล็ดข้าวได้อย่างทั่วถึง ดังแสดงใน ภาพประกอบ 3.6

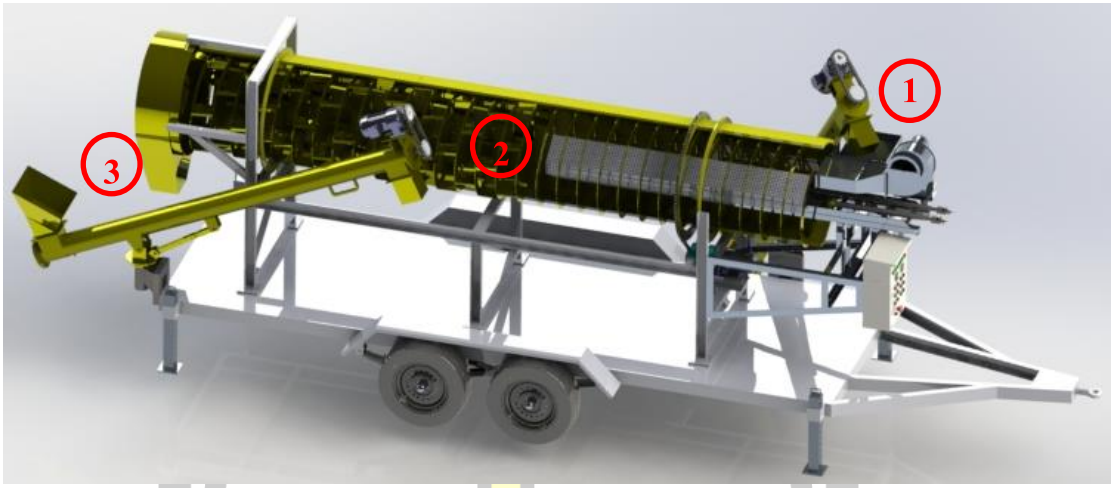
ขั้นตอนในการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว มีปัจจัยในการทดสอบ คือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (λIR) 2.83 และ 3.14 ไมโครเมตร (โดยเทียบเป็นอุณหภูมิหลอด 750 และ 650 องศาเซลเซียส) ความลาดเอียงของถังหมุน 2 4 และ 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 2 และ 3 รอบ โดยในการทดสอบจะทำการปรับแต่งเครื่องให้ได้เงื่อนไขตามระดับของปัจจัยที่ศึกษา (ภาพประกอบ 3.5) จากนั้นป้อนข้าวเข้าสู่ถังอบด้วยเกลียวลำเลียง ข้าวจะเคลื่อนที่ไปตามเกลียวลำเลียงที่อยู่ในถังอบข้าวจะผ่านการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด เมื่อข้าวเคลื่อนที่ผ่านหลอดอินฟราเรดจะมีใบโปรยทำหน้าที่โปรยข้าวเพื่อให้ข้าวสัมผัสกับลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวอินฟราเรด และทำการสุ่มตัวอย่างข้าว โดยจะทำการสุ่มตัวอย่าง 3 จุด ดังแสดงในภาพประกอบ 3.7 และในแต่ละจุดจะทำการ วัดอุณหภูมิของเมล็ดข้าว เก็บข้าวใส่ภาชนะไปหาความชื้น จากนั้นเมื่อข้าวผ่านการอบแห้งทั้งสองขั้นตอน คือ การลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด และการลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวอินฟราเรด นำข้าวไปกองวัดอุณหภูมิในกองข้าว และนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งไปหาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว ทั้งนี้ในการเริ่มสุ่มนั้นต้องรอให้เครื่องมีการทำงานแล้วประมาณ 5-10 นาที หรือจนกว่าข้าวมีการเคลื่อนที่เต็มเกลียวลำเลียงแล้ว ในการอบแห้ง 2 และ 3 รอบ จะนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาพักไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อที่จะรออบแห้งในรอบต่อไป



ภาพประกอบ 3.5 กระบวนการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด



ภาพประกอบ 3.6 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด



ภาพประกอบ 3.7 ตำแหน่งจุดสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าว ของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

3.2.1.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการทดสอบการอบแห้งตามข้อ 3.2.1.1 เพื่อหาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ไปเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยวิธีการเดิมของกลุ่มวิสาหกิจ ฯ โดยมีขั้นตอนในการตรวจสอบ เช่นเดียวกับวิธีการในขั้นตอน 3.1.1.2 เพื่อนำเอาข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.2.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

ในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงเพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ได้จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ในหัวข้อ 3.2.1 มาทดสอบกับข้าวนาปรังพันธุ์ กข 49 โดยใช้ข้าวนาปรังฤดูกาล 2562 จากอำเภอซำสูง จังหวัดขอนแก่น ความชื้นเริ่มต้น 18-21 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เป็นวัสดุในการทดสอบ

3.2.2.1 เงื่อนไขและวิธีการทดสอบอบแห้งด้วยด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

ดำเนินการศึกษาปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดสอบแสดงไว้ดังตาราง 3.2 โดยการสุ่มวัดความชื้น และวัดอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว ทำเช่นเดียวกับวิธีการในขั้นตอน 3.2.1 เพื่อนำเอาข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ต่อไป

ตาราง 3.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ที่มีผลต่อเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ	ระดับ	หมายเหตุ
ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด	- -	พิจารณาผลจากขั้นตอน 3.2.1
ความลาดเอียงของถังหมุน	3 ระดับ	0 3 และ 6 องศา
จำนวนรอบในการอบแห้ง	- -	พิจารณาผลจากขั้นตอน 3.2.1

3.2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่ผ่านการทดสอบการอบแห้งตามข้อ 3.2.2.1 แต่จะเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นเวลา 4 เดือน และทำการหาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อน ที่ 2 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน เพื่อหาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ไปเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยวิธีการเดิมของกลุ่มวิสาหกิจ ฯ โดยมีขั้นตอนในการตรวจสอบ เช่นเดียวกับวิธีการในขั้นตอน 3.1.1.2 เพื่อนำเอาข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.3 วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรดสำหรับเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ในหัวข้อ 3.2 เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้เครื่องของเกษตรกรและการรับจ้างหรือเพื่อการแนะนำส่งเสริมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยจะคิดเฉพาะราคาค่าจัดซื้อและสร้างไม่รวมราคาที่ดินโรงเรือนและอื่น ๆ

1) ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นเช่นเครื่องจักรเป็นต้น

2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) ต้นทุนในการดำเนินการคือค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไปเพื่อให้เกิดผลผลิต

3) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือ ค่าคงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาส

4) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา

3.3.1 วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

3.3.1.1 พลังงานไฟฟ้า

ในการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด จะคำนาณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหน่ายกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามสมการ 3.2 และนำค่าที่ได้จากสมการ 3.2 มาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ตามสมการ 3.3

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้

$$E_p = e_m T \qquad (3.2)$$

เมื่อ E_p = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง

e_m = ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

T = เวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)

พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

$$SEC_{electricity} = \frac{3.6E_p}{(M_i - M_f)w_d} \qquad (3.3)$$

เมื่อ $SEC_{electricity}$ = พลังงานไฟฟ้าจำเพาะในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

3.3.1.2 พลังงานความร้อน

ในการวัดปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีของระบบอบแห้งจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลชั่งน้ำหนักถังแก๊สก่อนและหลังการอบแห้งแล้วบันทึกค่า จากนั้นนำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณหาปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้ในหน่วยกิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามสมการ 3.4 จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการ 3.4 มาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ตามสมการ 3.5

ปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้

$$mg = \frac{\text{(ปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้ในการอบแห้ง)}}{\text{(เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง)}} \qquad (3.4)$$

พลังงานความร้อนจำเพาะ

$$SEC_{electricity} = \frac{m_{pHHv}}{(M_i - M_f)w_d} \quad (3.5)$$

เมื่อ $SEC_{electricity}$ = พลังงานความร้อนจำเพาะในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

HHV = ค่าความร้อนสูงของแก๊สแอลพีจีเท่ากับ 50.152 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

3.3.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

กำหนดให้

$A_c = (F_c/A) + (1/C_t)[R\&M + F + L_o]$ สมการที่ (3.6)

$F_c = D + I$ สมการที่ (3.7)

$D = (P - S)/N$ สมการที่ (3.8)

$I = [(P + S)/2](r/100)$ สมการที่ (3.9)

เมื่อ

D = ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)

I = ดอกเบี้ย (บาท/ปี)

P = ราคาซื้อ (บาท)

S = มูลค่าซาก (บาท)

N = อายุการใช้งาน (ปี)

r = อัตราดอกเบี้ย (เปอร์เซ็นต์/ปี)

A_c = ต้นทุนการใช้เครื่อง (บาท/ตัน)

F_c = ต้นทุนคงที่ (บาท/ปี)

A = จำนวนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่อบได้ใน 1 ปี (ตัน)

R&M = ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท/ปี)

F = ไฟฟ้า (บาท/ปี)

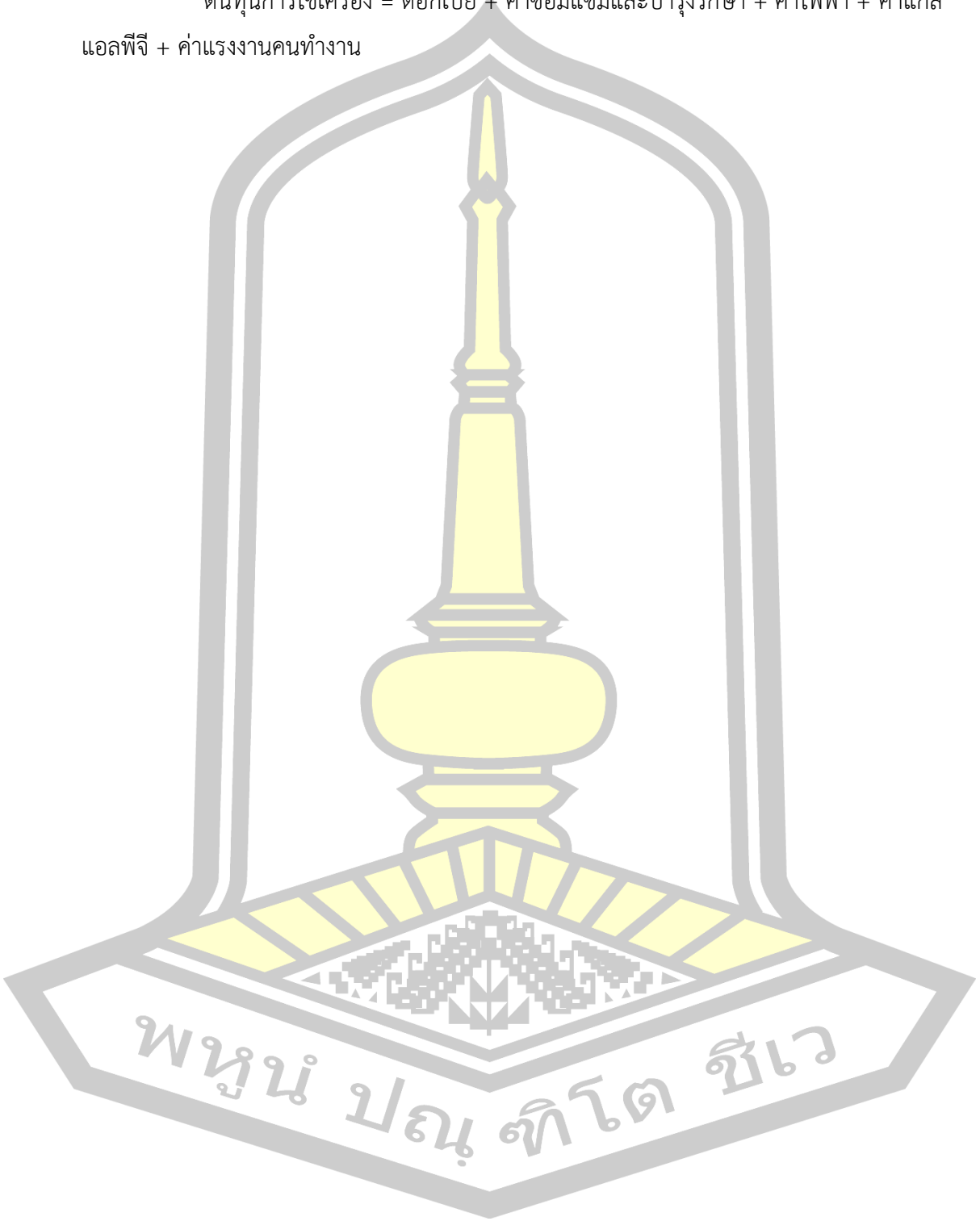
G = แก๊สแอลพีจี (บาท/ปี)

L_o = ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน (บาท/ปี)

C_t = ความสามารถในการทำงาน (ตัน/ปี)

การคำนวณค่าใช้จ่าย

ต้นทุนการใช้เครื่อง = ดอกเบี้ย + ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา + ค่าไฟฟ้า + ค่าแก๊สแอลพีจี + ค่าแรงงานคนทำงาน



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

การพัฒนากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีลำดับขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจนเพื่อที่จะสามารถดำเนินการให้เสร็จตามวัตถุประสงค์ได้ ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินการพัฒนากระบวนการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก มีรายละเอียดการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

4.3 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม

4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

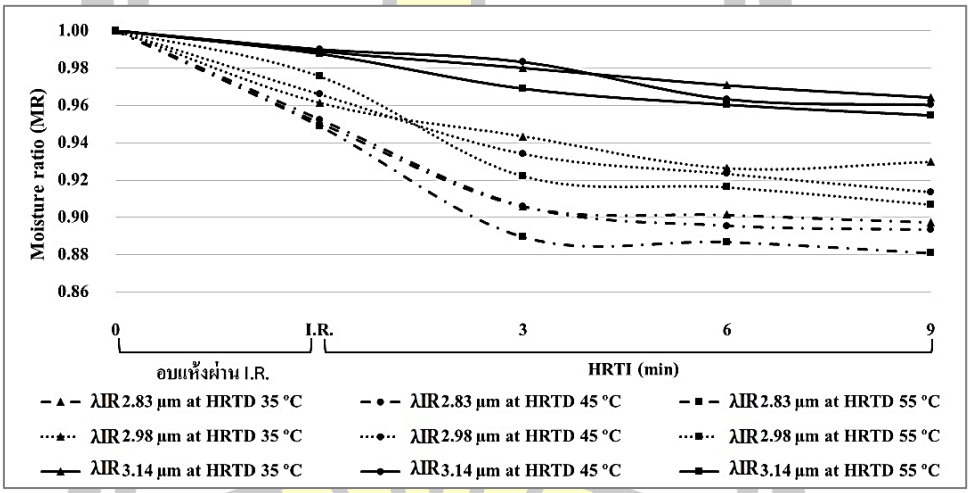
จากการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก โดยได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.1 ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

จากการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยมีปัจจัยในการทดสอบ คือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (λIR) 2.83 2.98 และ 3.14 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน (HRTD) 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน (HRTI) 3 6 และ 9 นาที จากการทดสอบมีค่าชี้ผลคือ ความชื้น อุณหภูมิ ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1.1 ผลของค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังจากผ่านการอบแห้ง ผลการทดสอบพบว่า การลดลงของระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว แสดงในภาพประกอบ 4.1 ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดต่ำ สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ดีกว่าความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดสูง ที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 3 6 และ 9 นาที สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด เนื่องจากที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 ไมโครเมตร จะมีอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวสูง หลังจากผ่านการอบแห้ง พบว่ามีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.8894 0.8868 และ 0.8808 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธุ์ (2556) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีอิทธิพลต่อการลดความชื้น เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นอัตราการอบแห้งก็จะเพิ่มขึ้น

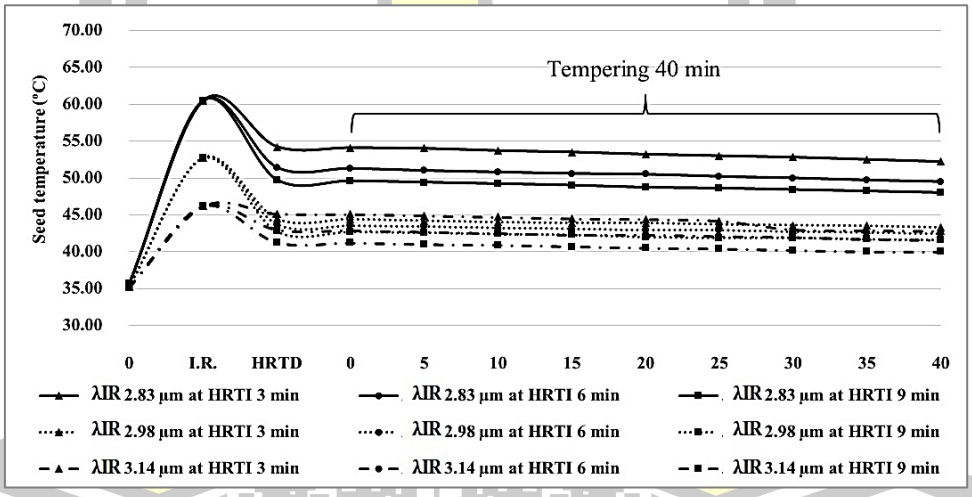


ภาพประกอบ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นหลังผ่านการอบแห้ง

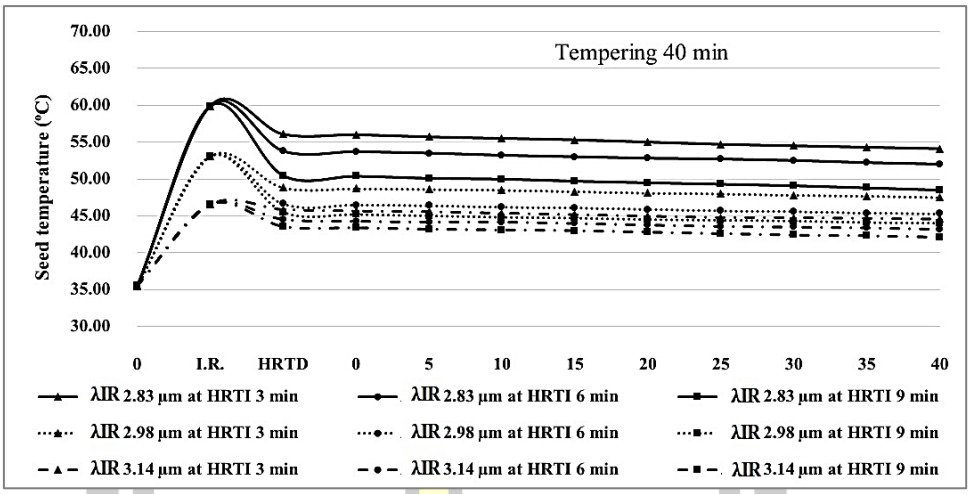
พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าว ดังแสดงในภาพประกอบ 4.2 4.3 และ 4.4 อุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ข้าวได้รับการถ่ายเทความร้อนที่สูง หลังจากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด มาอบแห้งต่อด้วยอุณหภูมิลมร้อน เมล็ดพันธุ์ข้าวจะได้รับความร้อนจากลมร้อนเพียงอย่างเดียว ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวจะสูญเสียความร้อนจากผลต่างของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนดังนั้นอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวค่อย ๆ ลดลงตามระยะเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวรับลมร้อน เพิ่มขึ้น และเมื่อนำเมล็ดพันธุ์ข้าวไปเทมเปอริงในกล่องอับอากาศเป็นเวลา 40 นาที อุณหภูมิเมล็ดพันธุ์มีการลดลงช้ากว่าช่วงอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากกล่องที่ใช้เทมเปอริงมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวสูญเสียความร้อนน้อยกว่าช่วงอบแห้งด้วยลมร้อน

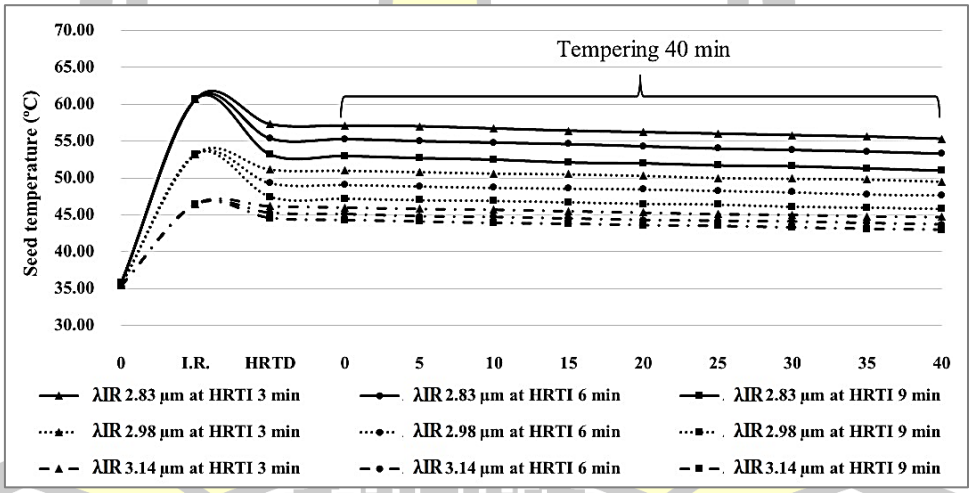
อย่างไรก็ตามการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดมีอิทธิพลต่อการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกได้ดี ในทุกระดับ



ภาพประกอบ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และการเทมเปอริง ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และการเทมเปอริง ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส

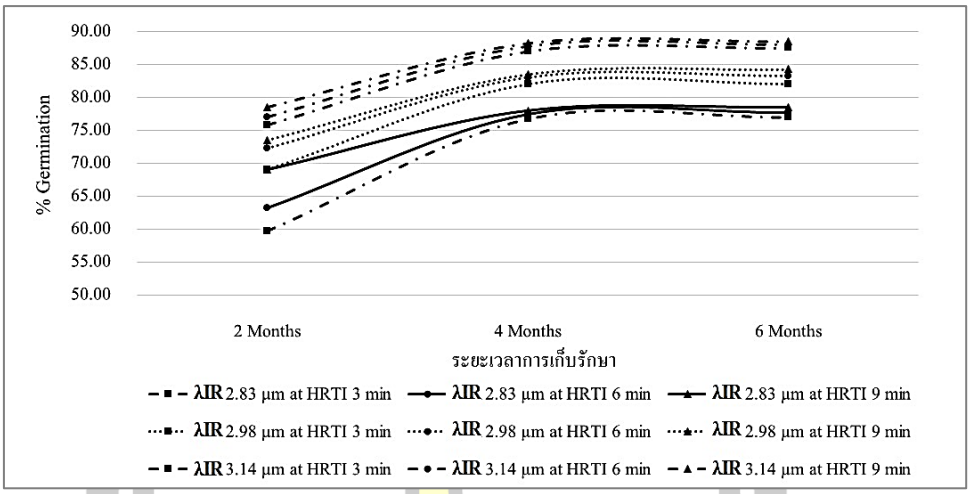


ภาพประกอบ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และการเทมเปอริง ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส

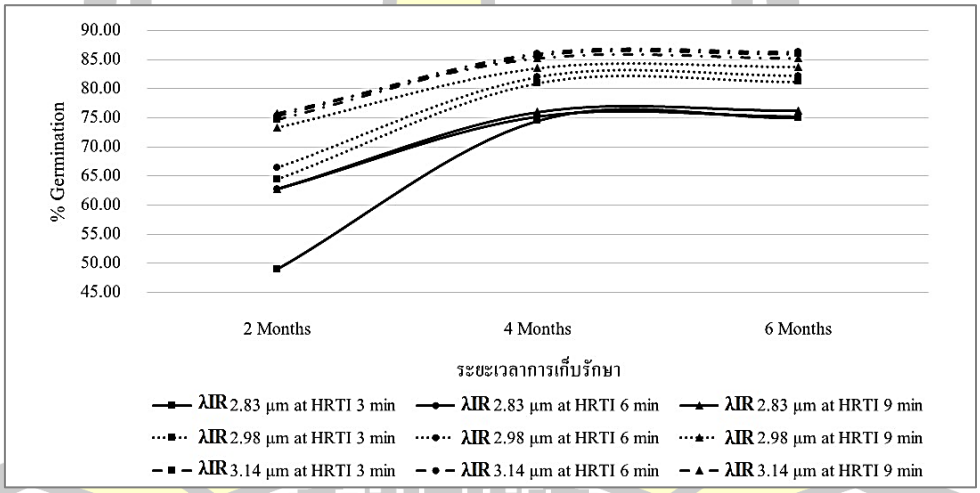
4.1.1.2. ผลการศึกษาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังการทดสอบในหัวข้อ 3.1.1.1 นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน และทำการตรวจสอบร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ ทุก ๆ 2 เดือน ผลการทดสอบแสดงในภาพประกอบ 4.5 4.6 และ 4.7 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตาราง 4.1 พบว่าระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดมีอิทธิพลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว เมื่อความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดลดลง ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติมีค่าลงลง เนื่องจากที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดระดับต่ำมีอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังการอบแห้งที่สูง ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเกิดการเสียหายจากความร้อนที่สูงเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Maluf *et al.* (2003) พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติที่ต่ำ เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน มีค่าเพิ่มขึ้น มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ ที่ใกล้เคียงกัน และไม่มีความแต่ต่างทางสถิติ แต่มีบางเงื่อนไขที่มีความแต่ต่างทางสถิติ จากการศึกษาพบว่า ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 9 นาที มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติสูงกว่าข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติที่ต่ำกว่า ระยะการเก็บรักษา 4 และ 6 เดือน เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ 2 เดือน เมล็ดพันธุ์ข้าวอยู่ในช่วงระยะการพักตัว ซึ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติสูงที่สุด ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน คือ 88.50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติเพียง 83.75 เปอร์เซ็นต์

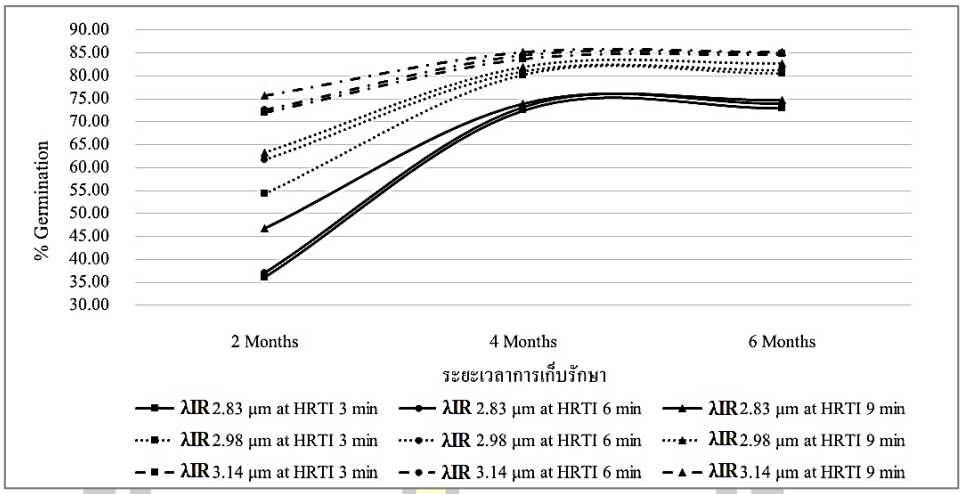
พหุน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส

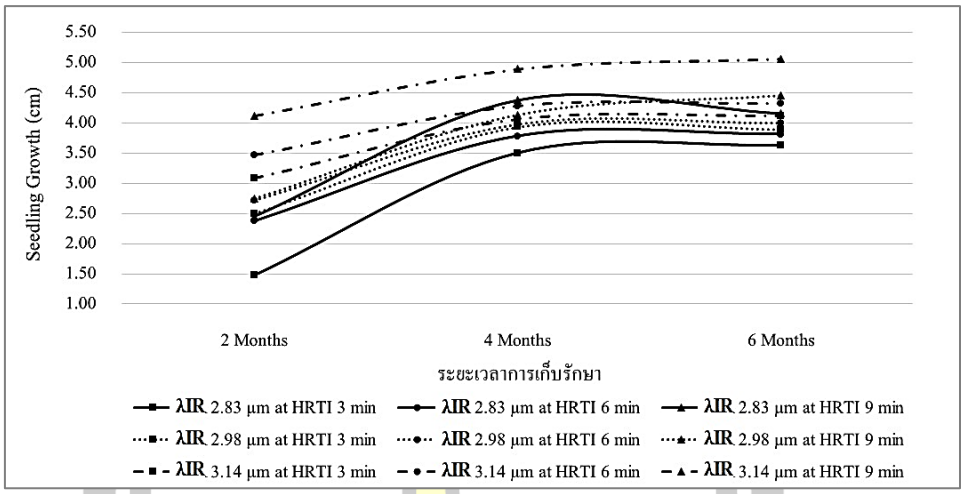


ภาพประกอบ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส

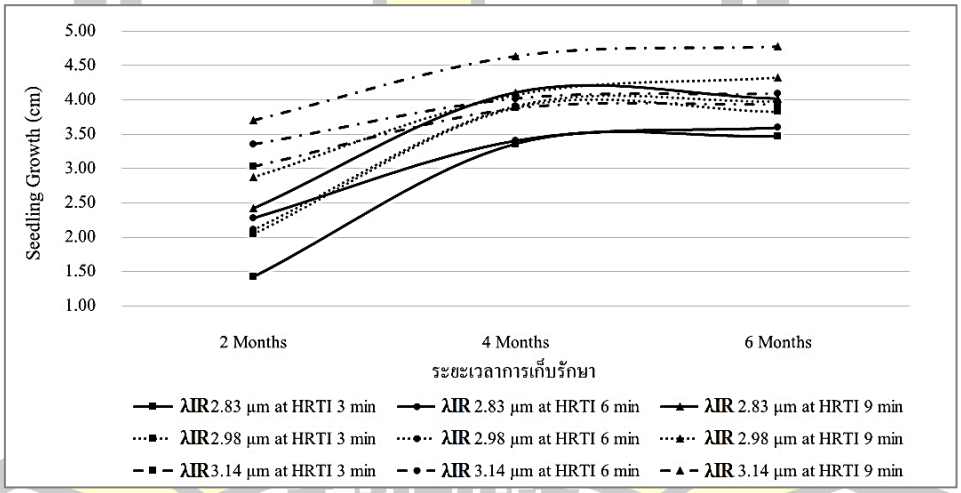


ภาพประกอบ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส

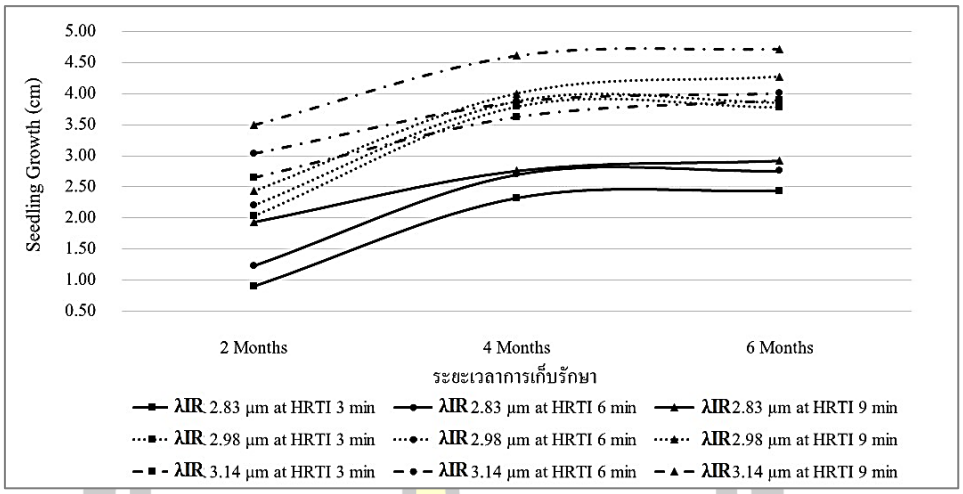
ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ดังแสดงในภาพประกอบ 4.8 4.9 และ 4.10 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตาราง 4.1 ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 9 นาที พบว่าเมล็ดพันธุ์ข้าว มีการเจริญเติบโตต้นอ่อนสูงกว่าข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน มีเจริญเติบโตต้นอ่อนที่ต่ำกว่า ระยะการเก็บรักษา 4 และ 6 เดือน เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ 2 เดือน เมล็ดพันธุ์อยู่ในช่วงระยะการพักตัว ซึ่งเมล็ดพันธุ์มีการเจริญเติบโตต้นอ่อนสูงที่สุด ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน คือ 5.06 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงมีการเจริญเติบโตต้นอ่อนเพียง 4.08 เซนติเมตร และมีความแตกต่างทางสถิติ เมล็ดพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตต้นอ่อนที่สูง แสดงว่าเมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงที่สูง และมีความสัมพันธ์กับร้อยละการงอก เมื่อเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกมีร้อยละการงอกที่สูง การเจริญเติบโตต้นอ่อนก็จะสูงขึ้นตามด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุราเชตรี (2552) ความยาวยอดมีความสัมพันธ์สูงกับร้อยละการงอก และใช้เป็นวิธีทดสอบความแข็งแรงในเมล็ดพันธุ์ข้าวได้



ภาพประกอบ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส

ตาราง 4.1 ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

λIR (μm)	HRTD (°C)	HRTI (min)	% Germination			Seedling Growth (cm)		
			2 MAS	4 MAS	6 MAS	2 MAS	4 MAS	6 MAS
ข้าวอ้างอิง (วิธีตากแดด)			76.50^{ab}	83.50^{fg}	83.75^{hij}	2.83^{cdefg}	4.11^{abcd}	4.08^{defgh}
2.83	35	3	59.75^{gh}	76.75^{kl}	77.00^{op}	1.48^{ijkl}	3.50^{cde}	3.63^{jkl}
		6	63.25^{efg}	77.50^{k}	77.75^{no}	2.38^{efgh}	3.78^{bcd}	3.81^{ijk}
		9	69.00^{cde}	78.00^{k}	78.50^{n}	2.45^{efgh}	4.38^{abc}	4.16^{def}
	45	3	49.00^{ij}	74.50^{no}	75.00^{qr}	1.43^{jkl}	3.36^{de}	3.47^{l}
		6	62.75^{fg}	75.25^{mn}	75.25^{qr}	2.28^{efghi}	3.41^{de}	3.60^{kl}
		9	62.75^{fg}	76.00^{lm}	76.25^{pq}	2.42^{efgh}	4.11^{abcd}	4.02^{efghi}
	55	3	36.00^{k}	72.50^{p}	73.00^{s}	1.94^{hijk}	2.76^{ef}	2.92^{m}
		6	37.00^{k}	73.25^{op}	74.00^{rs}	1.23^{kl}	2.70^{ef}	2.76^{m}
		9	46.75^{j}	74.00^{no}	74.75^{r}	0.90^{l}	2.32^{f}	2.44^{n}

ตาราง 4.1 ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

λIR	HRTD	HRTI	% Germination			Seedling Growth (cm)		
(µm)	(°C)	(min)	2 MAS	4 MAS	6 MAS	2 MAS	4 MAS	6 MAS
ข้าวอ้างอิง (วิธีตากแดด)			76.50^{ab}	83.50^{fg}	83.75^{hij}	2.83^{cdefg}	4.11^{abcd}	4.08^{defghi}
2.98	35	3	69.00^{cde}	82.00^{hi}	82.00^{kl}	2.49^{efgh}	3.93^{bcd}	3.89^{ghij}
		6	72.25^{bcd}	83.00^{gh}	83.25^{ijk}	2.72^{cdefgh}	3.98^{abcd}	4.00^{fghi}
		9	73.50^{abc}	83.50^{fg}	84.25^{ghi}	2.75^{cdefgh}	4.13^{abcd}	4.45^{c}
	45	3	64.50^{efg}	81.00^{ij}	81.25^{lm}	2.04^{hijk}	3.89^{bcd}	3.83^{hijk}
		6	66.50^{def}	82.00^{hi}	82.25^{kl}	2.11^{ghij}	3.91^{bcd}	3.98^{fghi}
		9	73.25^{abc}	83.50^{fg}	83.75^{hij}	2.88^{bcdefg}	4.07^{abcd}	4.32^{cd}
	55	3	54.25^{ht}	82.00^{hi}	80.50^{m}	2.43^{efgh}	4.00^{abcd}	4.27^{cde}
		6	61.75^{fg}	81.00^{ij}	81.25^{lm}	2.21^{fghij}	3.88^{bcd}	3.86^{ghijk}
		9	63.25^{efg}	80.25^{j}	82.75^{jk}	2.03^{hijk}	3.79^{bcd}	3.78^{ijk}
3.14	35	3	75.75^{ab}	87.00^{abc}	87.50^{abc}	3.08^{bcde}	4.06^{abcd}	4.12^{defg}
		6	77.00^{ab}	87.75^{ab}	88.00^{ab}	3.46^{abcd}	4.28^{abcd}	4.32^{cd}
		9	78.50^{a}	88.25^{a}	88.50^{a}	4.12^{a}	4.89^{a}	5.06^{a}
	45	3	74.75^{abc}	85.75^{cde}	86.00^{def}	3.03^{bcdef}	3.88^{bcd}	3.94^{fghi}
		6	75.25^{ab}	86.00^{cd}	86.25^{cde}	3.35^{abcd}	4.02^{abcd}	4.09^{defgh}
		9	78.00^{ab}	86.75^{bc}	87.00^{bcd}	3.70^{ab}	4.64^{ab}	4.78^{b}
	55	3	72.00^{bcd}	83.75^{fg}	84.75^{fgh}	3.49^{abc}	4.61^{ab}	4.72^{b}
		6	72.50^{abcd}	84.50^{ef}	85.00^{efgh}	3.04^{bcdee}	3.87^{bcd}	4.01^{efghi}
		9	75.75^{ab}	85.25^{de}	85.25^{efg}	2.65^{defgh}	3.62^{cde}	3.89^{ghij}
F-test			*	*	*	*	*	*
CV (%)			6.63	1.10	1.24	23.60	17.47	4.75

* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ

MAS = จำนวนเดือนหลังเก็บรักษา

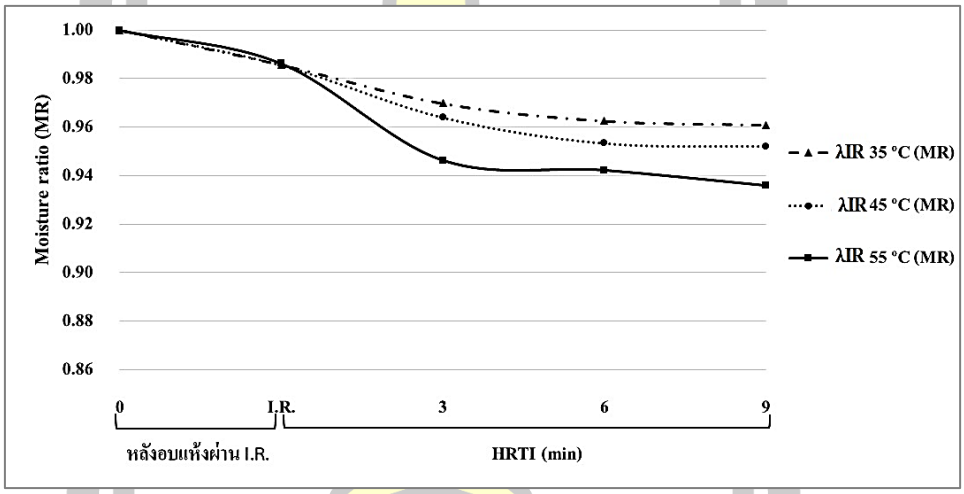
4.1.2. ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

จากการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ใน ข้อ 3.1.1 ซึ่งมีผลการทดสอบที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว มาทดสอบอบแห้งกับเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 โดยมีปัจจัยที่ใช้ทดสอบคือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (λIR) 3.14 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน (HRTD) 35 45

และ 55 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน (HRTI) 3 6 และ 9 นาที ที่ทำให้ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์ข้าวสูงที่สุด

4.1.2.1. ผลของค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

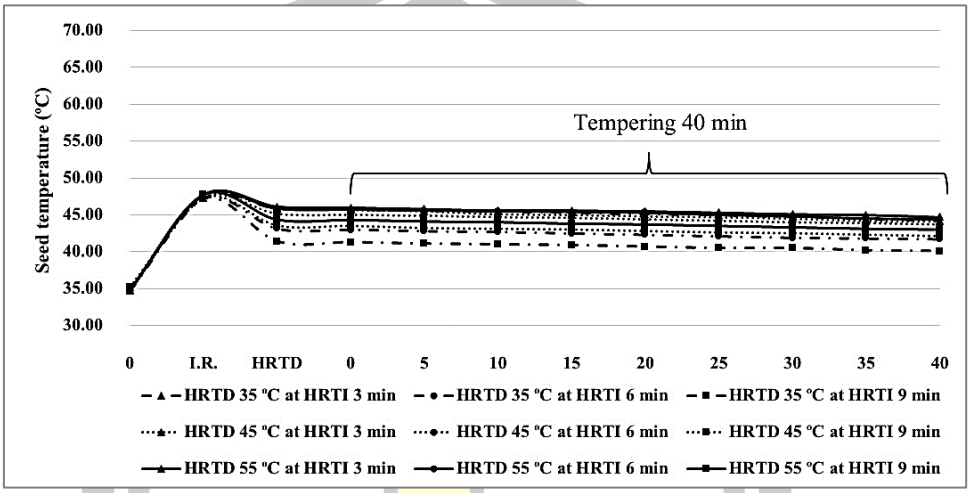
ผลของค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 3 6 และ 9 นาที แสดงในภาพประกอบ 4.11 ผลการทดสอบพบว่า ที่อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 3 6 และ 9 นาที สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด เนื่องจากจะมีอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวสูง หลังผ่านการอบแห้งพบว่ามีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.9463 0.9422 และ 0.9359 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อนและอุณหภูมิลมร้อนที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าว ดังแสดงในภาพประกอบ 4.12 อุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด หลังจากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมาอบแห้งต่อด้วยอุณหภูมิลมร้อน ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวสูญเสียความร้อนจากผลต่างของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนดังนั้นอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวค่อย ๆ ลดลงตามระยะเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวรับลมร้อนเพิ่มขึ้น และเมื่อนำเมล็ดพันธุ์ข้าวไปเทม

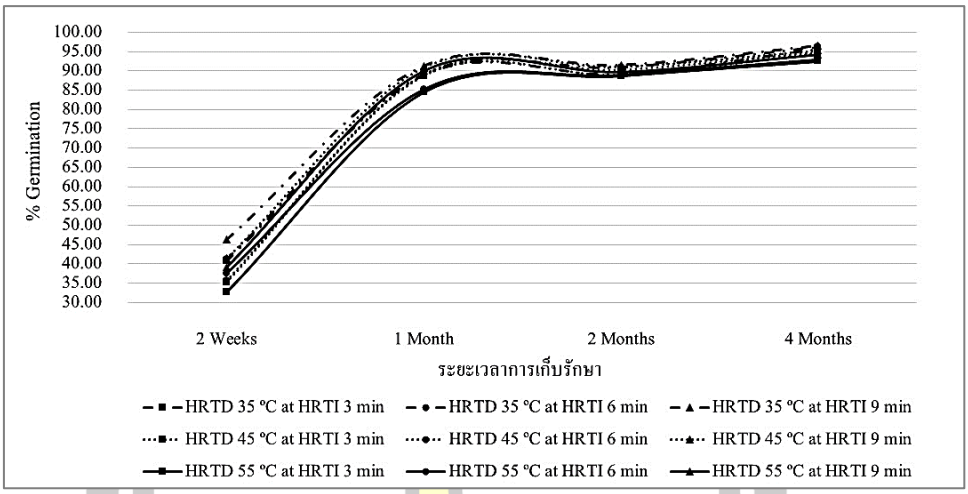
เปอริงในกล่องอับอากาศที่เป็นฉนวนกันความร้อน เป็นเวลา 40 นาที อุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวมีการลดลงช้ากว่าช่วงอบแห้งด้วยลมร้อน



ภาพประกอบ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

4.1.2.2. ผลการศึกษาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังการทดสอบ นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 เดือน และทำการตรวจสอบร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติที่ 2 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน ผลการทดสอบแสดงในภาพประกอบ 4.13 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตาราง 4.2 จากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 9 นาที มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติสูงที่สุด และสูงกว่าข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติที่ต่ำกว่า ระยะการเก็บรักษา 1 2 และ 4 เดือน เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ 2 สัปดาห์ เมล็ดพันธุ์อยู่ในช่วงระยะการพักตัว ซึ่งเมล็ดพันธุ์มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติสูงที่สุด ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน คือ 96.50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ 93.50 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

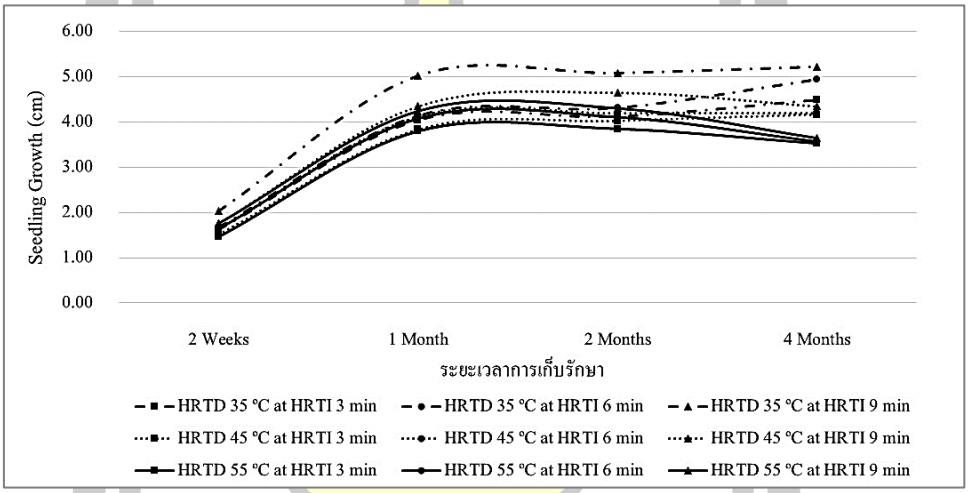
ตาราง 4.2 ผลของร้อยละการการงอกต้นอ่อนปกติ ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

λIR (µm)	HRTD (°C)	HRTI (min)	% Germination			
			2 WAS	1 MAS	2 MAS	4 MAS
ข้าวอ้างอิง (วิธีตากแดด)			37.00^{bc}	68.50^{d}	83.50^{d}	93.50^{bcd}
3.14	35	3	40.75^{abc}	89.00^{abc}	89.25^{c}	95.75^{ab}
		6	41.25^{abc}	89.25^{abc}	91.00^{ab}	96.25^{a}
		9	46.25^{a}	91.25^{a}	91.50^{a}	96.50^{a}
	45	3	35.25^{bc}	88.75^{abc}	89.00^{c}	94.50^{abcd}
		6	35.75^{bc}	89.00^{abc}	90.25^{abc}	94.75^{abcd}
		9	41.50^{ab}	90.75^{a}	91.00^{ab}	95.25^{abc}
	55	3	32.75^{c}	84.50^{c}	88.75^{c}	92.50^{d}
		6	37.50^{bc}	85.25^{bc}	89.00^{c}	93.00^{cd}
		9	39.25^{abc}	90.00^{ab}	89.75^{bc}	94.25^{abcd}
F-test			*	*	*	*
CV (%)			15.87	2.51	1.19	1.68

* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ

WAS = จำนวนสัปดาห์หลังเก็บรักษา, MAS = จำนวนเดือนหลังเก็บรักษา

ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ดังแสดงในภาพประกอบ 4.14 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตาราง 4.3 จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 9 นาที เมล็ดพันธุ์ข้าวมีการเจริญเติบโตต้นอ่อนสูงที่สุดและสูงกว่าข้าวอ้างอิง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ มีเจริญเติบโตต้นอ่อนที่ต่ำกว่าระยะการเก็บรักษา 1 2 และ 4 เดือน เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ 2 สัปดาห์ เมล็ดพันธุ์ข้าวอยู่ในช่วงระยะการพักตัว ซึ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวมีการเจริญเติบโตต้นอ่อนสูงที่สุด ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน คือ 5.21 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงมีการเจริญเติบโตต้นอ่อนเพียง 4.11 เซนติเมตร และมีความแตกต่างทางสถิติ



ภาพประกอบ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน อุณหภูมิลมร้อน และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4.3 ผลของการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

λIR (μm)	HRTD (°C)	HRTI (min)	Seedling Growth (cm)			
			2 WAS	1 MAS	2 MAS	4 MAS
ข้าวอ้างอิง (วิธีตากแดด)			0.83^{b}	2.00^{c}	4.23^{c}	4.11^{cd}
3.14	35	3	1.61^{a}	4.04^{b}	4.12^{cd}	4.49^{cd}
		6	1.67^{a}	4.13^{b}	4.30^{c}	4.93^{c}
		9	2.03^{a}	5.01^{a}	5.07^{a}	5.21^{a}
	45	3	1.52^{ab}	3.83^{b}	4.02^{de}	4.16^{de}
		6	1.63^{a}	4.12^{b}	4.19^{cd}	4.19^{cd}
		9	1.76^{a}	4.34^{ab}	4.64^{b}	4.34^{b}
	55	3	1.46^{ab}	3.79^{b}	3.84^{e}	3.52^{e}
		6	1.63^{a}	4.07^{b}	4.10^{cd}	3.56^{cd}
		9	1.75^{a}	4.24^{b}	4.30^{c}	3.64^{c}
F-test			*	*	*	*
CV (%)			30.99	12.02	3.53	3.52

* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ

WAS = จำนวนสัปดาห์หลังเก็บรักษา, MAS = จำนวนเดือนหลังเก็บรักษา

4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

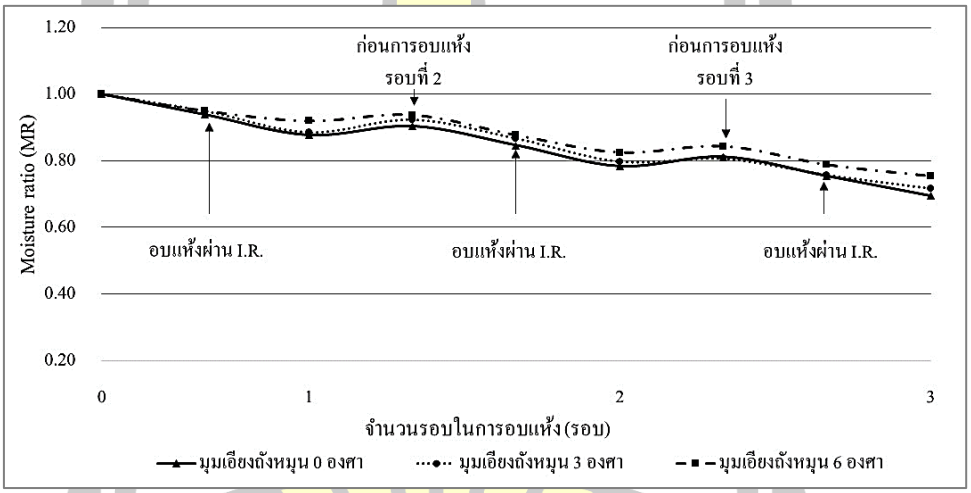
จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด โดยได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.2 ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด (ข้าวนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105)

จากการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยมีปัจจัยในการทดสอบ คือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (λIR) 2.83 และ 3.14 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 0 3 และ 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 2 และ 3 รอบ โดยได้สุ่มวัดค่าความชื้น และอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว ในตำแหน่งของการวัดข้อมูล 1 2 และ 3 ซึ่งได้อธิบายไว้ในข้อ 3.3.1 จากการทดสอบมีค่าชี้ผลคือ ความชื้น อุณหภูมิ ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

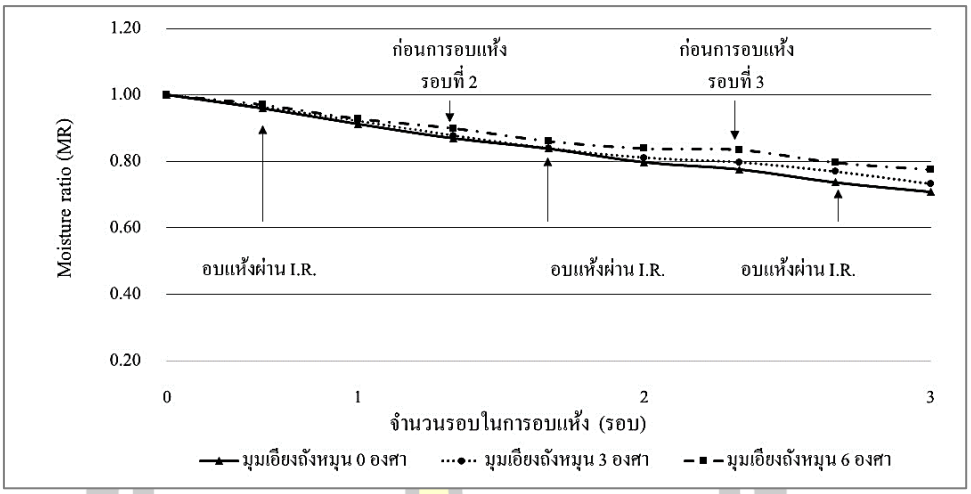
4.2.1.1 ผลของค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ผลของค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด พบว่าการลดลงของระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว แสดงในภาพประกอบ 4.15 และ 4.16 ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดต่ำ สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ดีกว่าความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดสูง ที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 ไมโครเมตร จำนวนรอบในการอบแห้ง 3 รอบ และความลาดเอียงของถังหมุน 0 3 และ 6 องศา สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด เนื่องจากที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 ไมโครเมตร จะมีอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวที่สูง หลังจากผ่านการอบแห้งพบว่า มีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.6937 0.7167 และ 0.7536 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธุ์ (2556) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีอิทธิพลต่อการลดความชื้น เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นอัตราการอบแห้งก็จะเพิ่มขึ้น



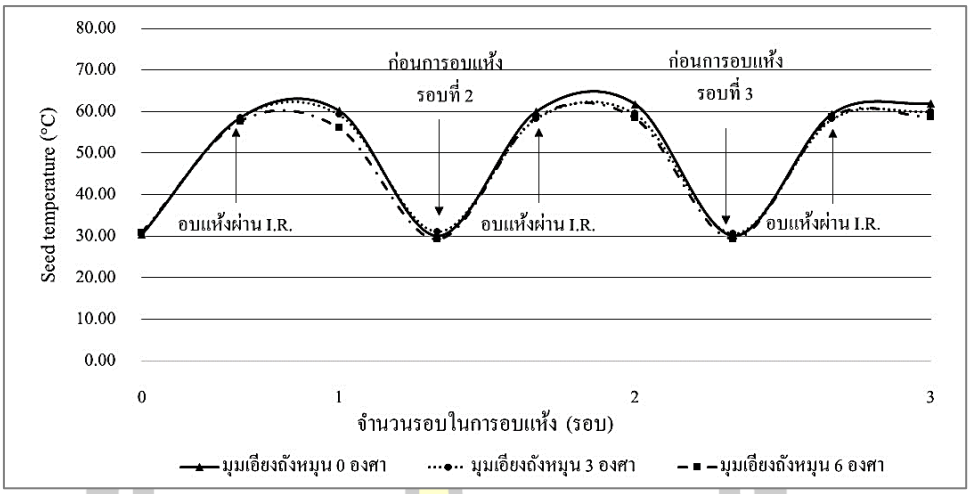
ภาพประกอบ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการอบแห้ง และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 ไมโครเมตร

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

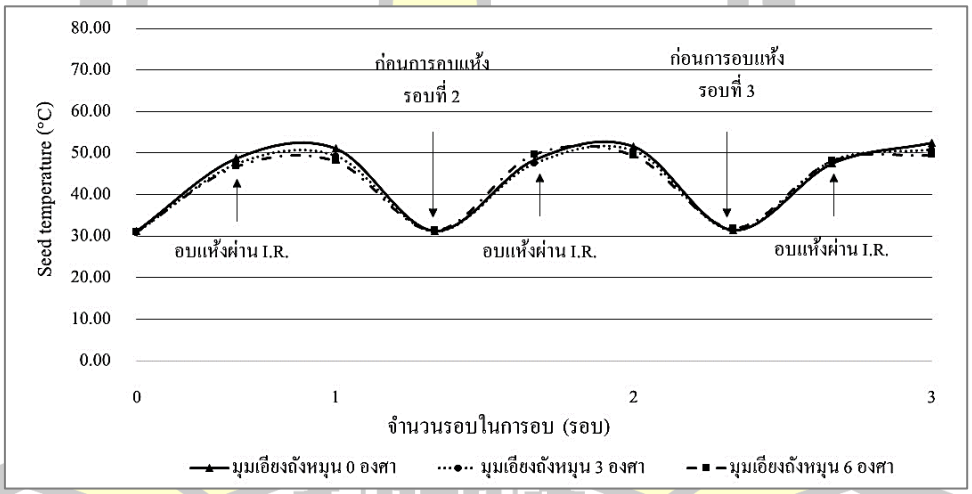


ภาพประกอบ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการอบแห้ง และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าว แสดงในภาพประกอบ 4.17 และ 4.18 พบว่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดลดลง และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ข้าวได้รับการถ่ายเทความร้อนที่สูง ทั้งจากการแผ่รังสีอินฟราเรดของหัวเผาอินฟราเรด และการนำความร้อนจากการสัมผัสผิวถังอบแห้ง เมื่อเมล็ดพันธุ์ข้าวผ่านการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด จะถูกลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ได้จากลมร้อนปล่อยทิ้งของกระบวนการเผาไหม้หลอดอินฟราเรดทำให้อุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวสูงขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความลาดเอียงของถังหมุนเพิ่มขึ้น และหลังจากอบแห้งครบ 1 รอบ นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมากลองพักไว้ในที่ร่มอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวจะลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เมื่อทำการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวในรอบที่ 2 และ 3 ก็จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเช่นเดียวกับกับการอบแห้ง 1 รอบ



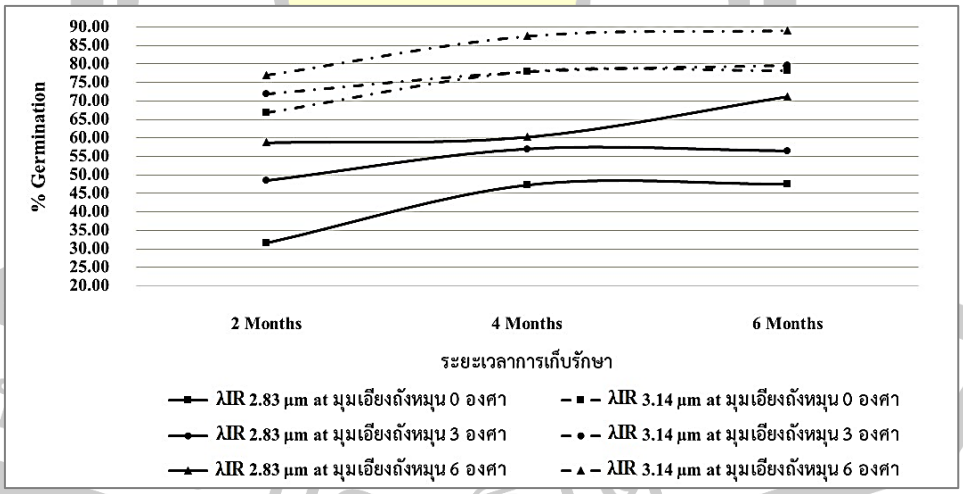
ภาพประกอบ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการอบแห้ง และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 ไมโครเมตร



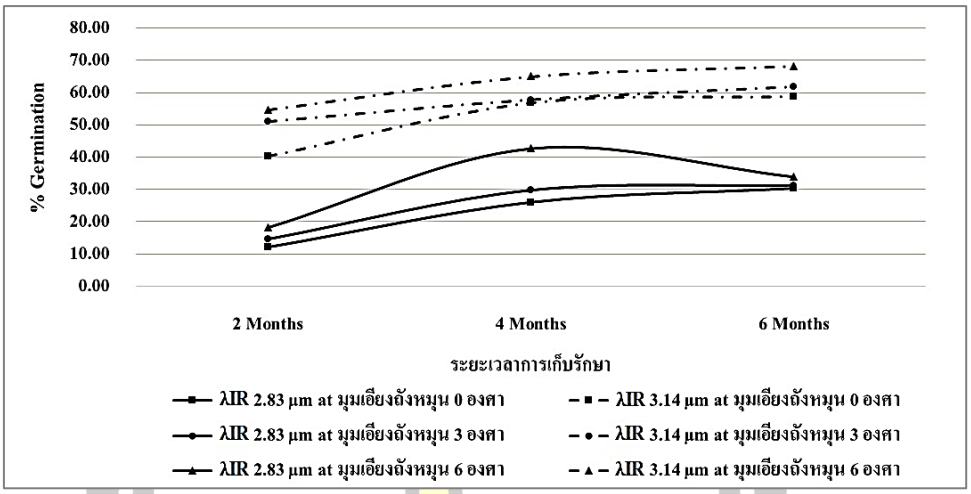
ภาพประกอบ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการอบแห้ง และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

4.2.1.2 ผลการศึกษาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

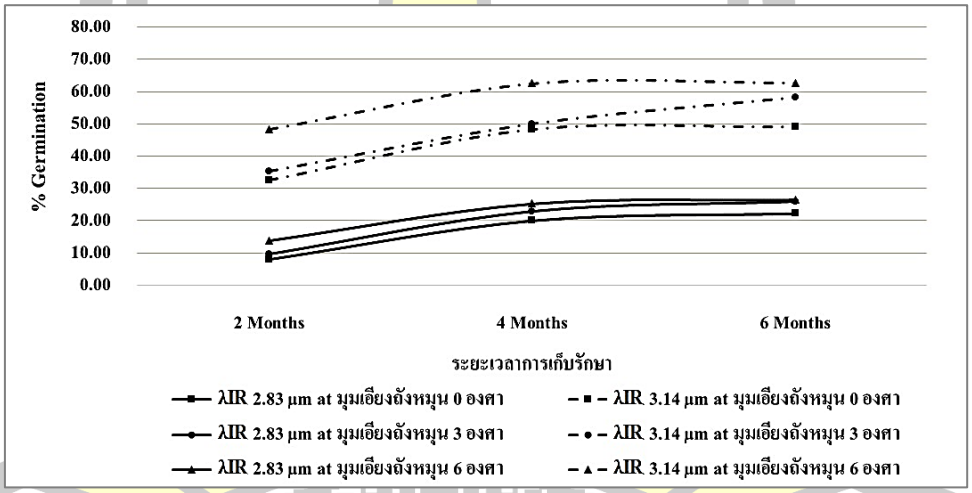
ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังการทดสอบในหัวข้อ 3.2.1 นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน และทำการตรวจสอบร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ ทุก ๆ 2 เดือน ผลการทดสอบแสดงในภาพประกอบ 4.19 4.20 และ 4.21 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตาราง 4.4 พบว่าระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด มีอิทธิพลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว เมื่อความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดลดลง ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติมีค่าลงลง เนื่องจากที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดระดับต่ำมีอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังการอบแห้งที่สูง ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเกิดการเสียหายจากความร้อนที่สูงเกินไป เมื่อจำนวนรอบในการอบแห้งเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติลดลงอย่างจัดเจน เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ข้าวได้รับความร้อนจากกระบวนการอบแห้งทำให้เมล็ดพันธุ์เกิดความเสียหายจากความร้อนที่สูง มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Maluf *et al.* (2003) พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติที่ต่ำ และเมื่อความลาดเอียงของถังหมุนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ร้อยละการงอกเพิ่มขึ้น และที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 รอบ มีร้อยละการงอกสูงที่สุด เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 และ 4 เดือน มีร้อยละการงอกต่ำกว่าข้าวอ้างอิง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 6 เดือน จะเห็นได้ว่าร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติใกล้เคียงกับข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



ภาพประกอบ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ



ภาพประกอบ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 2 รอบ



ภาพประกอบ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 3 รอบ

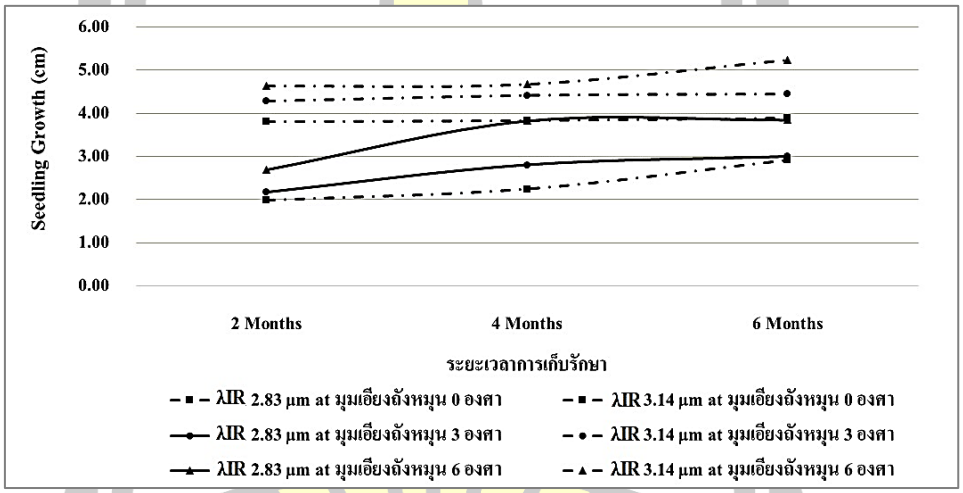
ตาราง 4.4 ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

λIR (μm)	มุมเอียงถังอบ (องศา)	จำนวนรอบในการอบ (รอบ)	% Germination		
			2 MAS	4 MAS	6 MAS
ข้าวอ้างอิง (วิธีการตากแดด)			89.25^{a}	88.75^{a}	89.00^{a}
2.83	0	1	31.50^{g}	47.25^{ef}	47.50^{f}
		2	12.25^{hi}	26.00^{g}	30.25^{gh}
		3	8.00^{i}	20.00^{g}	22.25^{i}
	3	1	48.50^{e}	57.00^{cde}	56.50^{e}
		2	14.50^{hi}	29.75^{g}	31.25^{gh}
		3	9.75^{i}	23.00^{g}	26.00^{hi}
	6	1	58.75^{d}	60.25^{c}	71.25^{c}
		2	18.25^{h}	42.75^{f}	34.00^{g}
		3	13.75^{hi}	25.25^{g}	26.50^{hi}
3.14	0	1	66.75^{c}	78.00^{b}	78.25^{b}
		2	40.25^{f}	56.75^{cde}	58.75^{e}
		3	32.50^{g}	48.25^{def}	49.00^{f}
	3	1	72.00^{bc}	78.00^{b}	79.75^{b}
		2	51.00^{e}	57.75^{cd}	61.75^{de}
		3	35.25^{fg}	50.00^{def}	58.25^{e}
	6	1	77.00^{b}	87.50^{ab}	89.00^{a}
		2	54.75^{de}	65.00^{c}	68.25^{cd}
		3	48.25^{e}	62.50^{c}	62.75^{de}
F-test			*	*	*
CV (%)			12.12	14.44	8.93

* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ, MAS = จำนวนเดือนหลังเก็บรักษา

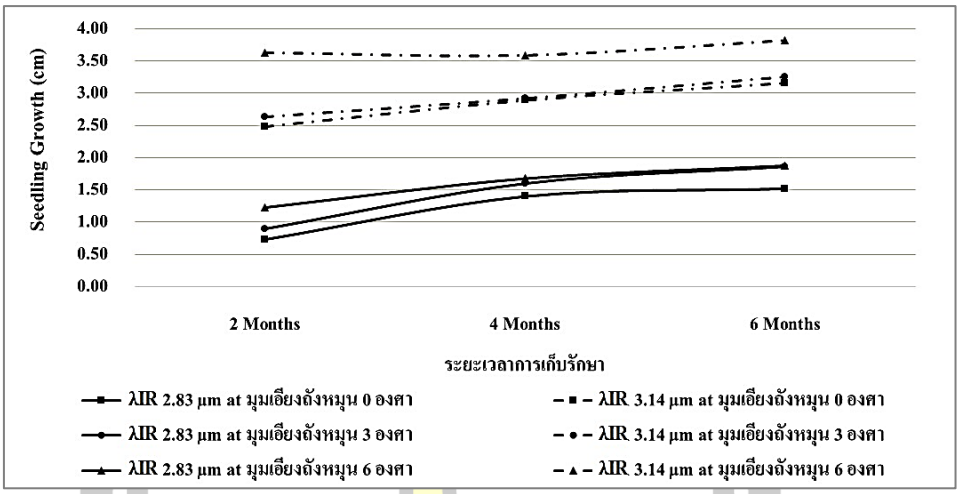
พหุน ปณฺ ฑิโต ชิเร

ผลของการเจริญเติบโตของต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว แสดงในภาพประกอบ 4.22 4.23 และ 4.24 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตาราง 4.5 พบว่าที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 รอบ ระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 และ 4 เดือน มีการการเจริญเติบโตของต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ต่ำกว่าข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด และมีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 6 เดือน เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการอบแห้งมีการเจริญเติบโตของต้นอ่อน สูงกว่าข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมล็ดพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตของต้นอ่อนที่สูง แสดงว่าเมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงที่สูง และมีความสัมพันธ์กับร้อยละการงอก เมื่อเมล็ดพันธุ์ข้าวมีร้อยละการงอกที่สูง การเจริญเติบโตของต้นอ่อนก็จะสูงขึ้นตามด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุราจ เชตรี (2552) ความยาวยอดมีความสัมพันธ์สูงกับร้อยละการงอก และใช้เป็นวิธีทดสอบความแข็งแรงในเมล็ดพันธุ์ข้าวได้

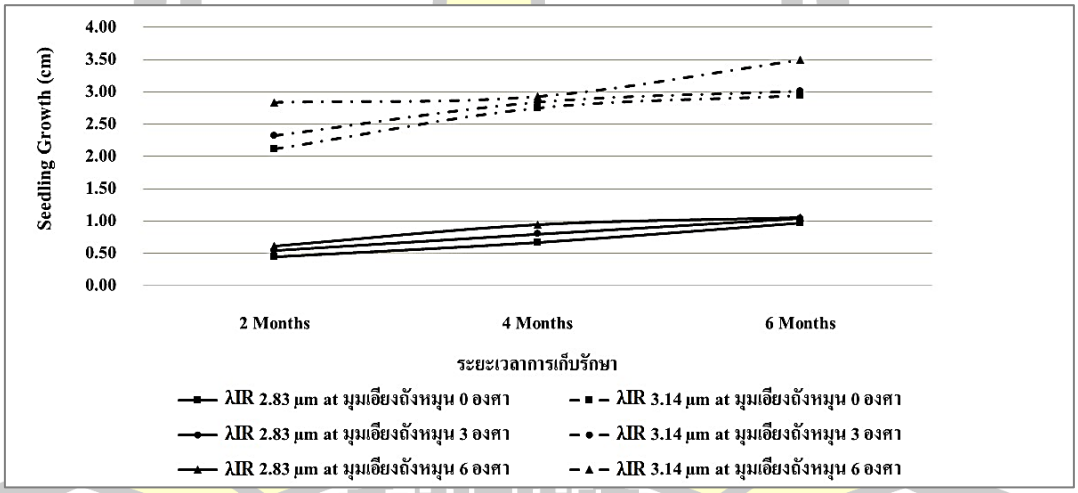


ภาพประกอบ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 2 รอบ



ภาพประกอบ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุนและระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 3 รอบ

ตาราง 4.5 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

λIR (μm)	ความลาดเอียงของถังหมุน (องศา)	จำนวนรอบในการอบแห้ง (รอบ)	Seedling Growth (cm)		
			2 MAS	4 MAS	6 MAS
ข้าวอ้างอิง (วิธีการตากแดด)			5.00^{a}	5.15^{a}	5.13^{ab}
2.83	0	1	1.98^{ef}	2.24^{fg}	2.91^{e}
		2	0.73^{g}	1.40^{hi}	1.52^{fg}
		3	0.45^{g}	0.67^{i}	0.97^{g}
	3	1	2.17^{ef}	2.80^{f}	2.99^{e}
		2	0.90^{g}	1.60^{gh}	1.86^{f}
		3	0.55^{g}	0.80^{i}	1.04^{g}
	6	1	2.69^{de}	3.82^{cd}	3.84^{cd}
		2	1.23f^{g}	1.68^{gh}	1.88^{f}
		3	0.61^{g}	0.95^{hi}	1.06^{g}
3.14	0	1	3.80^{bc}	3.83^{cd}	3.90^{cd}
		2	2.48^{e}	2.89^{ef}	3.16^{de}
		3	2.12^{ef}	2.75^{f}	2.94^{e}
	3	1	4.28^{abc}	4.41^{bc}	4.44^{bc}
		2	2.63^{e}	2.92^{ef}	3.26^{de}
		3	2.33^{e}	2.84^{f}	3.01^{e}
	6	1	4.64^{ab}	4.68^{ab}	5.24^{a}
		2	3.63^{cd}	3.59^{de}	3.82^{cd}
		3	2.84^{de}	2.93^{ef}	3.50^{de}
F-test			*	*	*
CV (%)			30.69	19.29	19.68

* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ, MAS = จำนวนเดือนหลังเก็บรักษา

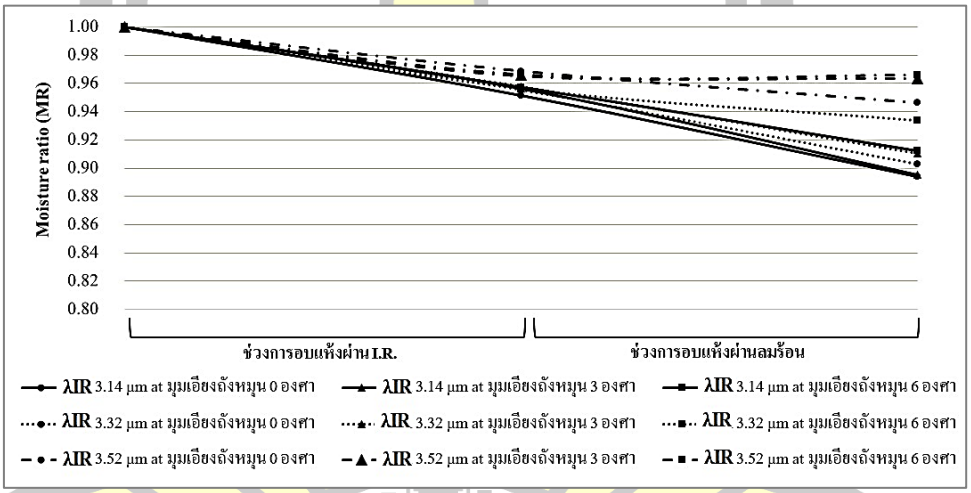
4.2.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด (ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49)

ในหัวข้อนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด โดยนำปัจจัยที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ได้จากการศึกษาใน ข้อ 3.2.1 มาทดสอบอบแห้งกับเมล็ดพันธุ์ข้าวนาปรังพันธุ์ กข 49 โดยมีการศึกษาความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (λIR) ที่สูงขึ้น เนื่องจากที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.83 และ 3.14

ไมโครเมตร และจำนวนรอบในการอบแห้ง 2 และ 3 รอบ มีผลทำให้ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ต่ำ ดังนั้นจึงได้ศึกษาปัจจัยที่ใช้ทดสอบ คือ ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 3.32 และ 3.52 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 0 3 และ 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 รอบ

4.2.2.1 ผลของค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

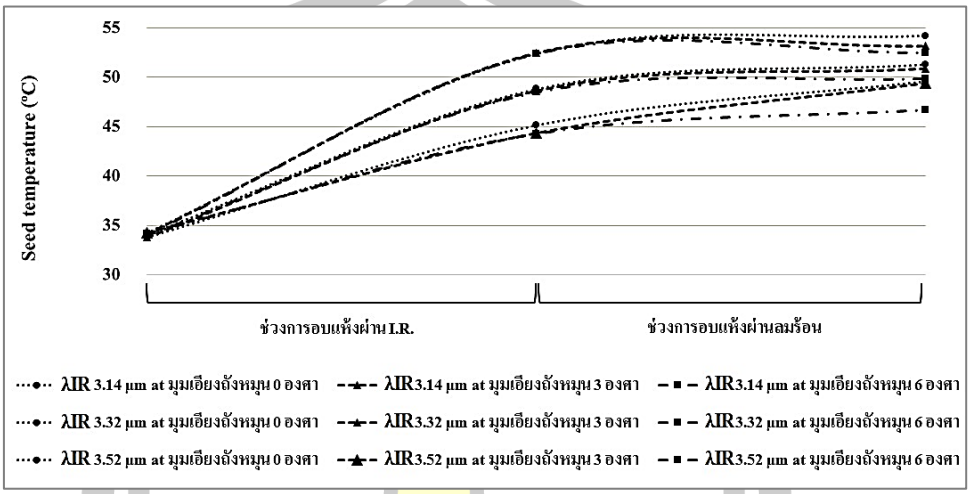
ผลของค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ผลการทดสอบพบว่า การลดลงของระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว แสดงในภาพประกอบ 4.25 ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดต่ำ สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ดีกว่าความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดสูง ที่ระดับความยาวคลื่น 3.14 ไมโครเมตร และความลาดเอียงของถังหมุน 0 องศา สามารถลดความชื้นได้มากที่สุดหลังการอบแห้ง พบว่ามีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.8944



ภาพประกอบ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออัตราส่วนความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์ข้าว แสดงในภาพประกอบ 4.26 พบว่าอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดลดลง และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ข้าวได้รับการถ่ายเทความร้อนที่สูง ทั้งจากการแผ่รังสีอินฟราเรดของหัวเผาอินฟราเรด การนำความร้อนจากการสัมผัสผิวถังอบแห้ง และการพา

ความร้อนจากลมร้อนปล่อยทิ้งที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ของหลอดอินฟราเรด และอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว มีแนวโน้มลดลงเมื่อความลาดเอียงของถังหมุนเพิ่มขึ้น

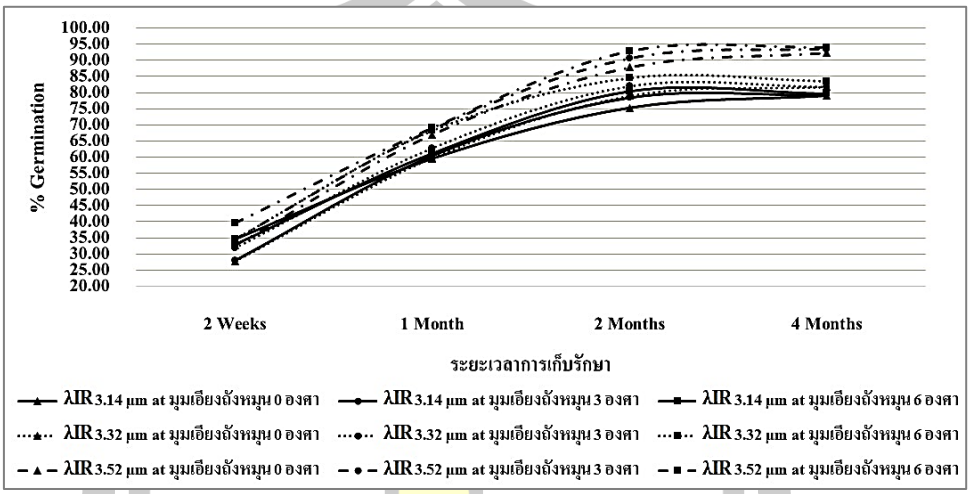


ภาพประกอบ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด และความลาดเอียงของถังหมุน ที่มีผลต่ออุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ

4.2.2.2 ผลการศึกษาร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 3.32 และ 3.52 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 0 3 และ 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 รอบ นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 เดือน และทำการตรวจสอบร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติที่ 2 สัปดาห์ 1 เดือน 2 เดือน และ 4 เดือน ผลการทดสอบแสดงในภาพประกอบ 4.27 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตาราง 4.6 พบว่าระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด มีอิทธิพลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว เมื่อความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ลดลง ร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติมีค่าลดลง เนื่องจากที่ระดับความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ระดับต่ำมีอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังการอบแห้งที่สูง ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเกิดการเสียหายจากความร้อนที่สูงเกินไป และที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติสูงที่สุดและสูงกว่าข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติที่ต่ำกว่า ระยะการเก็บรักษา 1 2 และ 4 เดือน เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ 2 สัปดาห์ เมล็ดพันธุ์ข้าวอยู่ในช่วงระยะการพักตัว ซึ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ

สูงที่สุด ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน คือ 94.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ 93.50 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุน และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติของเมล็ดพันธุ์ข้าว

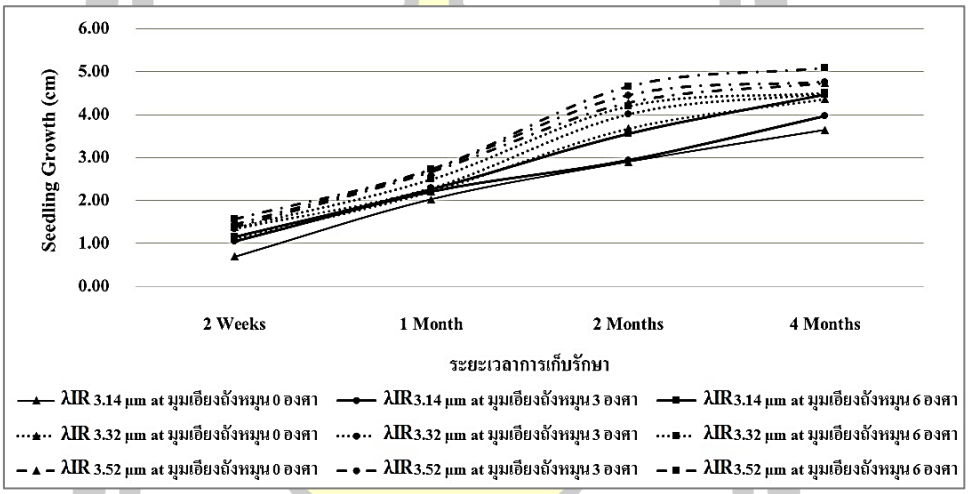
ตาราง 4.6 ผลของร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

λIR (µm)	ความลาดเอียงของถังหมุน (องศา)	% Germination			
		2 WAS	1 MAS	2 MAS	4 MAS
ข้าวอ้างอิง (วิธีการตากแดด)		37.00^{ab}	68.50^{a}	83.50^{de}	93.50^{a}
3.14	0	34.50^{abc}	59.50^{c}	75.25^{i}	79.00^{c}
	3	28.00^{c}	60.50^{abc}	78.50^{h}	79.25^{c}
	6	33.00^{abc}	61.25^{abc}	80.50^{fg}	79.75^{c}
3.32	0	27.75^{c}	59.75^{bc}	79.00^{gh}	81.75^{bc}
	3	31.75^{bc}	62.75^{abc}	82.00^{ef}	81.75^{bc}
	6	34.75^{abc}	68.25^{ab}	84.50^{d}	83.50^{b}
3.52	0	32.75^{abc}	67.00^{abc}	87.75^{c}	92.25^{a}
	3	34.50^{abc}	68.50^{a}	90.50^{b}	93.50^{a}
	6	39.50^{a}	69.00^{a}	92.75^{a}	94.00^{a}
F-test		*	*	*	*
CV (%)		17.13	8.44	1.51	2.94

* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ

WAS = จำนวนสัปดาห์หลังเก็บรักษา, MAS = จำนวนเดือนหลังเก็บรักษา

ผลของการเจริญเติบโตของต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ดังแสดงในภาพประกอบ 4.28 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในตาราง 4.7 จากการศึกษาพบว่าที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร และความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา เมล็ดพันธุ์ข้าวมีการเจริญเติบโตต้นอ่อนสูงที่สุดและสูงกว่าข้าวอ้างอิง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ มีเจริญเติบโตต้นอ่อนที่ต่ำกว่าระยะการเก็บรักษา 1 2 และ 4 เดือน เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ 2 สัปดาห์ เมล็ดพันธุ์ข้าวอยู่ในช่วงระยะการพักตัว ซึ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวมีการเจริญเติบโตต้นอ่อนสูงที่สุด ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน คือ 5.08 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงมีการเจริญเติบโตต้นอ่อนเพียง 4.11 เซนติเมตร และมีความแตกต่างทางสถิติ



ภาพประกอบ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด ความลาดเอียงของถังหมุน และระยะเวลาการเก็บรักษา ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตต้นอ่อนของเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 4.7 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

λIR (µm)	มุมเอียงถังอบ (องศา)	Seedling Growth (cm)			
		2 WAS	1 MAS	2 MAS	4 MAS
ข้าวอ้างอิง (วิธีการตากแดด)		0.83^{c}	2.00^{a}	4.23^{cd}	4.11^{abcd}
3.14	0	0.69^{c}	2.03^{a}	3.64^{e}	3.64^{e}
	3	1.05^{bc}	2.21^{a}	3.97^{de}	3.97^{e}
	6	1.15^{abc}	2.26^{a}	4.46^{bc}	4.46^{d}
3.32	0	1.12^{abc}	2.21^{a}	4.37^{bcd}	4.37^{cd}
	3	1.34^{ab}	2.29^{a}	4.49^{bc}	4.49^{bcd}
	6	1.36^{ab}	2.49^{a}	4.50^{bc}	4.50^{abc}
3.52	0	1.38^{ab}	2.67^{a}	4.74^{ab}	4.74^{ab}
	3	1.45^{ab}	2.72^{a}	4.76^{ab}	4.76^{ab}
	6	1.57^{a}	2.73^{a}	5.08^{a}	5.08^{a}
F-test		*	*	*	*
CV (%)		29.37	22.61	6.45	10.10

* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรเดียวกันในคอลัมน์เดียวกันไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ

WAS = จำนวนสัปดาห์หลังเก็บรักษา, MAS = จำนวนเดือนหลังเก็บรักษา

4.3 วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ในหัวข้อ 3.2 ได้เลือกเงื่อนไขในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.32 และ 3.52 ไมโครเมตร ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวหลังการอบแห้งมีร้อยละการงอกไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานเมล็ดพันธุ์ข้าวชั้นพันธุ์จำหน่ายเมล็ดพันธุ์จำหน่าย (ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวสกลนคร, 2557) มาวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง และค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด อบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกโดยเป็นค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของการใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

4.3.1 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

ผลการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในการอบแห้ง (แสดงในตาราง 4.8) พบว่าการทดสอบอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.32 ไมโครเมตร ความชื้นเริ่มต้น 20.35 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เมื่อผ่านการอบแห้ง 1 รอบ เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือ 19.00 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ใช้พลังงานจำเพาะรวมในการอบแห้ง 6.53 MJ/kg water evap. และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร ความชื้นเริ่มต้น 20.15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เมื่อผ่านการอบแห้ง 1 รอบ เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือ 19.46 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ใช้พลังงานจำเพาะรวมในการอบแห้ง 8.78 MJ/kg water evap.

ตาราง 4.8 ข้อมูลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ข้อมูลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการอบแห้ง	ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)	
(อัตราการป้อนเมล็ดพันข้าวเปลือก 400 kg-wet matter/h)	3.32	3.52
อัตราการป้อนเมล็ดพันข้าวเปลือก (kg-dry matter/h)	332.36	332.92
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเริ่มต้น (% wb.)	20.35	20.15
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเริ่มต้น (% db.)	25.55	25.23
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังอบแห้ง 1 รอบ (% wb.)	19.00	19.46
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังอบแห้ง 1 รอบ (% db.)	23.46	24.16
กำลังใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง (kw)	1.742	1.742
ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี (kg/h)	0.78	0.50
ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี HHV (MJ/kg)	50.152	50.152
อัตราน้ำระเหย (kg water evap./h)	6.95	3.57
พลังงานไฟฟ้ารวม (MJ/h)	6.27	6.27
พลังงานความร้อนจากแก๊สแอลพีจี (MJ/h)	39.12	25.08
พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (MJ/kg water evap.)	0.90	1.76
พลังงานความร้อนจำเพาะ (MJ/kg water evap.)	5.62	7.02
พลังงานจำเพาะรวม (MJ/kg water evap.)	6.53	8.78

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเครื่องอบแห้ง ฯ ทดสอบอบแห้ง 1 รอบ อัตราการป้อน 400 kg/h ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.32 ไมโครเมตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ราคาแรกซื้อของเครื่องอบแห้ง ฯ (P) และอุปกรณ์ต่อพ่วง รวมทั้งหมด เท่ากับ 500,000 บาท กู้เงินสำหรับลงทุนเบื้องต้นโดยมีอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 5 ต่อปี และอายุการใช้งานของอุปกรณ์ 10 ปี

2. ค่าแรงงาน

ค่าแรงงาน (Lo) ประกอบด้วยส่วนของการควบคุม และดูแลการทำงานของเครื่องอบแห้ง จำนวน 1 คน ค่าจ้างวันละ 320 บาทต่อวัน ทำงาน 120 วันต่อปี ดังนั้นค่าจ้างเท่ากับ 38,400 บาทต่อปี

3. ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา

ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (R&M) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้ง ฯ โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 2.5 เปอร์เซ็นต์ ของราคาเครื่อง จึงเท่ากับ 12,500 บาทต่อปี

4. ค่าไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้า (F) = ((กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ชนิดนั้น ๆ x จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า)/1,000) x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 วัน x จำนวนหน่วย (การไฟฟ้านครหลวง)

1. เกลียวลำเลียงข้าวเปลือกเข้าเครื่องอบแห้ง ใช้มอเตอร์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า 746 วัตต์ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน

2. ถังทรงกระบอกหมุน ใช้มอเตอร์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า 746 วัตต์ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน

3. พัดลมเป่าอากาศเข้าไปยังถังทรงกระบอกหมุน ใช้มอเตอร์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1/3 แรงม้า 250 วัตต์ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน

ดังนั้น กำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องอบแห้ง ฯ = 1,742 วัตต์ ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ปีละ 120 วัน

จะได้สมการเท่ากับ 1,742 x (1/(1,000 x 8)) = 13.936 หน่วย

ราคาไฟฟ้าตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง เท่ากับ 3.909 บาทต่อหน่วย ฉะนั้นทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ปีละ 120 วัน = 13.936 x 3.909 x 8 120 = 6537.10 บาทต่อปี

5. ค่าแก๊สแอลพีจี

ค่าพลังงานความร้อน (G) ที่ใช้ในการอบแห้ง มีอัตราการสิ้นเปลืองแก๊ส 0.78 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ราคาเชื้อเพลิงแก๊ส 24.20 บาทต่อกิโลกรัม เวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 120 วัน

จะได้ว่า ค่าพลังงานความร้อน = 0.78 x 120 x 8 x 24.20

= 18,120.96 บาทต่อปี

6. ความสามารถในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก (Ct) เวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 120 วัน ความสามารถในการอบแห้ง 400 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จะได้ว่า = 400 x 8 x 120

= 384,000 กิโลกรัมต่อปี

หรือ = 384 ตันต่อปี

7. ค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินมูลซากของเครื่องอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ของราคาเครื่อง ที่อายุการใช้งาน 10 ปี

จากสมการ $D = (P-S)/N$

$= (500,000 - 50,000)/10$

= 45,000 บาทต่อปี

8. ค่าอัตราดอกเบี้ย

ค่าอัตราดอกเบี้ยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินที่อัตราดอกเบี้ย 5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

จากสมการ $I = ((P-S)/2) \times (r/100)$

$= ((500,000 - 50,000)/2) \times (5/100)$

= 11,250 บาทต่อปี

9. ต้นทุนคงที่และต้นทุนการใช้เครื่อง

จะได้ว่า

ต้นทุนคงที่ (Fc) = D + I

แทนค่า = 45,000 + 11,250

= 56,250 บาทต่อปี

ต้นทุนการใช้เครื่อง (Ac) = (1/Ct) x (R&M + F + G + Lo)

= (1/384) x (12,500+6537.10+18,120.96+38,400)

= 196.77 บาทต่อตัน

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเครื่องอบแห้ง ฯ ทดสอบอบแห้ง 1 รอบ อัตราการป้อน 400 kg/h ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ราคาแรกซื้อของเครื่องอบแห้ง ฯ (P) และอุปกรณ์ต่อพ่วง รวมทั้งหมด เท่ากับ 500,000 บาท กู้เงินสำหรับลงทุนเบื้องต้นโดยมีอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 5 ต่อปี และอายุการใช้งานของอุปกรณ์ 10 ปี

2. ค่าแรงงาน

ค่าแรงงาน (Lo) ประกอบด้วยส่วนของการควบคุม และดูแลการทำงานของเครื่องอบแห้ง จำนวน 1 คน ค่าจ้างวันละ 320 บาทต่อวัน ทำงาน 120 วันต่อปี ดังนั้นค่าจ้างเท่ากับ 38,400 บาทต่อปี

3. ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา

ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (R&M) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้ง ฯ โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 2.5 เปอร์เซ็นต์ ของราคาเครื่อง จึงเท่ากับ 12,500 บาทต่อปี

4. ค่าไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้า (F) = ((กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ชนิดนั้น ๆ x จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า)/1,000) x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 วัน x จำนวนหน่วย (การไฟฟ้านครหลวง)

1. เกลียวลำเลียงข้าวเปลือกเข้าเครื่องอบแห้ง ใช้มอเตอร์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า 746 วัตต์ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน

2. ถังทรงกระบอกหมุน ใช้มอเตอร์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า 746 วัตต์ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน

3. พัดลมเป่าอากาศเข้าไปยังถังทรงกระบอกหมุน ใช้มอเตอร์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1/3 แรงม้า 250 วัตต์ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน

ดังนั้น กำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องอบแห้ง ฯ = 1,742 วัตต์ ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ปีละ 120 วัน

จะได้สมการเท่ากับ 1,742 x (1/(1,000 x 8)) = 13.936 หน่วย

ราคาไฟฟ้าตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง เท่ากับ 3.909 บาทต่อหน่วย ฉะนั้นทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ปีละ 120 วัน = 13.936 x 3.909 x 8 120 = 6537.10 บาทต่อปี

5. ค่าแก๊สแอลพีจี

ค่าพลังงานความร้อน (G) ที่ใช้ในการอบแห้ง มีอัตราการสิ้นเปลืองแก๊ส 0.50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ราคาเชื้อเพลิงแก๊ส 24.20 บาทต่อกิโลกรัม เวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 120 วัน

จะได้ว่า ค่าพลังงานความร้อน = 0.50 x 120 x 8 x 24.20

= 11,616 บาทต่อปี

6. ความสามารถในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก (Ct) เวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ปีละ 120 วัน ความสามารถในการอบแห้ง 400 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จะได้ว่า = 400 x 8 x 120

= 384,000 กิโลกรัมต่อปี

หรือ = 384 ตันต่อปี

7. ค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินมูลซากของเครื่องอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ของราคาเครื่อง ที่อายุการใช้งาน 10 ปี

จากสมการ $D = (P-S)/N$

$= (500,000 - 50,000)/10$

= 45,000 บาทต่อปี

8. ค่าอัตราดอกเบี้ย

ค่าอัตราดอกเบี้ยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินที่อัตราดอกเบี้ย 5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

จากสมการ $I = ((P-S)/2) \times (r/100)$

$= ((500,000 - 50,000)/2) \times (5/100)$

= 11,250 บาทต่อปี

9. ต้นทุนคงที่และต้นทุนการใช้เครื่อง

จะได้ว่า

ต้นทุนคงที่ (Fc) = D + I

แทนค่า = 45,000 + 11,250

= 56,250 บาทต่อปี

ต้นทุนการใช้เครื่อง (Ac) = (1/Ct) x (R&M + F + G + Lo)

= (1/384) x (12,500+6537.10+11,616+38,400)

= 179.83 บาทต่อตัน

ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก สามารถสรุปผลได้ดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)		(หน่วย)
	3.32	3.52	
จำนวนวันทำงาน	120	120	วันต่อปี
เวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน	8	8	ชั่วโมงต่อวัน
ค่าเสื่อมราคา (D)	48,750	48,750	บาทต่อปี
ดอกเบี้ย (I)	9,375	9,375	บาทต่อปี
ราคารวมแรกซื้อ (P)	500,000	500,000	บาท
มูลค่าซาก (S) 10 เปอร์เซ็นต์ของราคาแรกซื้อ	50,000	50,000	บาทต่อปี
อายุใช้งาน (N)	10	10	ปี
อัตราดอกเบี้ย (r)	5	5	บาทต่อปี
ต้นทุนคงที่ (Fc)	58,125	58,125	บาทต่อปี
จำนวนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่อบแห้งได้ใน 1 ปี (A)	384	384	ตัน
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (R&M)	12,500	12,500	บาทต่อปี
ค่าไฟฟ้ารวม (F) 3.909 บาทต่อหน่วย	6537.10	6537.10	บาทต่อปี
ค่าแก๊สแอลพีจี (G)	18,120.96	11,616	บาทต่อปี
ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน (Lo)	38,400	38,400	บาทต่อปี
ความสามารถในการทำงานอบแห้ง (Ct)	400	400	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ต้นทุนการใช้เครื่อง (Ac)	196.77	179.83	บาทต่อตัน

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

5.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

จากการศึกษาพบว่า ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 9 นาที เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังการอบแห้งมีร้อยละการงอกมากกว่าข้าวอ้างอิงผลจากการทดสอบอบแห้งกับเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หลังการอบแห้งมีอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว 0.9644 และ 41.27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 88.50 เปอร์เซ็นต์ และ 5.06 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้าวอ้างอิงมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อนเพียง 83.75 เปอร์เซ็นต์ และ 4.08 เซนติเมตร ตามลำดับ

5.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49

จากการศึกษา ข้อ 3.1.1 นำเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก มาทดสอบอบแห้งกับเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 พบว่าที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร อุณหภูมิลมร้อน 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกรับลมร้อน 9 นาที หลังการอบแห้งมีอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว 0.9609 และ 41.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 96.50 เปอร์เซ็นต์ และ 5.21 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้าวอ้างอิงมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 93.50 เปอร์เซ็นต์ และ 4.11 เซนติเมตร ตามลำดับ

5.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด

5.2.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด (ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105)

จากการศึกษาพบว่า ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 รอบ เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกซึ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังการอบแห้งมีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.9279 อุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว 48.13 องศาเซลเซียส หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติและการเจริญเติบโตต้นอ่อน 89.00 เปอร์เซ็นต์ และ 5.24 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีการเจริญเติบโตของต้นอ่อน เมื่อเปรียบเทียบข้าวอ้างอิงมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 89.00 เปอร์เซ็นต์ และ 5.13 เซนติเมตร ตามลำดับ

5.2.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด (ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49)

จากการศึกษา ข้อ 3.2.1 นำเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก มาทดสอบอบแห้งกับเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 พบว่าที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร ความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา และจำนวนรอบในการอบแห้ง 1 รอบ เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าว หลังจากผ่านการอบแห้ง มีอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าว 0.9661 และ 46.67 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน มีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 92.75 เปอร์เซ็นต์ และ 5.08 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้าวอ้างอิงมีร้อยละการงอกต้นอ่อนปกติ และการเจริญเติบโตต้นอ่อน 93.50 เปอร์เซ็นต์ และ 4.11 เซนติเมตร ตามลำดับ

5.3 วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

5.3.1 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในการอบแห้ง พบว่าที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร ความชื้นเริ่มต้น 20.15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เมื่อผ่านการอบแห้ง 1 รอบ เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือ 19.46 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ใช้พลังงานจำเพาะรวมในการอบแห้ง 8.78 MJ/kg water evap.

5.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง

จากการศึกษาค่าใช้จ่ายในการอบแห้งของด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ในหัวข้อ 3.2 พบว่าการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเท่ากับ 179.83 บาทต่อตัน โดยเป็นค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของการใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ไม่รวมขั้นตอนที่ต้องนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาตากแดดอีกเป็นเวลา 1 วันครึ่ง จากเดิมที่เกษตรกรใช้ใช้เวลาในการตากแดดลดความชื้น 4-5 วัน

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการทำงานอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด ในข้อ 4.2 มีข้อเสนอแนะ และแนวทางการศึกษาเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาปัจจัยอัตราการป้อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก
2. ศึกษามุมเอียงของใบโปรยในถังหมุน
3. ศึกษาความเร็วลมในถังหมุน

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. (2562). *กระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์*. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://doa.go.th/pibai/pibai/n12/v_6-july/ceaksong.html [สืบค้นเมื่อ (กันยายน 08, 2562)].

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2561). *การพัฒนาศักยภาพศูนย์ข้าวชุมชนโดยระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่*. [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.moac.go.th/news-preview-401591791369 [สืบค้นเมื่อ (กันยายน 08, 2562)].

กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธุ์. (2556). *การอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในตัวกลางแตกต่างกัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2535). แนวทางการพัฒนาการเกษตรระดับอำเภอ. *วารสารแนวทางการพัฒนาการเกษตระดับอำเภอ*.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. (2536). คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. น. 1-53. ในเอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. *สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร*. กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. (2529). *เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์*. พิมพ์ครั้งที่ 2 [ฉบับปรับปรุงแก้ไข]. กรุงเทพฯ. กลุ่มหนังสือเกษตร.

จักรมาส เลาหวณิช และสุพรรณ ยั่งยืน. (2557). *เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง*. เลขที่สิทธิบัตร : 8962.

จักรมาส เลาหวณิช และเสรี วงส์พิเชษฐ. (2549). การศึกษาการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรดภายในห้องอบแห้ง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 272–275.

จินดา ศรศรีวิชัย. (2514). *สรีรวิทยาของข้าว*. สรีรวิทยาภาคการเจริญเติบโตและการควบคุม. ภาควิชาชีววิทยา. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทรงพล วิจารณ์จักร, สุพรรณ ยั่งยืน, เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา และจักรมาส เลาหวณิช. (2559). การพัฒนาและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวกล้องงอกแบบถังหมุน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 47(3 พิเศษ), 429-432.

นงเยาว์ รัตนพันธ์. (2535). *เทคนิคการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาในเขตร้อนชื้น*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นฤพนธ์ บ่อคำเกิด, วสันต์ ด้วงคำจันทร และจักรมาส เลาหวณิช. (2555). ผลของวิธีการทำแห้งต่อการลดลงของความชื้นและความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 43(3 พิเศษ), 252-255.

เรียวโซ โทเอ. (2529). แปลโดยวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. *อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม.* พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัทซี เอ็ดยูเคชั่น จำกัด: 2529.

วัลลภ สันติประชา. (2529). หลักการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช. *วารสารสงขลานครินทร์*, 8: 225-234.

วัลลภ สันติประชา, ขวัญจิตร สันติประชา และพรวิรัช งามสิงห์. (2533). การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ถั่วฝักยาวเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาในเขตร้อนชื้น. *วารสารสงขลานครินทร์*, 12: 305-315.

วัลลภ สันติประชา, ขวัญจิตร สันติประชา และชูศักดิ์ ณรงค์ราช. (2535). ผลของอุณหภูมิและบรรจุภัณฑ์ต่อการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวในเขตร้อนชื้น. *วารสารสงขลานครินทร์*, 14: 319-326.

วัลลภ สันติประชา, ขวัญจิตร สันติประชา และวิชัย หวังโรดม. (2541). คุณภาพและการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงในเขตร้อนชื้น. *วารสารสงขลานครินทร์*, 20: 407-414.

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.* พิมครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนค์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. 2562. *การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว.* ได้จาก: http://kkn-rsc.ricethailand.go.th [สืบค้นเมื่อ (13 สิงหาคม 2562)].

ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวสกลนคร. 2557. *มาตรฐานคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว.* ได้จาก: http://skn-rsc.ricethailand.go.th/new/images/image/rss6.pdf [สืบค้นเมื่อ (13 สิงหาคม 2562)].

สมชาติ โสภรณฤทธิ์. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท.* พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. (2562). *การผลิตข้าวครบวงจรโดยเกษตรกรมีส่วนร่วม.* (ออนไลน์). ได้จาก: http://www.arda.or.th/datas/file/POLICY4.pdf [สืบค้นเมื่อ (13 สิงหาคม 2562)].

สุราจ เชตรี. (2552). *การตรวจสอบความแข็งแรงเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยวิธีเร่งอายุ.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อรวรรณ ฤทธิวุธ, ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ และจักรมาส เลาหวณิช. (2555). การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งสำหรับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 43(3 พิเศษ), 111-114.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). *ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Afazl, T.M. and Abe, T. (2000). Simulation of Moisture Change in Barley During Far in Frared Radiation Drying. *Journal of Comput Electron Agr*, 26(2), 137–145.

ASAE. (1996). *Moisture Measurement Grains and Seed*. Method s352.2. Standard 96. United States: American Society of Agricultural.

Beardmore, T., Wang, B.S.P., Penner, M. and Scheer, G. (2008). Effects of Seed Water Content and Storage Temperature on the Germination Parameters of White Spruce Black Sspruce and Lodge Pole Pine Seed. *Journal of New Forests*, 36, 171–185.

Brooker, D.S., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C. (1974). *Drying Cereal Grains*. AVI. Westport. CT.

Delouche, J.C. and Baskin, C.C. (1973). Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Journal of Seed Science and Technology,* 1, 427–452.

Ding, c., Khir, R., Pan, Zhongli., Wood, D.F., Chandrasekar, V., Tu, Hang., Mashad, H.E. and Berrios, J. (2018). lnfluence of Infrared Drying on Storage Characteristics of Brown Rice. *Journal of Food Chemistry*, 264,149-156.

Doijode, S.D. (2001). *Seed Storage of Horticultural Crops*. New York: Food Products Press.

Mcdonald, M.B. 1999. Seed deterioration : physiology, repair and assessment. *Journal of Seed Science and Technology,* 27: 177-237.

Fellows, P. (1988). *Food Processing Technology*. Cornwall: Ellis Horwood Limited.

Fessel, S.A., Vieira, R.D., Pessoa Da Cruz, M.C., Cesar De Paula, R. and Panobianco, M. (2006). Electrical Conductivity Testing of Corn Seeds as Influenced by Temperature and Period of Storage. *Journal of Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41(10), 1551–1559.

Hebber, H.U. and Rostogi, N.K. (2004). Mass Transfer during Infrared Drying of Cashew Kernal. *Journal of Food Engineering*, 47(1), 557-563, January.

Ipsita Das, S.K. and Satish, B. (2009). Drying Kinetics of High Moisture Paddy Undergoing Vibration-Assisted Infrared (IR) Drying. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 166–171.

ISTA. (1995). *Handbook of Vigour Test Methods*. 3rd edition. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.117 p.

ISTA. (1999). *International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association, *Supplement to Seed Sci.& Technol*, 27: 1-333.

ISTA. (2016). *International Rules for Seed testing*. *Seed Science and Technology*. Zurich, Switzerland.

Maluf A.M., Bilia, D.A.C. and Barbedo, C.J. (2003). Drying and Storage of Eugenia Involucrata DC Seeds. *Journal of Scientia Agricola*, 60, 471–475.

Mujumdar, A.S. (1995). editor. *Handbook of industrial drying*. Volume 1.2nd ed. New York: Marcel Dekker.

Ozisik, M.N. (1985). *Heat transfer* : a basic approach. New York: Mcgraw-Hill.

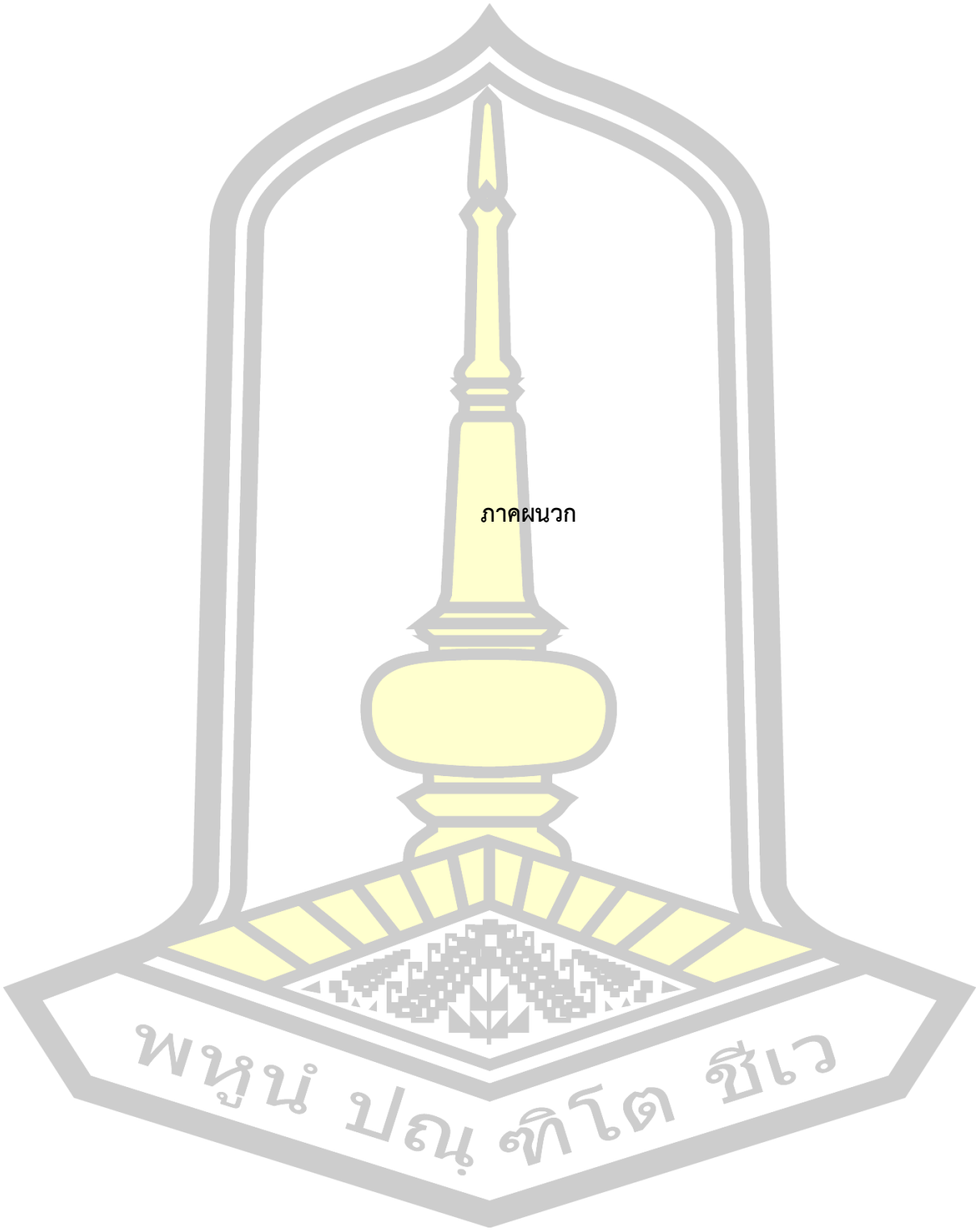
Perez-Garcia, F., Gomez-Campo, C. and Ellis, R.H. (2009). Successful long-term ultra dry storage of seed of 15 species of Brassicaceae in a genebank : variation in ability to germinate over 40 years and dormancy. *Journal of Seed Science and Technology*, 37: 640-649.

Shahzad M.A.B., Khalil, U.R. and Sajjad, J. (2000). Cotton Seed Deterioration Assessment of Some Physiological and Biochemical Aspects. *Journal of Agriculture & Biology*, 2(3), 195–198.

Siri, B., Sutthi, N. and Wongkae, S. (2003). Drying Methods on Groudnut Seed Quality. *Journal of Agricultural Science*, 34(4-6), 187–189.

Thilakarathana, B., Adhikarinayake, K.B. and Palipane, J.M. (2006). Quality Change and Mass Loss of Paddy During Airtight Storage in a Ferro - Cement Bin in Sri Lanka. *Journal of Stored Products Research*, 42(3), 337–390.

Thobunluepop, P., Pawelzik, E. and Vearasilp, S. (2008). The Perspective Effects of Various Seed Coating Substances on Rice Seed Variety Khao Dawk Mali 105 Storability The Case Study of Physiological Properties Pakistan. *Journal of Biological Sciences*, 11(19), 2291–2299.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการเทมเปอริง ที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก

ตาราง ก.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
2.83	35	3	1	20.85	19.79	18.85	20.86	19.83	18.90
			2	20.75	19.73	18.80			
			3	20.98	19.98	19.04			
		6	1	20.85	19.79	18.73	20.86	19.83	18.81
			2	20.75	19.73	18.73			
			3	20.98	19.98	18.96			
		9	1	20.85	19.79	18.59	20.86	19.83	18.72
			2	20.75	19.73	18.65			
			3	20.98	19.98	18.93			
	45	3	1	21.55	20.45	19.66	21.63	20.60	19.59
			2	21.57	20.43	19.49			
			3	21.77	20.92	19.63			
		6	1	21.55	20.45	19.39	21.63	20.60	19.37
			2	21.57	20.43	19.30			
			3	21.77	20.92	19.41			

ตาราง ก.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
2.83	45	9	1	21.55	20.45	19.35	21.63	20.60	19.32
			2	21.57	20.43	19.30			
			3	21.77	20.92	19.32			
	55	3	1	22.12	20.94	19.63	22.16	21.03	19.71
			2	22.15	21.13	19.72			
			3	22.22	21.02	19.78			
		6	1	22.12	20.94	19.52	22.16	21.03	19.65
			2	22.15	21.13	19.63			
			3	22.22	21.02	19.82			
		9	1	22.12	20.94	19.52	22.16	21.03	19.52
			2	22.15	21.13	19.58			
			3	22.22	21.02	19.46			
2.98	35	3	1	21.21	20.43	20.01	21.36	20.54	20.15
			2	21.42	20.53	20.24			
			3	21.45	20.65	20.21			

ตาราง ก.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
2.98	35	6	1	21.21	20.43	19.63	21.36	20.54	19.79
			2	21.42	20.53	19.94			
			3	21.45	20.65	19.79			
		9	1	21.21	20.43	19.64	21.36	20.54	19.86
			2	21.42	20.53	19.99			
			3	21.45	20.65	19.95			
	45	3	1	21.27	20.54	20.05	21.23	20.51	19.83
			2	21.22	20.61	19.83			
			3	21.20	20.37	19.61			
		6	1	21.27	20.54	19.58	21.23	20.51	19.60
			2	21.22	20.61	19.73			
			3	21.20	20.37	19.49			
		9	1	21.27	20.54	19.41	21.23	20.51	19.40
			2	21.22	20.61	19.31			
			3	21.20	20.37	19.47			

ตาราง ก.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
2.98	55	3	1	21.95	21.37	20.27	21.91	21.37	20.21
			2	21.81	21.38	20.23			
			3	21.97	21.37	20.12			
		6	1	21.95	21.37	20.07	21.91	21.37	20.08
			2	21.81	21.38	19.99			
			3	21.97	21.37	20.17			
		9	1	21.95	21.37	19.90	21.91	21.37	19.87
			2	21.81	21.38	19.83			
			3	21.97	21.37	19.88			
3.14	35	3	1	21.21	20.97	20.91	21.22	20.98	20.80
			2	21.25	21.09	20.69			
			3	21.19	20.89	20.79			
		6	1	21.21	20.97	20.57	21.22	20.98	20.60
			2	21.25	21.09	20.70			
			3	21.19	20.89	20.53			

ตาราง ก.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
3.14	35	9	1	21.21	20.97	20.54	21.22	20.98	20.46
			2	21.25	21.09	20.43			
			3	21.19	20.89	20.42			
	45	3	1	21.77	21.54	21.51	21.89	21.67	21.52
			2	21.89	21.76	21.60			
			3	21.99	21.71	21.45			
		6	1	21.35	21.09	20.72	21.29	21.03	20.52
			2	21.26	21.04	20.56			
			3	21.27	20.97	20.28			
		9	1	21.77	21.54	20.93	21.89	21.67	21.02
			2	21.89	21.76	21.00			
			3	21.99	21.71	21.13			

ตาราง ก.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
3.14	55	3	1	21.35	21.09	20.57	21.29	21.03	20.63
			2	21.26	21.04	20.64			
			3	21.27	20.97	20.69			
		6	1	21.77	21.54	20.80	21.89	21.67	21.02
			2	21.89	21.76	20.95			
			3	21.99	21.71	21.31			
		9	1	21.35	21.09	20.38	21.29	21.03	20.33
			2	21.26	21.04	20.49			
			3	21.27	20.97	20.12			

ตาราง ก.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
2.83	35	3	1	35.70	60.40	54.20	35.63	60.47	54.23
			2	35.70	60.40	54.30			
			3	35.50	60.60	54.20			
		6	1	35.70	60.40	51.50	35.63	60.47	51.43
			2	35.70	60.40	51.40			
			3	35.50	60.60	51.40			
		9	1	35.70	60.40	49.80	35.63	60.47	49.73
			2	35.70	60.40	49.70			
			3	35.50	60.60	49.70			
	45	3	1	35.50	59.80	56.10	35.43	59.90	56.07
			2	35.40	60.00	56.00			
			3	35.40	59.90	56.10			
		6	1	35.50	59.80	53.70	35.43	59.90	53.77
			2	35.40	60.00	53.80			
			3	35.40	59.90	53.80			

ตาราง ก.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
2.83	45	9	1	35.50	59.80	50.40	35.43	59.90	50.47
			2	35.40	60.00	50.50			
			3	35.40	59.90	50.50			
	55	3	1	35.90	60.60	57.20	35.80	60.70	57.27
			2	35.80	60.60	57.30			
			3	35.70	60.90	57.30			
		6	1	35.90	60.60	55.30	35.80	60.70	55.33
			2	35.80	60.60	55.40			
			3	35.70	60.90	55.30			
		9	1	35.90	60.60	53.20	35.80	60.70	53.17
			2	35.80	60.60	53.10			
			3	35.70	60.90	53.20			
2.98	35	3	1	35.40	52.40	44.20	35.30	52.73	44.47
			2	35.20	52.80	44.60			
			3	35.30	53.00	44.60			

ตาราง ก.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
2.98	35	6	1	35.40	52.40	43.70	35.30	52.73	43.70
			2	35.20	52.80	43.60			
			3	35.30	53.00	43.80			
		9	1	35.40	52.40	43.40	35.30	52.73	42.77
			2	35.20	52.80	42.60			
			3	35.30	53.00	42.30			
	45	3	1	35.50	53.10	48.90	35.47	53.07	48.83
			2	35.50	53.00	48.80			
			3	35.40	53.10	48.80			
		6	1	35.50	53.10	46.60	35.47	53.07	46.63
			2	35.50	53.00	46.70			
			3	35.40	53.10	46.60			
		9	1	35.50	53.10	45.50	35.47	53.07	45.50
			2	35.50	53.00	45.40			
			3	35.40	53.10	45.60			

ตาราง ก.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
2.98	55	3	1	35.50	53.27	51.20	35.60	53.27	51.13
			2	35.60	53.27	51.00			
			3	35.70	53.27	51.20			
		6	1	35.50	53.27	49.40	35.60	53.27	49.33
			2	35.60	53.27	49.30			
			3	35.70	53.27	49.30			
		9	1	35.50	53.27	47.40	35.60	53.27	47.43
			2	35.60	53.27	47.50			
			3	35.70	53.27	47.40			
3.14	35	3	1	35.20	46.20	45.10	35.27	46.17	45.17
			2	35.20	46.10	45.20			
			3	35.40	46.20	45.20			
		6	1	35.20	46.20	42.90	35.27	46.17	43.00
			2	35.20	46.10	43.00			
			3	35.40	46.20	43.10			

ตาราง ก.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
3.14	35	9	1	35.20	46.20	41.30	35.27	46.17	41.27
			2	35.20	46.10	41.20			
			3	35.40	46.20	41.30			
	45	3	1	35.60	46.80	45.80	35.53	46.57	45.90
			2	35.40	46.40	45.90			
			3	35.60	46.50	46.00			
		6	1	35.60	46.80	44.50	35.53	46.57	44.57
			2	35.40	46.40	44.60			
			3	35.60	46.50	44.60			
		9	1	35.60	46.80	43.50	35.53	46.57	43.57
			2	35.40	46.40	43.60			
			3	35.60	46.50	43.60			

ตาราง ก.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
3.14	55	3	1	35.40	46.40	46.10	35.43	46.47	46.17
			2	35.60	46.50	46.20			
			3	35.30	46.50	46.20			
		6	1	35.40	46.40	45.20	35.43	46.47	45.27
			2	35.60	46.50	45.30			
			3	35.30	46.50	45.30			
		9	1	35.40	46.40	44.60	35.43	46.47	44.57
			2	35.60	46.50	44.50			
			3	35.30	46.50	44.60			

ตาราง ก.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ข้าวอ้างอิง			ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
			1	84.00	76.50	85.00	83.50	84.00	83.75
			2	74.00		81.00		83.00	
			3	74.00		85.00		83.00	
			4	74.00		83.00		85.00	
ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (ºC)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
2.83	35	3	1	63.00	59.75	76.00	76.75	77.00	77.00
			2	60.00		78.00		77.00	
			3	58.00		77.00		76.00	
			4	58.00		76.00		78.00	
		6	1	64.00	63.25	77.00	77.50	76.00	77.75
			2	62.00		78.00		78.00	
			3	61.00		78.00		78.00	
			4	66.00		77.00		79.00	
		9	1	71.00	69.00	79.00	78.00	78.00	78.50
			2	63.00		78.00		78.00	
			3	76.00		77.00		79.00	
			4	66.00		78.00		79.00	
	45	3	1	48.00	49.00	74.00	74.50	76.00	75.00
			2	53.00		75.00		75.00	
			3	46.00		76.00		75.00	
			4	49.00		73.00		74.00	
		6	1	55.00	62.75	75.00	75.25	75.00	75.25
			2	65.00		76.00		74.00	
			3	64.00		76.00		76.00	
			4	67.00		74.00		76.00	

ตาราง ก.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
2.83	45	9	1	61.00	62.75	76.00	76.00	76.00	76.25
			2	65.00		77.00		77.00	
			3	63.00		75.00		75.00	
			4	62.00		76.00		77.00	
	55	3	1	38.00	36.00	72.00	72.50	72.00	73.00
			2	34.00		73.00		74.00	
			3	35.00		73.00		73.00	
			4	37.00		72.00		73.00	
		6	1	39.00	37.00	73.00	73.25	73.00	74.00
			2	35.00		73.00		72.00	
			3	34.00		73.00		75.00	
			4	40.00		74.00		76.00	
		9	1	47.00	46.75	74.00	74.00	75.00	74.75
			2	45.00		75.00		74.00	
			3	46.00		74.00		74.00	
			4	49.00		73.00		76.00	
2.98	35	3	1	74.00	69.00	81.00	82.00	83.00	82.00
			2	64.00		83.00		82.00	
			3	74.00		81.00		82.00	
			4	64.00		83.00		81.00	
		6	1	69.00	72.25	82.00	83.00	83.00	83.25
			2	77.00		84.00		84.00	
			3	75.00		83.00		82.00	
			4	68.00		83.00		84.00	
		9	1	71.00	73.50	82.00	83.50	83.00	84.25
			2	72.00		84.00		84.00	
			3	77.00		83.00		85.00	
			4	74.00		85.00		85.00	

พหุน ปณ ศ ต ช

ตาราง ก.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
2.98	45	3	1	66.00	64.50	82.00	81.00	81.00	81.25
			2	61.00		81.00		83.00	
			3	71.00		81.00		81.00	
			4	60.00		80.00		80.00	
		6	1	66.00	66.50	82.00	82.00	83.00	82.25
			2	71.00		83.00		82.00	
			3	64.00		81.00		83.00	
			4	65.00		82.00		81.00	
		9	1	69.00	73.25	83.00	83.50	83.00	83.75
			2	77.00		85.00		84.00	
			3	79.00		82.00		85.00	
			4	68.00		84.00		83.00	
	55	3	1	57.00	54.25	82.00	82.00	82.00	80.50
			2	56.00		81.00		80.00	
			3	44.00		82.00		80.00	
			4	60.00		83.00		80.00	
		6	1	62.00	61.75	81.00	81.00	81.00	81.25
			2	59.00		82.00		80.00	
			3	67.00		81.00		82.00	
			4	59.00		80.00		82.00	
		9	1	63.00	63.25	81.00	80.25	82.00	82.75
			2	61.00		80.00		82.00	
			3	68.00		81.00		83.00	
			4	61.00		79.00		84.00	

ตาราง ก.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
3.14	35	3	1	75.00	75.75	87.00	87.00	88.00	87.50
			2	77.00		88.00		87.00	
			3	77.00		86.00		89.00	
			4	74.00		87.00		86.00	
		6	1	79.00	77.00	87.00	87.75	88.00	88.00
			2	79.00		87.00		87.00	
			3	75.00		89.00		88.00	
			4	75.00		88.00		89.00	
		9	1	82.00	78.50	88.00	88.25	87.00	88.50
			2	76.00		89.00		88.00	
			3	79.00		89.00		89.00	
			4	77.00		87.00		90.00	
	45	3	1	74.00	74.75	87.00	85.75	85.00	86.00
			2	76.00		86.00		87.00	
			3	74.00		85.00		86.00	
			4	75.00		85.00		86.00	
		6	1	77.00	75.25	86.00	86.00	88.00	86.25
			2	75.00		86.00		86.00	
			3	75.00		85.00		86.00	
			4	74.00		87.00		85.00	
		9	1	79.00	78.00	87.00	86.75	87.00	87.00
			2	77.00		87.00		87.00	
			3	80.00		86.00		86.00	
			4	76.00		87.00		88.00	

ตาราง ก.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
3.14	55	3	1	72.00	72.00	84.00	83.75	84.00	84.75
			2	71.00		83.00		85.00	
			3	72.00		85.00		86.00	
			4	73.00		83.00		84.00	
		6	1	76.00	72.50	84.00	84.50	85.00	85.00
			2	71.00		84.00		84.00	
			3	68.00		85.00		85.00	
			4	75.00		85.00		86.00	
		9	1	86.00	75.75	84.00	85.25	85.00	85.25
			2	71.00		87.00		84.00	
			3	60.00		84.00		86.00	
			4	86.00		86.00		86.00	

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ข้าวอ้างอิง			ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
			1	2.68	2.83	3.64	4.11	3.72	4.08
			2	3.60		5.36		4.24	
			3	2.40		3.56		4.24	
			4	2.64		3.88		4.12	
ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.83	35	3	1	1.44	1.48	3.56	3.50	3.88	3.63
			2	1.52		3.72		3.56	
			3	1.20		4.48		3.84	
			4	1.76		2.24		3.24	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.83	35	6	1	1.68	2.38	2.76	3.78	3.84	3.81
			2	2.44		4.88		3.72	
			3	2.88		4.72		4.00	
			4	2.52		2.76		3.68	
		9	1	2.24	2.45	4.72	4.38	4.12	4.16
			2	2.40		4.64		4.20	
			3	2.72		4.12		4.24	
			4	2.44		4.04		4.08	
	45	3	1	1.96	1.43	3.52	3.36	3.52	3.47
			2	2.12		3.24		3.40	
			3	1.08		3.08		3.28	
			4	0.56		3.60		3.68	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.83	45	6	1	1.96	2.28	3.72	3.41	3.48	3.60
			2	2.12		3.24		4.00	
			3	3.60		3.36		3.44	
			4	1.44		3.32		3.48	
		9	1	2.92	2.42	5.00	4.11	4.16	4.02
			2	1.80		4.32		4.00	
			3	2.52		3.92		3.96	
			4	2.44		3.20		3.96	
	55	3	1	3.04	1.94	1.96	2.76	2.48	2.92
			2	2.20		3.36		3.08	
			3	1.40		3.04		3.12	
			4	1.12		2.68		3.00	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.83	55	6	1	1.76	1.23	2.12	2.70	2.84	2.76
			2	1.28		3.00		2.96	
			3	1.16		2.44		2.28	
			4	0.72		3.24		2.96	
		9	1	0.52	0.90	1.28	2.32	2.16	2.44
			2	0.64		2.80		2.68	
			3	0.84		2.60		2.60	
			4	1.60		2.60		2.32	
2.98	35	3	1	2.88	2.49	4.84	3.93	3.96	3.89
			2	3.04		3.76		4.04	
			3	1.16		4.32		3.96	
			4	2.88		2.80		3.60	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.98	35	6	1	2.68	2.72	4.36	3.98	4.08	4.00
			2	2.76		4.20		4.00	
			3	2.68		3.68		3.88	
			4	2.76		3.68		4.04	
		9	1	2.64	2.75	5.40	4.13	4.32	4.45
			2	2.40		3.32		4.56	
			3	4.20		3.68		4.32	
			4	1.76		4.12		4.60	
	45	3	1	2.08	2.04	3.96	3.89	3.84	3.83
			2	2.44		3.56		3.96	
			3	1.72		3.68		3.60	
			4	1.92		4.36		3.92	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.98	45	6	1	2.16	2.11	3.76	3.91	4.04	3.98
			2	2.12		3.08		3.92	
			3	1.96		3.92		3.96	
			4	2.20		4.88		4.00	
		9	1	2.80	2.88	4.88	4.07	4.52	4.32
			2	3.56		3.80		4.36	
			3	2.88		3.36		4.40	
			4	2.28		4.24		4.00	
	55	3	1	2.40	2.43	4.48	4.00	4.64	4.27
			2	1.88		4.00		4.08	
			3	2.84		4.12		4.20	
			4	2.60		3.40		4.16	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.98	55	6	1	1.80	2.21	3.88	3.88	3.84	3.86
			2	3.00		3.60		4.12	
			3	2.28		4.60		3.88	
			4	1.76		3.44		3.60	
		9	1	2.04	2.03	4.88	3.79	3.60	3.78
			2	2.16		3.36		3.80	
			3	2.04		4.04		4.00	
			4	1.88		2.88		3.72	
3.14	35	3	1	3.20	3.08	3.68	4.06	4.08	4.12
			2	3.24		5.68		4.20	
			3	3.24		3.64		4.20	
			4	2.64		3.24		4.00	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.14	35	6	1	4.24	3.46	4.52	4.28	4.52	4.32
			2	3.20		4.88		4.48	
			3	2.64		3.88		4.12	
			4	3.76		3.84		4.16	
		9	1	4.00	4.12	4.52	4.89	5.08	5.06
			2	3.96		5.00		5.00	
			3	4.00		6.32		5.12	
			4	4.52		3.72		5.04	
	45	3	1	2.56	3.03	3.64	3.88	4.00	3.94
			2	3.36		3.88		3.88	
			3	2.36		4.16		4.00	
			4	3.84		3.84		3.88	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.14	45	6	1	2.88	3.35	4.80	4.02	3.88	4.09
			2	3.32		3.60		4.08	
			3	2.92		4.68		4.32	
			4	4.28		3.00		4.08	
		9	1	3.56	3.70	4.28	4.64	4.64	4.78
			2	3.12		4.00		5.00	
			3	3.60		5.44		4.64	
			4	4.52		4.84		4.84	
	55	3	1	3.72	3.49	4.68	4.61	4.80	4.72
			2	2.96		4.88		4.56	
			3	3.64		3.92		4.88	
			4	3.64		4.96		4.64	

ตาราง ก.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.14	55	6	1	2.32	3.04	4.84	3.87	3.88	4.01
			2	2.72		3.64		3.92	
			3	3.00		3.48		4.24	
			4	4.12		3.52		4.00	
		9	1	2.64	2.65	4.08	3.62	4.12	3.89
			2	2.88		3.80		3.88	
			3	3.56		3.36		3.92	
			4	1.52		3.24		3.64	

ตาราง ก.5 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
35	3	1	19.60	19.33	19.07	19.74	19.46	19.14
		2	19.80	19.54	19.14			
		3	19.82	19.51	19.22			
	6	1	19.60	19.33	18.81	19.74	19.46	19.00
		2	19.80	19.54	19.05			
		3	19.82	19.51	19.15			
	9	1	19.60	19.33	18.85	19.74	19.46	18.97
		2	19.80	19.54	19.06			
		3	19.82	19.51	19.00			
45	3	1	19.38	18.98	18.79	19.39	19.11	18.69
		2	19.28	19.03	18.45			
		3	19.52	19.33	18.83			

ตาราง ก.5 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร (ต่อ)

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
45	6	1	19.38	18.98	18.37	19.39	19.11	18.49
		2	19.28	19.03	18.37			
		3	19.52	19.33	18.71			
	9	1	19.38	18.98	18.50	19.39	19.11	18.46
		2	19.28	19.03	18.30			
		3	19.52	19.33	18.58			
55	3	1	19.17	18.97	17.99	19.14	18.88	18.11
		2	19.12	18.77	18.17			
		3	19.14	18.90	18.18			
	6	1	19.17	18.97	18.07	19.14	18.88	18.04
		2	19.12	18.77	17.90			
		3	19.14	18.90	18.14			

ตาราง ก.5 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร (ต่อ)

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
55	9	1	19.17	18.97	18.04	19.14	18.88	17.91
		2	19.12	18.77	17.91			
		3	19.14	18.90	17.79			

ตาราง ก.6 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
35	3	1	34.60	47.20	45.80	34.67	47.27	45.87
		2	34.70	47.30	45.90			
		3	34.70	47.30	45.90			
	6	1	34.60	47.20	43.10	34.67	47.27	43.13
		2	34.70	47.30	43.20			
		3	34.70	47.30	43.10			
	9	1	34.60	47.20	41.30	34.67	47.27	41.40
		2	34.70	47.30	41.50			
		3	34.70	47.30	41.40			
45	3	1	35.20	47.60	46.10	35.17	47.33	45.97
		2	35.20	47.70	45.90			
		3	35.10	46.70	45.90			

ตาราง ก.6 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร (ต่อ)

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
45	6	1	35.20	47.60	45.10	35.17	47.33	45.17
		2	35.20	47.70	45.20			
		3	35.10	46.70	45.20			
	9	1	35.20	47.60	43.50	35.17	47.33	43.53
		2	35.20	47.70	43.60			
		3	35.10	46.70	43.50			
55	3	1	34.90	47.60	46.10	34.87	47.73	46.13
		2	34.80	47.80	46.20			
		3	34.90	47.80	46.10			
	6	1	34.90	47.60	45.80	34.87	47.73	45.83
		2	34.80	47.80	45.90			
		3	34.90	47.80	45.80			

ตาราง ก.6 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร (ต่อ)

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
55	9	1	34.90	47.60	44.20	34.87	47.73	44.33
		2	34.80	47.80	44.30			
		3	34.90	47.80	44.50			

ตาราง ก.7 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

ข้าวอ้างอิง		ซ้ำ	% Germination							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
		1	39.00	37.00	77.00	68.50	85.00	83.50		
		2	42.00		67.00		81.00			
		3	34.00		75.00		85.00			
		4	33.00		55.00		83.00			
อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	% Germination							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
35	3	1	50	40.75	92	89.00	88	89.25		
		2	35		90		87			
		3	36		87		91			
		4	42		87		91			
	6	1	42	41.25	87	89.25	92	91.00		
		2	36		89		91			
		3	40		90		91			
		4	47		91		90			
	9	1	50	46.25	92	91.25	92	91.50		
		2	57		90		92			
		3	39		92		91			
		4	39		91		91			
45	3	1	40	35.25	86	88.75	90	89.00		
		2	33		91		89			
		3	36		89		89			
		4	32		89		88			
	6	1	36	35.75	90	89.00	91	90.25		
		2	32		89		90			
		3	40		89		91			
		4	35		88		89			

ตาราง ก.7 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร (ต่อ)

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	% Germination							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
45	9	1	40	41.50	91	90.75	92	91.00		
		2	44		92		91			
		3	30		91		90			
		4	52		89		91			
55	3	1	30	32.75	86	84.50	90	88.75		
		2	37		85		89			
		3	36		84		88			
		4	28		83		88			
	6	1	33	37.50	83	85.25	88	89.00		
		2	44		80		89			
		3	36		89		90			
		4	37		89		89			
	9	1	33	39.25	92	90.00	90	89.75		
		2	46		89		89			
		3	36		89		89			
		4	42		90		91			

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ก.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร

ข้าวอ้างอิง		ซ้ำ	% Germination							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
		1	0.84	0.83	2.72	2.00	4.16	4.23		
		2	0.60		1.96		4.20			
		3	0.96		1.20		4.36			
		4	0.92		2.12		4.20			
อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	% Germination							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
35	3	1	1.56	1.61	4.36	4.04	4.2	4.12		
		2	1.64		3.72		3.92			
		3	1.92		4.36		4.28			
		4	1.32		3.72		4.08			

ตาราง ก.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร (ต่อ)

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
35	6	1	2.56	1.67	4.32	4.13	4.4	4.30		
		2	1.52		4.28		4.32			
		3	1.36		4.68		4.16			
		4	1.24		3.24		4.32			
	9	1	1.64	2.03	5.44	5.01	5.16	5.07		
		2	2.08		4.8		5.2			
		3	2.24		4.8		5.12			
		4	2.16		5		4.8			
45	3	1	2	1.52	3.92	3.83	4.04	4.02		
		2	2.44		4.28		3.8			
		3	0.88		3.52		4.16			
		4	0.76		3.6		4.08			

ตาราง ก.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร (ต่อ)

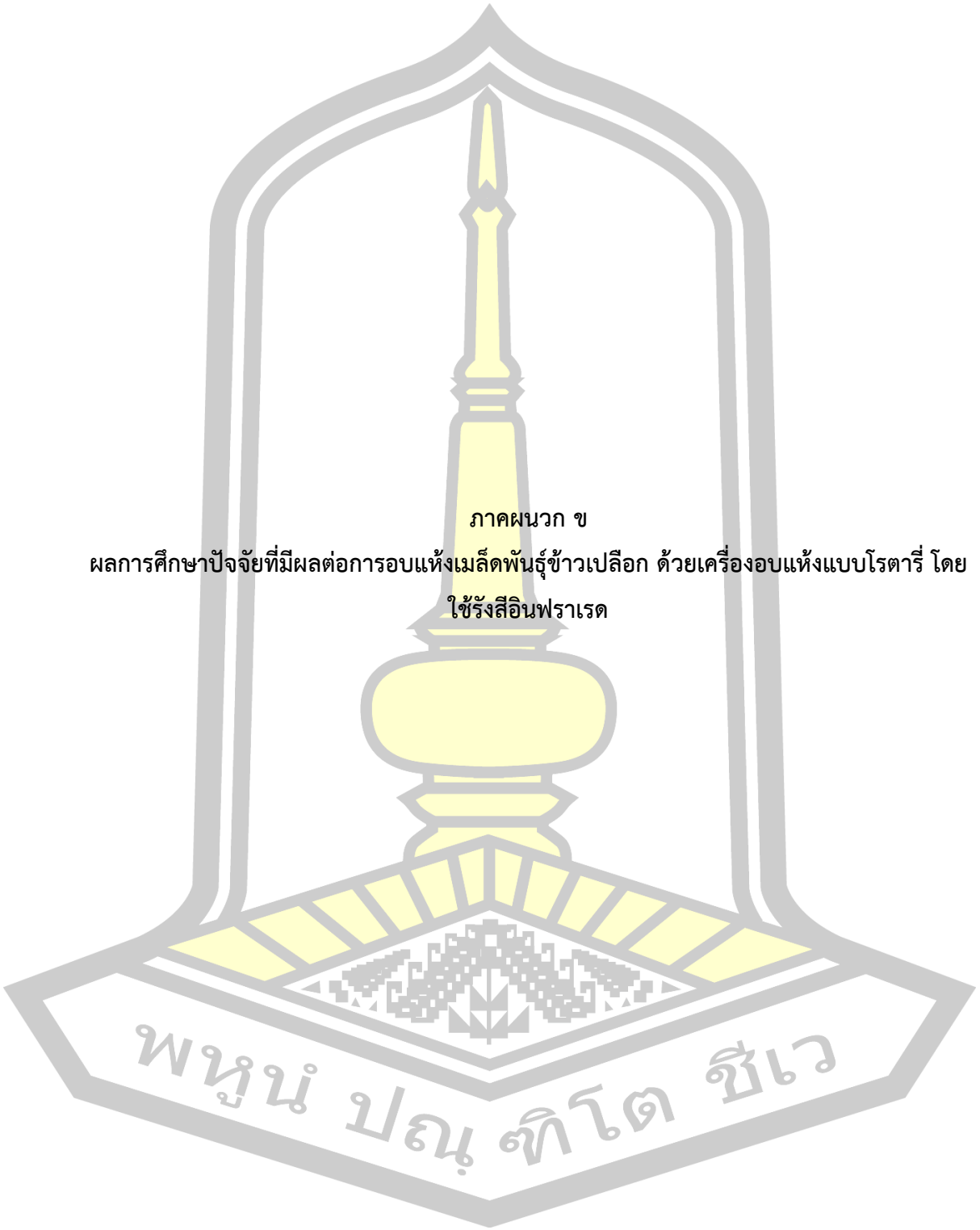
อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
45	6	1	1.48	1.63	3.44	4.12	4.16	4.19		
		2	1.56		4.76		4.36			
		3	1.24		4.44		4.04			
		4	2.24		3.84		4.2			
	9	1	2.16	1.76	5.2	4.34	4.72	4.64		
		2	1.96		4.52		4.68			
		3	1.2		4.12		4.6			
		4	1.72		3.52		4.56			
55	3	1	1.72	1.46	3.44	3.79	3.68	3.84		
		2	1.72		4.48		4.12			
		3	1.72		3.44		3.72			
		4	0.68		3.8		3.84			

ตาราง ก.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้งที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.14 ไมโครเมตร (ต่อ)

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	เวลาที่เมล็ดพันธุ์รับลมร้อน (min)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
55	6	1	1.64	1.63	4.88	4.07	4.32	4.10		
		2	0.72		4.04		4.12			
		3	2.32		3.52		4			
		4	1.84		3.84		3.96			
	9	1	1.8	1.75	3.84	4.24	4.36	4.30		
		2	2.16		3.88		4.12			
		3	1.44		4.8		4.44			
		4	1.6		4.44		4.28			

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ โดยใช้รังสีอินฟราเรด



ตาราง ข.9 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
2.83	0	1	1	28.48	26.64	25.00	28.60	26.84	25.07
			2	28.78	26.52	25.29			
			3	28.53	27.35	24.93			
		2	1	25.87	24.22	22.43	25.85	24.20	22.40
			2	25.85	24.12	22.44			
			3	25.82	24.27	22.33			
		3	1	23.13	21.61	19.83	23.21	21.55	19.84
			2	23.26	21.47	19.85			
			3	23.23	21.56	19.85			
	3	1	1	28.48	27.08	26.01	28.79	27.31	25.48
			2	28.63	27.38	25.28			
			3	29.25	27.48	25.16			
		2	1	26.56	24.97	22.96	26.58	24.96	22.96
			2	26.63	25.16	22.94			
			3	26.54	24.74	22.98			

ตาราง ข.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
2.83	3	3	1	23.09	21.79	20.61	23.21	21.81	20.63
			2	23.24	21.91	20.72			
			3	23.29	21.71	20.57			
	6	1	1	28.39	26.64	25.98	28.14	26.70	25.87
			2	28.20	26.79	25.88			
			3	27.83	26.68	25.73			
		2	1	26.28	24.75	23.16	26.37	24.67	23.21
			2	26.42	24.68	23.32			
			3	26.42	24.58	23.14			
		3	1	23.73	22.20	21.12	23.74	22.17	21.21
			2	23.80	22.54	21.28			
			3	23.67	21.77	21.21			
3.14	0	1	1	29.24	28.28	26.82	29.29	28.11	26.73
			2	29.33	28.22	26.58			
			3	29.29	27.82	26.79			

ตาราง ข.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
3.14	0	2	1	25.32	24.15	23.47	25.46	24.55	23.35
			2	25.52	23.90	23.55			
			3	25.55	25.61	23.04			
		3	1	22.95	21.67	20.75	22.73	21.57	20.75
			2	22.35	21.34	20.70			
			3	22.88	21.71	20.78			
	3	1	1	29.50	28.29	27.81	29.33	28.27	27.03
			2	29.31	28.25	27.06			
			3	29.17	28.26	26.21			
		2	1	25.52	24.29	23.84	25.74	24.61	23.78
			2	25.87	24.62	23.73			
			3	25.84	24.91	23.77			

ตาราง ข.1 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
3.14	3	3	1	23.40	22.82	21.40	23.37	22.56	21.46
			2	23.41	22.63	21.47			
			3	23.30	22.22	21.52			
	6	1	1	29.81	28.84	27.46	29.58	28.70	27.45
			2	29.44	28.83	27.42			
			3	29.48	28.43	27.47			
		2	1	26.57	25.51	24.83	26.60	25.45	24.80
			2	26.57	25.47	24.60			
			3	26.66	25.37	24.97			
		3	1	24.22	23.76	23.00	24.68	23.55	22.92
			2	25.29	23.95	22.82			
			3	24.52	22.93	22.95			

ตาราง ข.10 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังหมุน (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
2.83	0	1	1	29.30	60.80	61.40	30.37	58.47	60.17
			2	31.20	56.50	59.80			
			3	30.60	58.10	59.30			
		2	1	30.30	59.90	61.00	30.13	59.93	61.77
			2	31.10	60.60	61.80			
			3	29.00	59.30	62.50			
		3	1	31.40	60.30	61.10	30.17	59.40	61.97
			2	29.10	59.90	62.40			
			3	30.00	58.00	62.40			
	3	1	1	30.90	59.90	59.30	30.50	58.47	59.27
			2	31.30	57.10	59.80			
			3	29.30	58.40	58.70			
		2	1	31.40	59.50	57.80	31.07	58.27	59.43
			2	30.60	58.10	59.90			
			3	31.20	57.20	60.60			

ตาราง ข.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
2.83	3	3	1	30.10	58.70	59.10	30.60	58.17	60.00
			2	31.30	59.50	60.30			
			3	30.40	56.30	60.60			
	6	1	1	31.70	58.00	56.60	30.87	57.70	56.03
			2	30.80	57.10	55.60			
			3	30.10	58.00	55.90			
		2	1	29.30	59.80	58.70	29.27	58.60	58.37
			2	29.30	59.50	58.30			
			3	29.20	56.50	58.10			
		3	1	30.60	58.50	59.00	29.37	58.70	58.70
			2	29.10	59.90	59.10			
			3	28.40	57.70	58.00			
3.14	0	1	1	30.70	48.70	51.20	31.20	48.73	51.23
			2	31.20	49.90	50.80			
			3	31.70	47.60	51.70			

ตาราง ข.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
3.14	0	2	1	31.20	46.10	51.60	31.33	48.40	51.67
			2	31.80	52.30	51.80			
			3	31.00	46.80	51.60			
		3	1	31.80	48.10	52.50	31.53	47.60	52.53
			2	31.10	47.30	52.60			
			3	31.70	47.40	52.50			
	3	1	1	30.40	48.60	49.70	30.73	47.30	49.33
			2	31.40	46.40	48.70			
			3	30.40	46.90	49.60			
		2	1	31.60	48.10	50.70	31.03	47.43	50.57
			2	30.90	46.30	50.60			
			3	30.60	47.90	50.40			

ตาราง ข.2 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
3.14	3	3	1	30.40	49.80	50.60	31.27	48.17	50.80
			2	31.80	47.00	50.60			
			3	31.60	47.70	51.20			
	6	1	1	31.20	46.10	48.80	31.03	46.80	48.13
			2	30.80	48.00	47.50			
			3	31.10	46.30	48.10			
		2	1	31.10	50.10	49.20	31.37	49.73	49.50
			2	30.10	51.80	49.90			
			3	32.90	47.30	49.40			
		3	1	32.60	47.20	49.90	31.97	48.20	49.57
			2	31.80	47.60	49.40			
			3	31.50	49.80	49.40			

ตาราง ข.11 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ข้าวอ้างอิง			ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
			1	97.00	89.25	89.00	88.75	87.00	89.00
			2	88.00		90.00		89.00	
			3	87.00		89.00		90.00	
			4	85.00		87.00		90.00	
ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
2.83	0	1	1	32.00	31.50	52.00	47.25	52.00	47.50
			2	34.00		55.00		47.00	
			3	35.00		44.00		44.00	
			4	25.00		38.00		47.00	
		2	1	17.00	12.25	19.00	26.00	33.00	30.25
			2	11.00		31.00		24.00	
			3	11.00		31.00		26.00	
			4	10.00		23.00		38.00	
		3	1	8.00	8.00	16.00	20.00	23.00	22.25
			2	8.00		22.00		23.00	
			3	9.00		24.00		20.00	
			4	7.00		18.00		23.00	
	3	1	1	45.00	48.50	57.00	57.00	52.00	56.50
			2	47.00		53.00		57.00	
			3	51.00		59.00		54.00	
			4	51.00		59.00		63.00	
		2	1	15.00	14.50	35.00	29.75	32.00	31.25
			2	11.00		25.00		31.00	
			3	12.00		26.00		31.00	
			4	20.00		33.00		31.00	

ตาราง ข.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
2.83	3	3	1	8.00	9.75	19.00	23.00	26.00	26.00
			2	9.00		28.00		25.00	
			3	12.00		19.00		32.00	
			4	10.00		26.00		21.00	
	6	1	1	59.00	58.75	36.00	60.25	74.00	71.25
			2	56.00		71.00		69.00	
			3	57.00		68.00		69.00	
			4	63.00		66.00		73.00	
		2	1	18.00	18.25	34.00	42.75	33.00	34.00
			2	17.00		45.00		28.00	
			3	20.00		25.00		42.00	
			4	18.00		67.00		33.00	
		3	1	9.00	13.75	23.00	25.25	30.00	26.50
			2	20.00		32.00		24.00	
			3	11.00		22.00		22.00	
			4	15.00		24.00		30.00	
3.14	0	1	1	67.00	66.75	80.00	78.00	73.00	78.25
			2	67.00		76.00		82.00	
			3	66.00		84.00		79.00	
			4	67.00		72.00		79.00	
		2	1	38.00	40.25	49.00	56.75	63.00	58.75
			2	42.00		62.00		61.00	
			3	48.00		55.00		55.00	
			4	33.00		61.00		56.00	
		3	1	34.00	32.50	51.00	48.25	41.00	49.00
			2	26.00		42.00		52.00	
			3	38.00		45.00		59.00	
			4	32.00		55.00		44.00	

ตาราง ข.3 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
3.14	3	1	1	76.00	72.00	80.00	78.00	81.00	79.75
			2	68.00		71.00		79.00	
			3	71.00		85.00		81.00	
			4	73.00		76.00		78.00	
		2	1	56.00	51.00	55.00	57.75	69.00	61.75
			2	37.00		55.00		52.00	
			3	51.00		60.00		61.00	
			4	60.00		61.00		65.00	
		3	1	40.00	35.25	53.00	50.00	58.00	58.25
			2	28.00		49.00		48.00	
			3	33.00		49.00		60.00	
			4	40.00		49.00		67.00	
	6	1	1	78.00	77.00	85.00	87.50	90.00	89.00
			2	82.00		85.00		91.00	
			3	73.00		90.00		89.00	
			4	75.00		90.00		86.00	
		2	1	55.00	54.75	65.00	65.00	74.00	68.25
			2	48.00		73.00		64.00	
			3	64.00		62.00		65.00	
			4	52.00		60.00		70.00	
		3	1	47.00	48.25	62.00	62.50	67.00	62.75
			2	44.00		67.00		60.00	
			3	58.00		61.00		58.00	
			4	44.00		60.00		66.00	

ตาราง ข.12 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ข้าวอ้างอิง			ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
			1	5.00	5.00	4.08	5.15	4.92	5.13
			2	5.44		5.64		5.24	
			3	4.76		4.72		5.20	
			4	4.80		6.16		5.16	
ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	% Germination					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.83	0	1	1	1.72	1.98	2.28	2.24	2.88	2.91
			2	1.76		2.04		2.92	
			3	2.84		2.12		2.88	
			4	1.60		2.52		2.96	

ตาราง ข.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.83	0	2	1	0.80	0.73	1.44	1.40	0.44	1.52
			2	0.92		1.52		2.24	
			3	0.88		1.52		1.40	
			4	0.32		1.12		2.00	
		3	1	0.60	0.45	0.84	0.67	0.44	0.97
			2	0.32		0.24		0.96	
			3	0.48		0.72		1.12	
			4	0.40		0.88		1.36	
	3	1	1	1.84	2.17	2.76	2.80	2.92	2.99
			2	2.56		2.84		2.92	
			3	1.68		2.88		2.96	
			4	2.60		2.72		3.16	

ตาราง ข.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.83	3	2	1	0.60	0.90	1.16	1.60	1.76	1.86
			2	0.44		1.48		1.92	
			3	1.64		1.68		1.60	
			4	0.92		2.08		2.16	
		3	1	0.44	0.55	0.72	0.80	1.12	1.04
			2	0.68		0.20		0.88	
			3	0.88		1.20		1.16	
			4	0.20		1.08		1.00	
	6	1	1	3.80	2.69	3.40	3.82	2.40	3.84
			2	1.92		4.36		4.96	
			3	1.76		3.52		3.92	
			4	3.28		4.00		4.08	

ตาราง ข.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
2.83	6	2	1	1.12	1.23	1.56	1.68	1.76	1.88
			2	1.20		1.60		1.84	
			3	1.56		1.76		1.92	
			4	1.04		1.80		2.00	
		3	1	0.88	0.61	0.96	0.95	0.76	1.06
			2	0.56		1.04		1.16	
			3	0.56		0.92		1.24	
			4	0.44		0.88		1.08	
3.14	0	1	1	2.76	3.80	3.88	3.83	3.12	3.90
			2	4.36		3.80		5.28	
			3	4.08		4.12		3.80	
			4	4.00		3.52		3.40	

ตาราง ข.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.14	0	2	1	2.24	2.48	2.84	2.89	3.48	3.16
			2	3.12		2.52		2.56	
			3	2.76		3.52		4.08	
			4	1.80		2.68		2.52	
		3	1	0.84	2.12	2.60	2.75	2.76	2.94
			2	2.12		2.72		2.80	
			3	2.44		3.12		3.16	
			4	3.08		2.56		3.04	
	3	1	1	4.52	4.28	4.64	4.41	4.52	4.44
			2	4.64		5.40		4.44	
			3	4.12		4.08		4.12	
			4	3.84		3.52		4.68	

ตาราง ข.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.14	3	2	1	3.36	2.63	4.12	2.92	2.52	3.26
			2	2.92		2.64		2.92	
			3	1.32		1.84		4.28	
			4	2.92		3.08		3.32	
		3	1	2.80	2.33	3.32	2.84	2.80	3.01
			2	3.80		3.40		3.04	
			3	1.12		2.36		3.12	
			4	1.60		2.28		3.08	
	6	1	1	4.56	4.64	4.56	4.68	6.52	5.24
			2	5.36		4.68		4.36	
			3	4.48		4.56		5.08	
			4	4.16		4.92		5.00	

ตาราง ข.4 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	จำนวนรอบของการอบแห้ง (รอบ)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)					
				2 เดือน		4 เดือน		6 เดือน	
				ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.14	6	2	1	4.44	3.63	1.92	3.59	3.40	3.82
			2	3.32		3.96		3.80	
			3	4.32		4.48		3.88	
			4	2.44		4.00		4.20	
		3	1	1.48	2.84	2.96	2.93	4.32	3.50
			2	3.68		3.04		3.76	
			3	3.32		2.92		2.80	
			4	2.88		2.80		3.12	

ตาราง ข.13 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
3.14	0	1	20.19	19.28	18.06	20.21	19.23	18.08
		2	20.20	19.39	18.19			
		3	20.24	19.04	17.98			
	3	1	20.13	19.18	17.98	20.10	19.22	17.99
		2	20.13	19.21	17.89			
		3	20.05	19.28	18.10			
	6	1	20.21	19.38	18.67	20.25	19.39	18.48
		2	20.42	19.36	18.41			
		3	20.14	19.43	18.36			
3.32	0	1	20.14	19.31	18.40	20.30	19.40	18.33
		2	20.23	19.35	18.24			
		3	20.53	19.54	18.36			
	3	1	20.18	19.32	18.37	20.15	19.30	18.34
		2	20.00	19.32	18.27			
		3	20.25	19.25	18.38			

ตาราง ข.5 ผลของค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	ความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	ความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	ความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบผ่าน I.R. (%wb.)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (%wb.)
3.32	6	1	20.02	19.39	18.90	20.35	19.46	19.00
		2	20.39	19.41	19.00			
		3	20.65	19.58	19.11			
3.52	0	1	20.19	19.54	19.12	20.14	19.51	19.06
		2	20.10	19.42	19.13			
		3	20.14	19.58	18.94			
	3	1	20.09	19.40	19.60	20.13	19.45	19.39
		2	20.19	19.54	19.25			
		3	20.10	19.40	19.31			
	6	1	20.07	19.42	19.34	20.15	19.45	19.46
		2	20.04	19.37	19.42			
		3	20.33	19.55	19.63			

ตาราง ข.14 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
3.14	0	1	34.70	54.20	54.40	34.23	52.37	54.20
		2	34.50	50.20	53.60			
		3	33.50	52.70	54.60			
	3	1	33.00	52.40	53.40	34.13	52.47	53.17
		2	34.70	51.00	52.70			
		3	34.70	54.00	53.40			
	6	1	33.30	52.40	52.60	34.07	52.40	52.50
		2	34.10	51.00	52.50			
		3	34.80	53.80	52.40			
3.32	0	1	34.30	49.20	50.70	34.10	48.83	51.33
		2	34.50	48.70	52.10			
		3	33.50	48.60	51.20			
	3	1	33.70	47.90	51.40	33.77	48.63	50.90
		2	34.60	48.10	50.70			
		3	33.00	49.90	50.60			

ตาราง ข.6 ผลของค่าอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	อุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	อุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดเริ่มต้น (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบผ่าน I.R. (°C)	เฉลี่ยอุณหภูมิเมล็ดหลังอบแห้ง (°C)
3.32	6	1	33.00	47.20	50.30	33.97	48.47	49.87
		2	34.20	48.60	49.50			
		3	34.70	49.60	49.80			
3.52	0	1	33.20	45.20	49.90	33.80	45.17	49.63
		2	34.10	46.20	49.30			
		3	34.10	44.10	49.70			
	3	1	33.60	43.80	50.60	34.27	44.37	49.43
		2	35.20	45.10	48.90			
		3	34.00	44.20	48.80			
	6	1	32.90	44.50	46.80	34.20	44.27	46.67
		2	35.50	44.60	46.40			
		3	34.20	43.70	46.80			

ตาราง ข.15 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ

ข้าวอ้างอิง		ซ้ำ	% Germination							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
		1	39.00	37.00	77.00	68.50	85.00	83.50		
		2	42.00		67.00		81.00			
		3	34.00		75.00		85.00			
		4	33.00		55.00		83.00			
ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	% Germination							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
3.14	0	1	40.00	34.50	57.00	59.50	74.00	75.25		
		2	34.00		64.00		77.00			
		3	29.00		61.00		76.00			
		4	35.00		56.00		74.00			
	3	1	31.00	28.00	64.00	60.50	79.00	78.50		
		2	20.00		62.00		78.00			
		3	28.00		65.00		78.00			
		4	33.00		51.00		79.00			
	6	1	34.00	33.00	67.00	61.25	81.00	80.50		
		2	33.00		63.00		80.00			
		3	37.00		55.00		80.00			
		4	28.00		60.00		81.00			
3.32	0	1	25.00	27.75	64.00	59.75	79.00	79.00		
		2	27.00		52.00		78.00			
		3	28.00		64.00		80.00			
		4	31.00		59.00		79.00			

ตาราง ข.7 ผลของร้อยละการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	% Germination							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย	ต้นอ่อน	เฉลี่ย
3.32	3	1	33.00	31.75	60.00	62.75	82.00	82.00		
		2	30.00		54.00		83.00			
		3	36.00		74.00		82.00			
		4	28.00		63.00		81.00			
	6	1	38.00	34.75	68.00	68.25	85.00	84.50		
		2	30.00		65.00		86.00			
		3	42.00		70.00		84.00			
		4	29.00		70.00		83.00			
3.52	0	1	29.00	32.75	66.00	67.00	85.00	87.75		
		2	39.00		68.00		88.00			
		3	31.00		74.00		89.00			
		4	32.00		60.00		89.00			
	3	1	26.00	34.50	68.00	68.50	93.00	90.50		
		2	38.00		67.00		90.00			
		3	35.00		65.00		90.00			
		4	39.00		74.00		89.00			
	6	1	40.00	39.50	68.00	69.00	94.00	92.75		
		2	52.00		75.00		93.00			
		3	33.00		65.00		92.00			
		4	33.00		68.00		92.00			

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ข.16 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ

ข้าวอ้างอิง		ซ้ำ	Seedling Growth (cm)							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
		1	0.84	0.83	2.72	2.00	4.16	4.23		
		2	0.60		1.96		4.20			
		3	0.96		1.20		4.36			
		4	0.92		2.12		4.20			
ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.14	0	1	0.44	0.69	2.28	2.03	3.80	3.64		
		2	0.64		1.68		3.76			
		3	0.84		2.60		3.04			
		4	0.84		1.56		3.96			

ตาราง ข.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.14	3	1	1.00	1.05	1.92	2.21	4.36	3.97		
		2	1.32		2.36		3.36			
		3	0.68		2.52		4.12			
		4	1.20		2.04		4.04			
	6	1	1.36	1.15	1.84	2.26	4.20	4.46		
		2	1.28		2.88		4.24			
		3	0.72		1.88		4.20			
		4	1.24		2.44		5.20			
3.32	0	1	1.36	1.12	2.64	2.21	4.08	4.37		
		2	1.32		1.48		4.32			
		3	0.96		2.76		4.52			
		4	0.84		1.96		4.56			

ตาราง ข.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (μm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.32	3	1	2.24	1.34	1.76	2.29	4.76	4.49		
		2	1.04		3.12		4.60			
		3	1.08		2.00		4.20			
		4	1.00		2.28		4.40			
	6	1	1.12	1.36	2.64	2.49	4.48	4.50		
		2	1.92		1.60		4.36			
		3	1.28		3.00		4.52			
		4	1.12		2.72		4.64			
3.52	0	1	1.72	1.38	3.08	2.67	4.76	4.74		
		2	1.36		2.52		4.80			
		3	1.08		2.76		4.68			
		4	1.36		2.32		4.72			

ตาราง ข.8 ผลของการเจริญเติบโตต้นอ่อนเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนาปรังพันธุ์ กข 49 หลังผ่านการอบแห้ง 1 รอบ (ต่อ)

ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด (µm)	ความลาดเอียงของถังอบ (องศา)	ซ้ำ	Seedling Growth (cm)							
			2 สัปดาห์		1 เดือน		2 เดือน		4 เดือน	
			ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย	ความยาวของต้นกล้า (cm)	เฉลี่ย
3.52	3	1	1.08	1.45	3.52	2.72	4.72	4.76		
		2	1.28		3.28		4.76			
		3	2.00		2.04		4.84			
		4	1.44		2.04		4.72			
	6	1	2.20	1.57	2.44	2.73	4.76	5.08		
		2	1.40		2.64		5.00			
		3	1.52		3.28		5.04			
		4	1.16		2.56		5.52			

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบ

การใช้พลังงานในการอบแห้ง 1 รอบ อัตราการป้อน 400 kg/h ที่ความลาดเอียงของถังหมุน 0 องศา และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.32 ไมโครเมตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จำนวนรอบการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก	อบแห้ง 1 รอบ	
อัตราการป้อนเมล็ดพันข้าวเปลือก	400	kg-wet matter/h
	332.50	kg-wet matter/h
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเริ่มต้น	20.30	% wb. (25.47 % db.)
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังอบแห้ง 1 รอบ	18.33	% wb. (22.44 % db.)
กำลังใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง	1.742	kw
ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี	0.78	kg/h
ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี (HHV)	50.152	MJ/kg
ตัวเลขในการแปลงหน่วย (1 kwh)	3.6	MJ

อัตราน้ำระเหย (ระหว่างการอบแห้ง)

= 332.50 x (0.2547-0.2244)

= 10.06 kg water evap./h

พลังงานไฟฟ้ารวม

= 1.742 x 3.6

= 6.27 MJ/h

พลังงานความร้อนจากแก๊สแอลพีจี

= 0.78 x 50.15

= 39.12 MJ/h

พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

= 6.27 / 10.06

= 0.62 MJ/kg water evap.

พลังงานความร้อนจำเพาะ

= 39.12 / 10.06

= 3.89 MJ/kg water evap.

พลังงานจำเพาะรวม

= 0.62 + 3.89

= 4.51 MJ/kg water evap

การใช้พลังงานในการอบแห้ง 1 รอบ อัตราการป้อน 400 kg/h ที่ความลาดเอียงของถังหมุน 3 องศา และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.32 ไมโครเมตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จำนวนรอบการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก	อบแห้ง 1 รอบ	
อัตราการป้อนเมล็ดพันข้าวเปลือก	400	kg-wet matter/h
	332.92	kg-wet matter/h
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเริ่มต้น	20.15	% wb. (25.23 % db.)
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังอบแห้ง 1 รอบ	18.34	% wb. (22.46 % db.)
กำลังใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง	1.742	kw
ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี	0.78	kg/h
ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี (HHV)	50.152	MJ/kg
ตัวเลขในการแปลงหน่วย (1 kwh)	3.6	MJ

อัตราน้ำระเหย (ระหว่างการอบแห้ง)

= 332.92 x (0.2523-0.2246)

= 9.24 kg water evap./h

พลังงานไฟฟ้ารวม

= 1.742 x 3.6

= 6.27 MJ/h

พลังงานความร้อนจากแก๊สแอลพีจี

= 0.78 x 50.15

= 39.12 MJ/h

พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

= 6.27 / 9.24

= 0.39 MJ/kg water evap.

พลังงานความร้อนจำเพาะ

= 39.12 / 9.24

= 4.23 MJ/kg water evap.

พลังงานจำเพาะรวม

= 0.68 + 4.23

= 4.91 MJ/kg water evap

การใช้พลังงานในการอบแห้ง 1 รอบ อัตราการป้อน 400 kg/h ที่ความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.32 ไมโครเมตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จำนวนรอบการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก	อบแห้ง 1 รอบ	
อัตราการป้อนเมล็ดพันข้าวเปลือก	400	kg-wet matter/h
	332.36	kg-wet matter/h
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเริ่มต้น	20.35	% wb. (25.55 % db.)
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังอบแห้ง 1 รอบ	19.00	% wb. (23.46 % db.)
กำลังใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง	1.742	kw
ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี	0.78	kg/h
ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี (HHV)	50.152	MJ/kg
ตัวเลขในการแปลงหน่วย (1 kwh)	3.6	MJ

อัตราน้ำระเหย (ระหว่างการอบแห้ง)

= 332.36 x (0.2555-0.2346)

= 6.95 kg water evap./h

พลังงานไฟฟ้ารวม

= 1.742 x 3.6

= 6.27 MJ/h

พลังงานความร้อนจากแก๊สแอลพีจี

= 0.78 x 50.15

= 39.12 MJ/h

พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

= 6.27 / 6.95

= 0.90 MJ/kg water evap.

พลังงานความร้อนจำเพาะ

= 39.12 / 6.95

= 5.62 MJ/kg water evap.

พลังงานจำเพาะรวม

= 0.90 + 5.62

= 6.53 MJ/kg water evap

การใช้พลังงานในการอบแห้ง 1 รอบ อัตราการป้อน 400 kg/h ที่ความลาดเอียงของถังหมุน 0 องศา และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จำนวนรอบการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก	อบแห้ง 1 รอบ	
อัตราการป้อนเมล็ดพันข้าวเปลือก	400	kg-wet matter/h
	332.94	kg-wet matter/h
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเริ่มต้น	20.14 % wb. (25.22 % db.)	
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังอบแห้ง 1 รอบ	19.06 % wb. (23.55 % db.)	
กำลังใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง	1.742	kw
ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี	0.50	kg/h
ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี (HHV)	50.152	MJ/kg
ตัวเลขในการแปลงหน่วย (1 kwh)	3.6	MJ

อัตราน้ำระเหย (ระหว่างการอบแห้ง)

= 332.94 x (0.2522-0.2355)

= 5.56 kg water evap./h

พลังงานไฟฟ้ารวม

= 1.742 x 3.6

= 6.27 MJ/h

พลังงานความร้อนจากแก๊สแอลพีจี

= 0.50 x 50.15

= 25.08 MJ/h

พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

= 6.27 / 5.56

= 1.13 MJ/kg water evap.

พลังงานความร้อนจำเพาะ

= 25.08 / 5.56

= 4.51 MJ/kg water evap.

พลังงานจำเพาะรวม

= 1.13 + 4.51

= 5.64 MJ/kg water evap

การใช้พลังงานในการอบแห้ง 1 รอบ อัตราการป้อน 400 kg/h ที่ความลาดเอียงของถังหมุน 3 องศา และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จำนวนรอบการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก	อบแห้ง 1 รอบ	
อัตราการป้อนเมล็ดพันข้าวเปลือก	400	kg-wet matter/h
	332.97	kg-wet matter/h
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเริ่มต้น	20.13 % wb. (25.20 % db.)	
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังอบแห้ง 1 รอบ	19.39 % wb. (24.05 % db.)	
กำลังใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง	1.742	kw
ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี	0.50	kg/h
ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี (HHV)	50.152	MJ/kg
ตัวเลขในการแปลงหน่วย (1 kwh)	3.6	MJ

อัตราน้ำระเหย (ระหว่างการอบแห้ง)

= 332.97 x (0.2520-0.2405)

= 3.83 kg water evap./h

พลังงานไฟฟ้ารวม

= 1.742 x 3.6

= 6.27 MJ/h

พลังงานความร้อนจากแก๊สแอลพีจี

= 0.50 x 50.15

= 25.08 MJ/h

พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

= 6.27 / 3.83

= 1.13 MJ/kg water evap.

พลังงานความร้อนจำเพาะ

= 25.08 / 3.83

= 6.55 MJ/kg water evap.

พลังงานจำเพาะรวม

= 1.13 + 6.55

= 8.19 MJ/kg water evap

การใช้พลังงานในการอบแห้ง 1 รอบ อัตราการป้อน 400 kg/h ที่ความลาดเอียงของถังหมุน 6 องศา และความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 3.52 ไมโครเมตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จำนวนรอบการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก	อบแห้ง 1 รอบ	
อัตราการป้อนเมล็ดพันข้าวเปลือก	400	kg-wet matter/h
	332.92	kg-wet matter/h
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเริ่มต้น	20.15	% wb. (25.23 % db.)
ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกหลังอบแห้ง 1 รอบ	19.46	% wb. (24.16 % db.)
กำลังใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง	1.742	kw
ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี	0.50	kg/h
ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี (HHV)	50.152	MJ/kg
ตัวเลขในการแปลงหน่วย (1 kwh)	3.6	MJ

อัตราน้ำระเหย (ระหว่างการอบแห้ง)

= 332.92 x (0.2523-0.2416)

= 3.57 kg water evap./h

พลังงานไฟฟ้ารวม

= 1.742 x 3.6

= 6.27 MJ/h

พลังงานความร้อนจากแก๊สแอลพีจี

= 0.50 x 50.15

= 25.08 MJ/h

พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

= 6.27 / 3.57

= 1.76 MJ/kg water evap.

พลังงานความร้อนจำเพาะ

= 25.08 / 3.57

= 7.02 MJ/kg water evap.

พลังงานจำเพาะรวม

= 1.76 + 7.02

= 8.78 MJ/kg water evap

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายเดชา ปะเขทานัง
วันเกิด	2 มกราคม 2537
สถานที่เกิด	อำเภอหนองบัวแดง จังหวัดชัยภูมิ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 72 หมู่ที่ 9 ตำบลถ้ำวัวแดง อำเภอหนองบัวแดง จังหวัดชัยภูมิ รหัสไปรษณีย์ 36210
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นิสิต
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2555 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช) สาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ พ.ศ.2557 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส) สาขาวิชาเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ พ.ศ.2560 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ.2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.)

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว