



การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือกด้วยยูวีซีระหว่าง
การเก็บรักษา

MACHINE LEARNING FOR FUNGAL INHIBITION OF PADDY

BY UV-C DURING STORAGE

ธนพล รัตนมาลา

THANAPON RATTANAMALA

อัครพงษ์ เอือการ

AKARAPONG AEUKAN

รัชชานนท์ อึ้งตระกูล

RATCHANON UANGTAGOON

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือกด้วยยูวีซีระหว่าง
การเก็บรักษา

MACHINE LEARNING FOR FUNGAL INHIBITION OF PADDY
BY UV-C DURING STORAGE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MACHINE LEARNING FOR FUNGAL INHIBITION OF PADDY
BY UV-C DURING STORAGE



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING AND
ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS CHUMPHON PROVINCE

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือกด้วยยูวีซีระหว่าง
การเก็บรักษา

Project Title Machine learning for fungal inhibition of paddy by UV-C during
storage

ชื่อนักศึกษา นายธนพล รัตนมาลา รหัสนักศึกษา 62201057
นายอัครพงษ์ เอื้อการ รหัสนักศึกษา 62201112
นายรัชชานนท์ อังตระกูล รหัสนักศึกษา 62201147

ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.พรประพา คงตระกูล

ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ธัชพล	จูงเจริญ	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ศิริวรรณ	ศรีสังข์	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ณัฐพงศ์	รัตนเดช	กรรมการสอบ	
ผศ.ว่าที่ร้อยตรี ดร.กิตติศักดิ์	เพชรพันธ์	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.วารุณี	ลิ้มมัน	กรรมการสอบ	
รศ.ดร.นฤปดี	ศรีสังข์	กรรมการสอบ	
รศ.ดร.ชัยวัฒน์	รัตนมีชัยสกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา	
รศ.ดร.พรประพา	คงตระกูล	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 8 มิถุนายน 2566 เวลา 17.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 304

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 16 มิถุนายน 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือกด้วยยูวีซีระหว่าง การเก็บรักษา		
ชื่อนักศึกษา	นายธนพล	รัตนมาลา	รหัสนักศึกษา 62201057
	นายอัครพงษ์	เอื้อการ	รหัสนักศึกษา 62201112
	นายรัชชานนท์	อึ้งตระกูล	รหัสนักศึกษา 62201147
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมพลังงาน		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ชัยวัฒน์ รัตน์มีชัยสกุล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.พรประภา คงตระกูล		
ปริญญานิพนธ์			

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus sp.* ด้วยรังสี UV-C พร้อมทั้งศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องในการทำนายประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของข้าวเปลือกด้วยรังสี UV-C โดยจะนำข้าวเปลือกปริมาณ 50 มิลลิกรัม และเชื้อรา *Aspergillus sp.* ที่ความเข้มข้นอยู่ที่ 1×10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร โดยนำมาทดลองกับหลอดไฟ UV-C ขนาด 20 40 และ 60 วัตต์ และระยะเวลา 0 ถึง 60 นาที ผลปรากฏว่าการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus sp.* สูงสุดอยู่ที่เงื่อนไขหลอด UV-C 60 วัตต์ และใช้เวลา 60 นาที จากนั้นใช้ข้อมูลการทดลองสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบสมรรถนะการทำนายประสิทธิภาพที่ในการยับยั้งเชื้อราของข้าวเปลือกโดยใช้รังสี UV-C การศึกษาครั้งนี้ใช้จำนวนอัลกอริทึมทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ Multiple Linear Regression (MLR) Support Vector Regression (SVR) Decision Tree Regression (DTR) และ Random Forest Regression (RFR) แบบจำลองของอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดคือ DTR มีความแม่นยำในการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุด Training set (Coefficient of Determination of Calibration, R^2) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าวัดจริงเท่ากับ 0.994 และค่าความผิดพลาดกำลังสองของการสร้างแบบจำลอง (Root Mean Squared Error of Calibration, RMSEC) เท่ากับ 1.85% และมีประสิทธิภาพการทำนายการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุด Test set (Coefficient of Determination of prediction, r^2) ของชุดทดสอบเมื่อเทียบกับค่าวัดจริงเท่ากับ 0.848 และมีค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของการทำนาย (Root Mean Squared Error of Prediction, RMSEP) เท่ากับ 7.10%

คำสำคัญ: ยูวีซี, การยับยั้งเชื้อรา, การเรียนรู้ของเครื่อง

Thesis	Machine learning for fungal inhibition of paddy by UV-C during storage		
Student	Mr. Thanapon	Rattanamala	Student ID 62201057
	Mr. Akarapong	Aeukan	Student ID 62201112
	Mr. Ratchanon	Uangtagoon	Student ID 62201147
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Mechanical Engineering and Energy Engineering		
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chaiwat Rattanamechaikul		
Associate advisor	Assoc. Prof. Dr. Pornprapa Kongtragoul		

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the inhibition of *Aspergillus sp.* by UV-C radiation and to study along with develop a machine learning model to predict the antifungal efficiency of paddy by UV-C radiation 50 g and *Aspergillus sp.* at a concentration of 1×10^4 spore/ml It was experimented with 20 40 and 60 watts UV-C lamps and a period of 0 to 60 minutes. The results showed that the maximum inhibition of *Aspergillus sp.* was at a 60 watt UV-C lamp and a period of 60 minutes. The experimental data were used to construct the model and compare the predictive performance of the antifungal efficacy of paddy using UV-C radiation. This study used a total of 4 algorithms, namely Multiple Linear Regression (MLR) Support Vector Regression (SVR) Decision Tree Regression (DTR) and Random Forest Regression (RFR). The optimal model of the algorithm DTR is accurate in predicting the fungal growth inhibition efficiency of the training set (Coefficient of Determination of Calibration, R^2) was the highest compared to the actual measurement value equal to 0.994 and the Root Mean Squared Error of Calibration (RMSEC) was 1.85%, and the growth inhibition prediction performance of The fungi of the test set (Coefficient of Determination of prediction, r^2) of the test set compared to the actual measure were 0.848 and the Root Mean Squared Error of Prediction (RMSEP) was 7.10%.

Keywords: UV-C, Fungal inhibition, Machine Learning

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล และ รองศาสตราจารย์ ดร.พรประภา คงตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษาแนะนำข้อมูลทำให้เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำโครงการ นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่เอื้ออำนวยสถานที่ในการหาข้อมูล และสถานที่ให้การทดลองการทำโครงการ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรัก ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการจัดทำโครงการของคณะผู้จัดทำ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง และขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมพลังงาน และวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือด้านงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับ แมชชีนเลิร์นนิ่งสำหรับการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือกด้วยยูวีซีระหว่งการเก็บรักษา

ธนพล รัตนมาลา
อัครพงษ์ เอื้อการ
รัชชานนท์ อั้งตระกูล
พฤษภาคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้าวสังข์หยด	4
2.2 ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวข้าวและการดำเนินการหลังการเก็บเกี่ยว	5
2.3 รังสียูวีซี	6
2.4 อาหารฉายรังสี	7
2.5 เชื้อรา	7
2.6 Artificial Intelligence	10
2.7 Machine Learning	10
2.8 วิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	16
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	17
3.3 การคำนวณประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i> บนเมล็ดข้าวเปลือก	22
3.4 หลักการสร้างและการทดสอบแบบจำลอง Machine learning	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	24
4.1 ผลของการฉายรังสี UV-C ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา <i>Aspergillus</i>	24
4.2 การยับยั้งการเจริญเติบโตเชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือกด้วยรังสี UV-C	26
4.3 การสร้างแบบจำลองชุดข้อมูลและผลลัพธ์ของแบบจำลอง	30
4.4 การประเมินแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยใช้ตัวอย่างชุดทดสอบ	31
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการศึกษา	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก ตารางการทดลอง	41
ภาคผนวก ข Drawing 2D Parts Box	43
ภาคผนวก ค ชุดโค้ดของโมเดล 4 ประเภท	46
ภาคผนวก ง รูปเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i> X100 บนเมล็ดข้าวเปลือกหลังเก็บไว้ 7 วัน	63
ประวัติผู้เขียน	67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสังข์หยด	5
4.1	ผลการฝึกอบรมและทดสอบแบบจำลองการถดถอยเพื่อการทำนายการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา	30
ก.1	แสดงค่าจำนวนเชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการฉายรังสี UV-C	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	9
2.2	11
3.1	17
3.2	18
3.3	18
3.4	19
3.5	19
3.6	20
3.7	20
3.8	21
3.9	21
4.1	25
4.2	27
4.3	28
4.4	29
4.5	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.1 Drawing 2D Cabinet	44
ข.2 Drawing 2D Rooftop Cabinet	44
ข.3 Drawing 2D Acrylic base	45
ข.4 Drawing 2D UV-C Box	45
ง.1 รูปเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i> X100 ที่กำลังไฟ 20 W หลังเก็บไว้เป็นเวลา 7วัน	64
ง.2 รูปเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i> X100 ที่กำลังไฟ 40 W หลังเก็บไว้เป็นเวลา 7วัน	65
ง.3 รูปเชื้อรา <i>Aspergillus sp.</i> X100 ที่กำลังไฟ 60 W หลังเก็บไว้เป็นเวลา 7วัน	66



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ข้าวเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยเพราะมีการส่งออกเป็นอันดับต้นๆ ของโลกโดยในปีที่ผ่านมามีการส่งออกถึง 7.69 ล้านตันหรือมีมูลค่าการส่งออกถึง 1.3 แสนล้านบาท [1] ซึ่งข้าวพันธุ์สังข์หยดหรือชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Oryza sativa L.* เป็นข้าวพันธุ์ท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุงที่ได้รับเป็นสินค้าบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ลักษณะที่สามารถสังเกตได้ของข้าวสังข์หยดคือมีสีแดงอ่อนจนถึงสีแดงเข้มและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงต่อร่างกาย ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวที่สามารถปลูกได้เฉพาะนาปีเพราะเป็นข้าวที่ไวต่อแสง โดยปลูกได้เฉพาะฤดูคือช่วงเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนกรกฎาคม และเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงของเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม [2] โดยหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวแล้วยังพบว่าข้าวยังมีความชื้นอยู่ประมาณ 12%-14% เพราะมีการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ข้าวจึงถูกปนเปื้อนได้ง่ายจากการเน่าเสียหรือการเกิดเชื้อราเนื่องจากความชื้นเริ่มต้นที่สูงในระหว่างการเก็บรักษา โดยเชื้อราที่พบส่วนใหญ่มักจะเป็น *Aspergillus sp.* การแพร่กระจายของเชื้อราทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ คุณภาพผลผลิตลดลงและยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสารพิษอะฟลาทอกซิน (Aflatoxins) ซึ่งเป็นสารที่พบมากและเป็นสารพิษที่สามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ [3]

การบริโภคข้าวที่มีการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้เกิดปัญหาสุขภาพได้ จากการศึกษาข้าว 38 ตัวอย่างจาก 68 ตัวอย่างในปากีสถานพบว่ามีสารอะฟลาทอกซินเฉลี่ยอยู่ที่ 8.23 ถึง 19.54 มิลลิกรัม ในออสเตรเลีย ข้าว 24 ตัวอย่างจาก 68 ตัวอย่าง พบสารอะฟลาทอกซินเฉลี่ยอยู่ที่ 0.45 ถึง 9.86 มิลลิกรัม [4] สารอะฟลาทอกซินสามารถทนความร้อนได้ถึง 260 องศาเซลเซียส [5] จึงยากต่อการสลาย จากปัญหาเหล่านี้จึงได้มีแนวทางในการยับยั้งเชื้อราด้วยวิธีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมความชื้นซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดเชื้อรา *Aspergillus sp.* หรือเชื้อราชนิดอื่นๆ ระหว่างการตากข้าวหรือการเก็บรักษา การใช้รังสี UV-C เป็นวิธีการหนึ่งในการกำจัดเชื้อราที่อยู่บนเมล็ดข้าว เนื่องจากรังสี UV-C ไม่มีสารตกค้างและมีความสามารถในการยับยั้งการสร้าง DNA และ RNA ของเชื้อรานำไปสู่การตายของเซลล์ [6]

การที่ข้าวเปลือกยังมีเชื้อราหลงเหลืออยู่จะส่งผลต่อคุณภาพและราคาของผลผลิตโดยตรง จึงใช้รังสี UV-C เพื่อยับยั้ง ซึ่งในความเป็นจริงเราไม่สามารถทราบจำนวนเชื้อราทำให้ระยะเวลาในการยับยั้งเชื้อราแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงนำการเรียนรู้ของเครื่องมาทำนายประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราและในการเรียนรู้ของเครื่องได้รับการตั้งโปรแกรมให้เรียนรู้รูปแบบจากข้อมูลตามกฎทางคณิตศาสตร์และสมมติฐานทางสถิติมีการใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพหลายวิธีเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ทำให้การใช้การเรียนรู้ของเครื่อง ในการศึกษาวิจัยได้นำไปสู่ความก้าวหน้าอย่างมาก [7] เช่น การทำนายการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus sp.* ในเกล็ดพริกแดงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาด้วยสนามไฟฟ้าแบบ Pulsed electric field (PEF) [8] การทำนายความคงตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง Xylanases จากจีโนมของเชื้อรา *Aspergillus sp.* [9] โดยแบบจำลองการทำนายการถดถอยนี้มีหลายประเภท คือ Linear non-linear quadratic และ Partial least squares regression [10] ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำไปใช้กับการทำนายความสัมพันธ์การยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus sp.* กับ รังสี UV-C [11]

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* ด้วยรังสี UV-C ประเมินและเปรียบเทียบอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง 4 ประเภทประกอบไปด้วย 1) Multiple Linear Regression (MLR) 2) Support Vector Regression (SVR) 3) Decision Tree Regression (DTR) 4) Random Forest Regression (RFR) สำหรับการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือก

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือกโดยใช้รังสี UV-C ระหว่างการเก็บรักษา
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องในการทำนายประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของข้าวเปลือกโดยใช้รังสี UV-C

1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

- 1.3.1 ข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดจากจังหวัดพัทลุง โดยมีความชื้นเริ่มต้นที่ 12-14 %
- 1.3.2 เชื้อราที่นำมาทดสอบคือ *Aspergillus sp.*
- 1.3.3 หลอดไฟฆ่าเชื้อ UV-C ที่ใช้ในการทดลอง คือ 20 40 และ 60 วัตต์
- 1.3.4 ระยะเวลาที่ให้อยู่ในช่วง 0 5 10 15 20 30 40 50 และ 60 นาที
- 1.3.5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน
- 1.3.6 นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบและหาอัลกอริทึมที่มีค่าความแม่นยำมากที่สุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 คู่มือทดสอบการยับยั้งเชื้อราด้วยรังสี UV-C ที่มีคามสามารถในการยับยั้งเชื้อรา
- 1.4.2 ทราบเวลาและความเข้มของแสง UV-C ที่มีผลต่อการกำจัดเชื้อรา
- 1.4.3 ได้ค่าความแม่นยำที่สูงที่สุดในการยับยั้งเชื้อราของอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 จัดหาอุปกรณ์และออกแบบการทดลอง
- 1.5.3 ทดลองการยับยั้งเชื้อรา
- 1.5.4 ดูค่าความแม่นยำในการทำนายของอัลกอริทึม
- 1.5.6 วิเคราะห์ผลและสรุป

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะดำเนินการ									
	2565		2566							
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาทฤษฎีและวิจัย	←→									
2.จัดหาอุปกรณ์และออกแบบการทดลอง	←→									
3.ทดลองการยับยั้งเชื้อรา			←→							
4.ดูค่าความแม่นยำในการทำนายของอัลกอริทึม								←→		
5.วิเคราะห์ผลและสรุป								←→		
6.เขียนเล่มวิจัย								←→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวสังข์หยด

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์ไทยแท้ที่ต้นกำเนิดมาตั้งแต่บรรพบุรุษทำให้ไม่สามารถระบุปีที่กำเนิดได้แน่ชัด โดยในปี 2543 ทางศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดพัทลุงได้ทำการปลูกข้าวและขยายพันธุ์ ข้าวพันธุ์สังข์หยดเป็นข้าวที่ปลูกได้ปีละ 1 ครั้ง (ข้าวนาปี) ปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ปลูกได้ดีในจังหวัดพัทลุงเนื่องจากมีพื้นที่ราบลุ่มที่ราบลุ่มที่ราบลาดและทะเลสาบสงขลา-พัทลุง ทำให้มีแหล่งน้ำและดินที่อุดมสมบูรณ์เต็มไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว และในวันที่ 23 มิถุนายน 2549 ข้าวพันธุ์สังข์หยดได้ขึ้นทะเบียนเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (GI) เป็นข้าวพันธุ์แรกของไทยจากจากกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์โดยให้ใช้ตราสัญลักษณ์ GI โดยมีกระบวนการผลิตภายใต้การควบคุมของคณะกรรมการการรับรองคุณภาพข้าวสังข์หยดพัทลุง ผ่านระบบการจัดการคุณภาพ GAP ระบบการผลิตข้าวอินทรีย์ควบคู่กับระบบการรับรองสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ จึงมีความปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง

2.1.1 ลักษณะของข้าวสังข์หยด

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวที่มีความแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่นๆ โดยทั่วไปมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวปนแดงอ่อนๆ ถึงแดงเข้ม เมล็ดเล็กเรียวยาว ท้ายงอน มีขนาดยาว 6.70 มิลลิเมตร กว้าง 1.18 มิลลิเมตร หนา 1.64 มิลลิเมตร ต้นข้าวมีความสูงประมาณ 140 เซนติเมตร มีการแตกกอประมาณ 8 ต้นต่อกอและให้ผลผลิตค่อนข้างน้อยเฉลี่ยปีละ 330 กิโลกรัมต่อไร่ มีความทนทานต่อโรคต่างๆของข้าวแมลงและศัตรูพืชสามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมต่างๆได้ดี มีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวกล้องและข้าวซ้อมมือทั่วไปเมื่อหุงสุกมีลักษณะของเมล็ดข้าวจะหอมและมีความนุ่มหุงขึ้นหม้อได้ดี แม้จะระยะเวลาผ่านไปนานจนเย็นก็ยังนุ่มมีความคงตัวของเมล็ดข้าวสูง

2.1.2 ประโยชน์ของข้าวสังข์หยด

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมกันในหมู่คนรักสุขภาพมีมีโลสเฉลี่ย 11.36% มีกากใย โปรตีน ฟอสฟอรัส วิตามินบีหลายชนิด และธาตุเหล็กสูง สารอาหารต่อ 100 กรัม (ตาราง 1) ถ้าหากกินเป็นประจำจะช่วยในการป้องกันโรคเหน็บชา ปากนกกระจอก ช่วยในกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน และโรคเพลลากรา (โรคที่เกิดจากการขาดวิตามินบี) [12]

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสังข์หยด

สารอาหาร	ปริมาณ (ต่อ 100กรัม)
โปรตีน	8.30 กรัม
ไขมัน	1.4 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	80 กรัม
น้ำ	9.4 กรัม
เส้นใยอาหาร	0.9 กรัม
เถ้า	0.9 กรัม
ธาตุเหล็ก	0.52 กรัม
วิตามิน B1	0.18 กรัม
วิตามิน B2	0.06 กรัม
วิตามิน B (ในอาซิน)	3.97 มิลลิกรัม
พลังงาน	366 กิโลแคลอรี

ที่มา: กองโภชนาการ กรมอนามัย (2547) [13]

2.2 ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวข้าวและการดำเนินการหลังการเก็บเกี่ยว

ข้าวเปลือกโดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวเมื่อความชื้นของเมล็ดข้าวอยู่ระหว่าง 22 ถึง 28% (แบบเปียก) ระดับความชื้นนี้ทำให้ข้าวเปลือกไวต่อเชื้อราและศัตรูพืชส่งผลให้เกิดความเสียหายและสูญเสียคุณค่าทางอาหาร ชาวนาประสบปัญหาในการตากข้าวเปลือกในฤดูกาลที่ฝนตกหนักและสภาพอากาศที่มีหมอกหนาสำหรับการตากข้าวเปลือกเนื่องจากฝนตกหนักจากอิทธิพลของลมมรสุม แม้แต่การตากเมล็ดพืชก็ยากขึ้นในช่วงนี้ปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นส่งผลให้เมล็ดพืชมีคุณภาพต่ำ ซึ่งส่งผลให้สูญเสียมากขึ้นการอบแห้งและการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดความร้อนสะสมในเมล็ดข้าว การบุกรุกของแมลง การพัฒนาของราและกลิ่น การเหี่ยว การงอก ความสด ตลอดจนการสูญเสียความสดและปัจจัยอื่นๆ ล้วนส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงคุณภาพของเมล็ดพืชต่ำเนื่องจากการอบแห้งและการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมคุณภาพของเมล็ดข้าวก็นลดลงเช่นกันเนื่องจากความล่าช้าในการอบแห้ง เนื่องจากคนส่วนใหญ่พึ่งพาวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิมวิธีการดั้งเดิมทั่วไปที่มักใช้ในการอบแห้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ได้แก่ การตากแดด (เช่น การตากเสื่อ การตากบนทางเท้า) การตากในทุ่งและการกอง

อีกทางหนึ่งจำเป็นต้องมีการมีส่วนร่วมทางการเงินที่สำคัญและความรู้ทางเทคนิคในการทำให้แห้งทางอุตสาหกรรมต้องการในกรณีนี้ เครื่องอบแห้งเชิงกลสามารถให้การอบแห้งเมล็ดพืชที่สม่ำเสมอมากขึ้น การคืนค่าหัวสีข้าวที่สูงขึ้นและคุณภาพของเมล็ดพืชที่สูงด้วยเครื่องอบเหล่านี้ใช้งานได้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลอดภัยในสายฝนและตอนกลางคืน มีความจุสูงกว่าลดต้นทุนแรงงานและสามารถควบคุม พารามิเตอร์การอบแห้งได้อย่างง่ายดายโดยทั่วไป การทำให้แห้งด้วยเครื่องจักรทำให้สามารถควบคุม อุณหภูมิและความชื้นได้ดีกว่า และเมล็ดข้าวที่แห้งด้วยกลไกทำให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพสูงกว่าการตาก แดดกระบวนการนี้ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วในกรณีที่สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยและช่วยให้ สามารถเก็บรักษาได้ในระยะยาวโดยป้องกันความเสียหายต่างๆ

หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วเมล็ดจะถูกทำให้แห้งโดยการบังคับอากาศผ่านกลไกเพื่อขจัดความชื้น อุณหภูมิของอากาศแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความหลากหลายและความแก่ของพืชผลทาง การเกษตรมีอิทธิพลต่อกระบวนการกำจัดความชื้นความชื้นของเมล็ดควรทำให้แห้งน้อยกว่า 12% และความชื้นของเมล็ดธัญพืชน้อยกว่า 14% [14]

2.3 รังสียูวีซี

รังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งออกได้เป็นหลักๆสามบริเวณ คือ 1) รังสีไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 200-280 nm (UV-C) 2) รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นกลางมีความ ยาวคลื่นอยู่ในช่วง 280-320 nm (UV-B) 3) รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นสูงมีความยาวคลื่น อยู่ในช่วง 320-400 nm (UV-A) [15] UV-C ต่างก็ทราบกันดีว่ามีประสิทธิภาพฆ่าเชื้อโรคสามารถ กระตุ้นความเสียหายของ DNA การก่อตัวของ *Pyrimidine dimers* ในจุลินทรีย์ระดับเซลล์หลังจาก การดูดซับโฟตอนโดย DNA จะถูกบล็อกการถอดรหัสและการจำลองแบบของ DNA ซึ่งนำไปสู่การตาย ของเซลล์ การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นวิธีการที่ไม่ใช้ความร้อนแต่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโต ของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาของผลผลิตสดต่างๆ [16] กระบวนการฉายรังสีเป็นวิธีการที่ไม่ สิ้นเปลืองและมีกำลังสูงสำหรับฆ่าเชื้ออาหาร กำจัดแมลง จุลินทรีย์ และไวรัส รังสี UV-C เป็นรังสีที่ไม่ ก่อให้เกิดไอออนของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า [17] แม้จะมีรายงานผลกระทบที่ผันแปรขึ้นอยู่กับ ประเภทของจุลินทรีย์ที่พิจารณา แต่ข้อมูลทางวรรณกรรมเห็นด้วยกับข้อเท็จจริงที่ว่าแบคทีเรียและ ไวรัสได้รับการพิสูจน์แล้วว่าไวต่อแสง UV-C มากกว่ายีสต์และเชื้อราที่เป็นเส้นใย ในบรรดาจุลินทรีย์ ดังกล่าว พวกที่มี *Conidia* หรือสปอร์ที่มีเม็ดสีมีความไวต่อการฉายรังสี UV-C น้อยกว่าอาจ เนื่องมาจากผลการป้องกันที่กระทำโดยเม็ดสีที่มีความเข้มข้นสูง เช่น เมลานิน ในโครงสร้างการ สืบพันธุ์ของพวกมันการฉายรังสี UV-C สำหรับการฆ่าเชื้อในอากาศและพื้นผิวได้รับการศึกษามากกว่าศตวรรษ และระบบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดไฟจำนวนมากที่ความยาวคลื่นประมาณ 253 นาโนเมตร มีจำหน่ายในท้องตลาดในอุตสาหกรรมอาหาร การฉายรังสี UV-C ใช้เพื่อกำจัดการปนเปื้อนของวัสดุ บรรจุภัณฑ์บางชนิด แม้ว่าจะไม่เหมาะกับแก้วและไม่สามารถนำไปใช้กับอ่างหรือฝาสสำเร็จรูปได้ง่าย เนื่องจากรูปร่างของมันแต่สามารถใช้กับฝา พอยล์เคลือบและพื้นผิวเรียบที่สามารถฉายรังสีได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของมันได้รับการพิสูจน์แล้วว่าขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างพื้นผิวและ แหล่งกำเนิดรังสี UV-C และการมีอยู่ของอนุภาคฝุ่นที่ก่อให้เกิดสิ่งที่เรียกว่า "เอฟเฟกต์เงา" และทำให้เกิดพฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อาหารฉายรังสี

องค์การอนามัยโลก (WHO) รายงานว่าปริมาณการฉายรังสีเล็กน้อยหรือเท่ากับ 10 kGy โดยทั่วไปถือว่าไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความปลอดภัยของอาหาร เมื่อนำไปใช้ตามข้อบังคับ ปัจจุบัน กระบวนการฉายรังสีถือว่าไม่เป็นอันตรายและกำหนดให้มีภาระผูกพันในการติดตาม การควบคุมโรงงาน และการควบคุมอาหารในระหว่างขั้นตอนการตลาด [19] ในปี พ.ศ. 2543 แสง UV ได้รับการอนุมัติจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) ให้เป็นทางเลือกในการรักษาแทนการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อนของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้สด นอกจากนี้การใช้แสงยูวีในการแปรรูปอาหารยังได้รับการอนุมัติในประเทศอื่นๆ เช่น อินเดียและอิสราเอล [20] และปัจจุบัน อนุญาตให้ใช้กับผลิตภัณฑ์บางชนิดในสหภาพยุโรป (เห็ด ขนมหัง ยีสต์ขนมปัง *Saccharomyces cerevisiae* และนม) [21]

2.5 เชื้อรา

จุลินทรีย์ในกลุ่มอาณาจักรฟังไจ (Fungi) เจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีอากาศ ความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต จึงสามารถพบการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ทั้งบนอาหารหรือในที่ที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ลักษณะที่พบเห็นได้เมื่อติดเชื้อราคือมีกลิ่นเหม็นหืนที่ซึ่งเชื้อราที่มักพบในข้าวและผลผลิตจากการเกษตร ได้แก่ *Aspergillus sp.* *Rhizopus sp.* เป็นต้น เชื้อราไม่สามารถสร้างอาหารได้ด้วยตนเอง ต้องได้รับพลังงานอาหารจากแหล่งอื่นด้วยการออกซิโดสสารอินทรีย์

2.5.1 *Aspergillus sp.*

สกุล *Aspergillus* (ไฟลัม *Ascomycota*) ประกอบด้วยเชื้อรา *saprophytic* และที่แพร่หลายเกือบ 350 สายพันธุ์ รวมถึงเชื้อโรคที่สำคัญของมนุษย์ (*A.fumigatus*) สิ่งมีชีวิตจำลอง (*A.nidulans*) และโรงงานเซลล์จุลินทรีย์ (*A.oryzae* และ *A.niger*) และใช้สำหรับการหมักอาหารมากกว่า 2,000 ปี เชื้อรา *Aspergillus* จำนวนหนึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในการหมักอาหารแบบดั้งเดิมตัวอย่างเช่น *A.oryzae* ใช้สำหรับการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น สาเก โชจู อะมาซาเกะ และมิริน ญี่ปุ่นและฮวงจิวในจีน *A.kawachii* ยังมีความสำคัญต่อการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เช่น โชจูในญี่ปุ่น และมักกอลลีในเกาหลี เชื้อรา *Aspergillus* หลายชนิดใช้สำหรับการผลิตซอสถั่วเหลือง (รวมถึงโชยุ มิโซะ และทามาริในญี่ปุ่น กันจังในเกาหลี และจินาเกียวในจีน) หรือซอสถั่วเหลืองเช่น มิโซะในญี่ปุ่นและโดเอ็นจังในเกาหลีปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารหมักเชื้อรา *Aspergillus* คิดเป็น 2% ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติของญี่ปุ่น อย่างไรก็ตาม *Aspergillus* ยังเป็นผู้ผลิตสารพิษ โดยผลิตสารพิษจากเชื้อราที่เป็นอันตราย [22] โดยชนิดที่พบมากที่สุดคือ *A.niger* และ *A.flavus* ตามด้วย *A.parasiticus*, *A.ochraceus*, *A.carbonarius* และ *A.alliaceus* พวกมันปนเปื้อนผลิตผลทางการเกษตรในขั้นตอนต่างๆ รวมถึงก่อนการเก็บเกี่ยว การแปรรูป และการจัดการ [23] ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของอาหารหมักดอง และมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์วิธีการแปรรูปอาหารแบบดั้งเดิม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น หน้าที่ กลไก และความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของการใช้เชื้อรา *Aspergillus* ในการหมักอาหารจึงควรได้รับการศึกษาอย่างเป็นระบบ

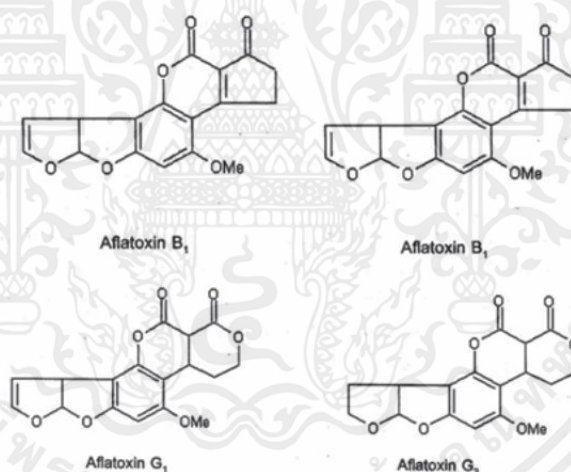
2.5.2 อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin)

อะฟลาทอกซิน B1, B2, G1 และ G2 เป็นหนึ่งในสารพิษจากเชื้อราที่เป็นพิษมากที่สุด (ลำดับความเป็นพิษคือ อะฟลาทอกซิน B1 > อะฟลาทอกซิน G1 > อะฟลาทอกซิน B2 > อะฟลาทอกซิน G2) เป็นสารทุติยภูมิที่เกิดจากเชื้อราไฟโตพาโทเจนิกหลายชนิด สารประกอบในตระกูลนี้ซึ่งผลิตโดยเชื้อราหลายชนิด รวมถึงโมเลกุลอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่หลากหลาย โดยมีโครงสร้างทางเคมีที่หลากหลายคุณสมบัติทางพิษออกซิเนติกส์ ในบรรดาผู้ผลิตเชื้อราหลักของสารพิษจากเชื้อรา *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* และสกุล *Alternaria* เป็นกลุ่มที่พบได้บ่อยที่สุด เชื้อราเหล่านี้มีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม และพวกมันมักจะตั้งรกรากในพืชผลส่วนใหญ่ เช่น ข้าว ถั่ว ผัก เครื่องเทศ และอื่นๆ ในระหว่างการเจริญเติบโตและหลังการเก็บเกี่ยวอย่างไรก็ตาม การปรากฏตัวของเชื้อราและการสังเคราะห์สารพิษจากเชื้อราขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คุณสมบัติของที่ดินและพืชผล และการมีอยู่ของจุลินทรีย์และแมลงอื่นๆ [24] ในระดับโลก มีการประมาณว่าระหว่าง 60 ถึง 80% ของอาหารที่ผลิตมีการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรา ในภูมิภาคทะเลทรายซาฮารา ผลผลิตที่มีมูลค่าประมาณ 4 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ สูญเสียไปทุกปี เนื่องจากการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราขณะที่ในสหรัฐอเมริกา การสูญเสียอยู่ระหว่าง 0.5–1.5 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ต่อปี [25] เอเชียเป็นพื้นที่ผลิตข้าวเปลือกที่กว้างขวางที่สุดในโลก คิดเป็น 90.2% ของผลผลิตทั้งหมดของโลกในฐานะผู้ผลิตข้าวรายใหญ่ที่สุดในโลก จีนมีผลผลิตปีละกว่า 193 ล้านตัน นำเสียดายที่มีรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในข้าวมากขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ได้ตรวจสอบการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวที่เก็บรักษาในมณฑลเหอหนาน ประเทศจีน ตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินในตัวอย่าง 110 ตัวอย่างที่เก็บจากพื้นที่ 14.68 ล้านตารางกิโลเมตร โดยมีการเก็บรักษาตั้งแต่ 1-10 ปีขึ้นไป ผลการวิจัยพบว่ามีอะฟลาทอกซินอยู่ใน 99% ของตัวอย่างที่เก็บได้ ปริมาณเฉลี่ยในข้าวเต็มเมล็ดและข้าวกล้องพบว่าอยู่ที่ 3870 และ 880 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม [26]

การบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราทำให้เกิดพิษต่อเชื้อรา ซึ่งแตกต่างกันไปตามความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดของสารพิษจากเชื้อราที่บริโภคความเข้มข้นของสารพิษจากเชื้อรา ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส อายุ และสุขภาพทั่วไปของแต่ละบุคคล โรคพิษจากเชื้อราอาจเป็นได้ทั้งแบบเฉียบพลันหรือแบบเรื้อรังซึ่งโรคพิษจากเชื้อราแบบเรื้อรังเป็นผลจากการบริโภคสารพิษจากเชื้อราในปริมาณเล็กน้อยเป็นประจำเป็นเวลานานโดยปกติจะไม่แสดงอาการ แต่มีผลกระทบทางภูมิคุ้มกัน และมีผลสะสมต่อความเสี่ยงของโรค เช่น มะเร็งใน ในขณะที่โรคพิษจากเชื้อราเฉียบพลันเกิดขึ้นหลังจากได้รับสารพิษจากเชื้อราในปริมาณสูงอย่างฉับพลัน โดยอาการแสดงจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งมักนำไปสู่การรักษาตัวในโรงพยาบาลและบางครั้งถึงแก่กรรม ความเสี่ยงสูงของอะฟลาทอกซินต่อสุขภาพสัตว์และมนุษย์ที่เพิ่มความแพร่หลายในธัญพืชได้ส่งเสริมการจัดตั้งกฎหมายต่างๆ เพื่อจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณอะฟลาทอกซินในธัญพืชรวมถึงอาหารที่อ่อนแออื่นๆ สำหรับการบริโภคของสัตว์และมนุษย์ หนึ่งในกฎหมายที่เข้มงวดที่สุดคือกฎระเบียบของคณะกรรมการ (EC) เลขที่ 1881/2006 ซึ่งกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของอะฟลาทอกซิน B1 ที่ 2 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในธัญพืชแปรรูปสำหรับการบริโภคของมนุษย์ และขีดจำกัดสูงสุดของผลรวมของอะฟลาทอกซิน B1 B2 G1 และ G2 ที่ 4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม กฎระเบียบนี้มีผลกับธัญพืชทั้งหมดที่บริโภคในประเทศสหภาพยุโรป โดยไม่คำนึงถึงแหล่งที่มาของการเพาะปลูกเกี่ยวกับการวิเคราะห์ AF ในอาหารและอาหารสัตว์โครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ที่ไม่มีหรือมีการตรวจจัดการเรืองแสง โครมาโตกราฟีของเหลวควบคู่กับเครื่องตรวจจับแมสสเปกโตรเมตรี โครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง และการทดสอบอิมมูโนซอร์เบนต์ที่เชื่อมโยงกับเอนไซม์ (ELISA) เป็นหลัก วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณสารพิษจากเชื้อราเหล่านี้ HPLC เป็น "มาตรฐานทองคำ" สำหรับการวัด AFB1 ในอาหารเป็นที่รู้จักจากความไวสูง ความเฉพาะเจาะจง ความแม่นยำ ใช้งานง่าย และทำซ้ำผลลัพท์ได้แต่มีราคาแพงและต้องใช้บุคลากรที่มีทักษะ ในทางกลับกัน ELISA ถูกเน้นให้เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้มากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ AFB1 เนื่องจากการดำเนินการที่ง่าย ความไว ต้นทุนต่ำความสามารถในการปรับตัว ความปลอดภัย ปริมาณงานสูง และการสกัดตัวอย่างและปริมาณตัวอย่างน้อยที่สุด [27]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอะฟลาทอกซิน [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Artificial intelligence

ปัญญาประดิษฐ์ (AI) มีความสำคัญและมีประสิทธิภาพในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีการใช้งานที่หลากหลายในหลากหลายสาขา เช่น การดูแลสุขภาพและการแพทย์ ระบบติดตามและตรวจสอบอัจฉริยะ หุ่นยนต์ ยานพาหนะทางอากาศไร้คนขับ ยานพาหนะอัตโนมัติ และการเกษตรด้วยความช่วยเหลือของ AI งานต่างๆ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล การจำแนกภาพ และการตรวจจับวัตถุจะให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำสูงเป็นสาขาวิชาที่กว้างซึ่งรวมถึงการเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก วิธีการ และเทคโนโลยีต้องขอบคุณหน่วยประมวลผลกราฟิก (GPU) การเรียนรู้ของเครื่องได้รับการปรับปรุงอย่างก้าวล้ำในแอปพลิเคชันต่างๆ รวมถึงการจำแนกรูปภาพ การวิเคราะห์วิดีโอ การรู้จำเสียง และกระบวนการเรียนรู้ภาษาธรรมชาติ เนื่องจากความสามารถในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก เครือข่ายประสาทเทียมและเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจึงเป็นที่นิยมในปัจจุบันวิธีการเหล่านี้สามารถอนุมานแบบจำลองจากข้อมูลเท่านั้น จากนั้นจึงใช้แบบจำลองเหล่านั้นเพื่อแก้ปัญหาที่ต้องใช้ข้อมูลตัวเลขหรือภาพ [28]

2.7 Machine Learning

การเรียนรู้ของเครื่องเป็นเครื่องมือในด้านปัญญาประดิษฐ์เพื่อเรียนรู้จากข้อมูลและรูปแบบที่ซ่อนอยู่เพื่อทำนายข้อมูลในอนาคต ขึ้นอยู่กับปัญหาที่เกิดขึ้น มีวิธีการเรียนรู้ของเครื่องมีหลายประเภท เช่น การเรียนรู้ภายใต้การสอน การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน และกึ่งการสอน รวมถึงการเรียนรู้เชิงลึกการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์การจดจำรูปแบบการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) [29] การเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งเป็นสาขาย่อยของปัญญาประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวิธีการทำงานเพื่อพัฒนาตัวเองในด้านความรู้และข้อมูล [30] การเรียนรู้ของเครื่องมีความสามารถในการดึงคุณลักษณะต่างๆ จากข้อมูลสามารถเรียนรู้รูปแบบข้อมูลและแยกแยะรูปแบบที่ซ้ำซ้อนเหล่านี้ได้อย่างไรก็ตามการสร้างชุดข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับอัลกอริทึมที่ต้องใช้ข้อมูลมากอาจเป็นงานที่น่าเบื่อ การพึ่งพาเครื่องมือการเรียนรู้ของเครื่อง กับข้อมูลจำนวนมากได้ทำหน้าที่เป็นเขตแดนสำหรับการปรับใช้อัลกอริทึมเป็นเครื่องมือ [31] การเรียนรู้ของเครื่องจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของโมเดลอัลกอริทึมและพลังการคำนวณ [32]

2.7.1 Decision Tree regression (DTR)

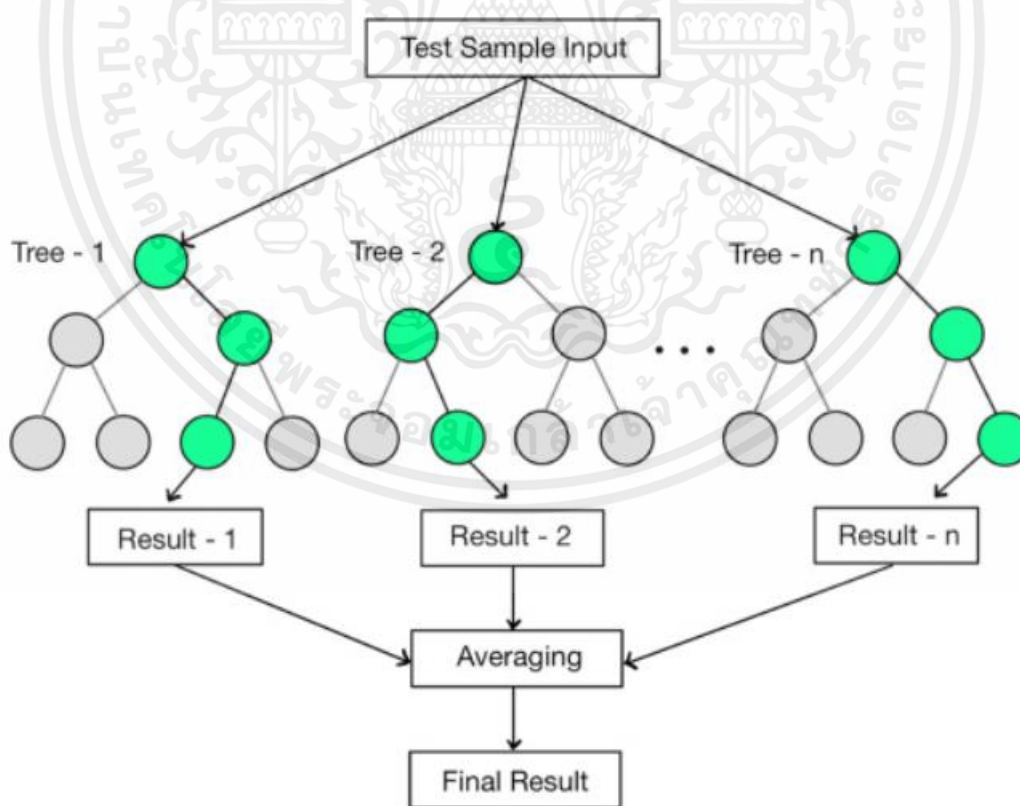
DTR เป็นแบบจำลองแบบต้นไม้พื้นฐาน ซึ่งใช้สำหรับการตัดสินใจตามคุณลักษณะต่างๆ DTR เป็นโครงสร้างคล้ายผังงานที่แต่ละโหนดภายในแสดงถึงการทดสอบแอตทริบิวต์ แต่ละสาขาแสดงถึงผลลัพธ์ของการทดสอบ และโหนดปลายแต่ละโหนดมีค่าหรือป้ายกำกับ DTR สามารถใช้สำหรับการถดถอยหรือการจำแนกประเภทได้ แม้ว่าจะใช้สำหรับการจำแนกประเภทเป็นหลัก DTR ไม่ใช่พารามิเตอร์และสามารถตีความได้ ซึ่งหมายความว่าโมเดลที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกในข้อมูล ไม่ใช่แค่การคาดการณ์เท่านั้น DTR นั้นง่ายและรวดเร็ว ทำให้มีประโยชน์สำหรับการสำรวจข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบื้องต้น นอกจากนี้การประมวลผลข้อมูลล่วงหน้ายังง่ายกว่าด้วย DTR เนื่องจากไม่จำเป็นต้องปรับขนาดและสามารถจัดการคุณลักษณะตามหมวดหมู่ได้โดยไม่ต้องเข้ารหัสเป็นตัวเลข [33]

2.7.2 Random Forest regression (RFR)

RFR เกี่ยวข้องกับการปรับต้นไม้จำแนกประเภทจำนวนมากเข้ากับชุดข้อมูล จากนั้นจึงรวมการทำนายจากต้นไม้ทั้งหมดเพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายขั้นสุดท้าย วิธีการของ RFR คือ การคาดการณ์ของแบบจำลองหลายๆ แบบเพื่อสร้างผลลัพธ์ที่แข็งแกร่งและครอบคลุมมากขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองเดี่ยว วิธีการทั้งหมด รวมทั้งการ Bagging และการ Boosting ใช้ตัวแยกประเภทหลายตัวในวงการทำงานจำแนกประเภทเดียวกัน และรวมผลลัพธ์ของมันในรูปแบบต่างๆ (เช่น การลงคะแนนการหาค่าเฉลี่ย) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำนาย Bagging (bootstrap aggregation) เป็นวิธีการแบบกลุ่มประเภทหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการฝึกแบบจำลองหลายๆ แบบอย่างเป็นอิสระต่อกันและรวมการคาดคะเนเข้าด้วยกันเพื่อกำหนดค่าเฉลี่ยของแบบจำลอง การส่งเสริมเป็นวิธีการแบบกลุ่มอีกประเภทหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการฝึกอบรมผู้เรียนที่อ่อนแอตามลำดับและปรับเปลี่ยนเพื่อปรับปรุงการคาดคะเนของอัลกอริทึมการเรียนรู้ อัลกอริทึมการเพิ่มกำลังสองน้อยที่สุดถูกนำมาใช้สำหรับวิธี RFR ในการศึกษา ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปรับข้อผิดพลาดที่เหลือของผู้เรียนที่อ่อนแอแต่ละคนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด [33]



รูปที่ 2.2 ภาพประกอบแผนผังของ Random Forest Regression [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 Support vector regression (SVR)

Support Vector Regression (SVR) เป็นโมเดลยอดนิยมสำหรับงานถดถอย SVR ใช้ไฮเปอร์เพลนเพื่อทำการถดถอย อย่างไรก็ตาม ไม่เหมือนกับแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นที่พยายามลดข้อผิดพลาดระหว่างค่าที่คาดการณ์และค่าจริงให้เหลือน้อยที่สุด SVR มีเป้าหมายเพื่อลดจำนวนข้อผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดภายในเกณฑ์ที่กำหนด ฟังก์ชันเคอร์เนลใช้ในอัลกอริทึม SVR เพื่อแปลงข้อมูลอินพุตเป็นพื้นที่คุณลักษณะที่มีมิติสูงขึ้น สิ่งนี้ทำให้อัลกอริทึมสามารถระบุไฮเปอร์เพลนที่สามารถจำแนกข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ที่แตกต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีของ SVR อัลกอริทึมมีเป้าหมายเพื่อค้นหาไฮเปอร์เพลนที่ใกล้เคียงกับจำนวนจุดข้อมูลสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้ ในขณะที่ยังคงตอบสนอง [35]

2.7.4 Multiple linear regression (MLR)

การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (MLR) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้ค่าอินพุตที่แตกต่างกันเพื่อวัดเพื่อประเมินค่า เป้าหมายของการถดถอยพหุคูณคือการเสนอพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ตัวแปรอิสระเพื่ออธิบายตัวแปรตามการวิเคราะห์ MLR นำไปใช้อย่างกว้างขวางกับสมมติฐานที่สร้างขึ้นโดยนักวิจัยด้านเศรษฐศาสตร์ การเงิน พฤติกรรมศาสตร์ และการบริหารธุรกิจ ณ จุดนี้ จะต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม การแสดงทั่วไปของ MLR กำหนดเป็นสมการ [36,37]

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon \quad (1)$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mancini et al. [38] ได้ทำการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์สำหรับฉายรังสียูวีซีที่สำหรับการฆ่าเชื้ออย่างรวดเร็วของหน้ากากกรองอากาศแบบ N95 ที่ปนเปื้อนด้วย SARS-CoV-2 coronaviruses อุปกรณ์ได้รับการประเมินเทียบกับเบตาโคโรนาไวรัสสายพันธุ์ MHV-3 และประเมินความสามารถในการฆ่าไวรัสตามการทำงานของปริมาณรังสี UV-C ที่แตกต่างกันเวลาเปิดรับรังสี UV-C อยู่ที่ 60 วินาที, 120 วินาที, 180 วินาที และ 240 วินาที อุปกรณ์นี้ได้รับอัตราการกำจัดเฉลี่ย 99.9999% ของ MHV-3 ที่ฉีดเข้าไปในจุดต่างๆ ที่ได้รับการประเมินในหน้ากากกรองอากาศแบบ N95 ที่ผ่านการทดสอบในรอบ UV-C เพียง 60 วินาที ดังนั้น 60 วินาที จึงได้รับการยืนยันว่าเป็นเวลาเปิดรับแสงขั้นต่ำเพื่อลดอัตราการติดเชื้อโคโรนาไวรัส MHV-3 ได้ถึง 99.9999% หรือ 6Log ในตัวอย่าง PFF₂ ที่ทดสอบในอุปกรณ์

Ferreira et al. [39] ได้ทำการศึกษากาชาฉายรังสี UV-C หลังการเก็บเกี่ยวเพื่อควบคุมเชื้อราและลดสารพิษจากเชื้อราในข้าวกล้อง ข้าวดำ และข้าวแดงระหว่างการเก็บรักษาระยะยาว นำข้าวเปลือกมาทำให้แห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการ คือ 13% โดยใช้เครื่องเป่าลมร้อนที่อุณหภูมิ 35 °C และความเร็วลม 1 m/s หลังจากการอบแห้งนำข้าวเปลือกมาฉายรังสี UV-C ที่ความยาวคลื่น 254

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

nm ใช้เวลาในการฉายรังสี 1 และ 3 ชั่วโมง มีปริมาณรังสี 2.06 และ 6.18 kJ/cm² เก็บตัวอย่างไว้ในอุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 6 เดือน ที่ความชื้น 12% ผลการวิจัยพบว่าการฉายรังสี UV-C ที่ปริมาณรังสี 2.06 kJ/cm² ในเวลา 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อราและย่อยสลายของสารพิษจากเชื้อรา และการปลดปล่อยฟีนอลที่จับตัวกันในเมล็ดข้าวสาลีดำและสีแดง โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการประกอบอาหารและไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี ส่วนปริมาณรังสีที่ 6.18 kJ/cm² ที่เวลา 3 ชั่วโมง มีความสามารถในการลดประสิทธิภาพการปนเปื้อนของเชื้อราได้และลดปริมาณโคทอกซิน แต่มีข้อเสียคือการลดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวส่งผลให้ข้าวเปลี่ยนสี

Cervantes et al. [40] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแสง UV-C และยาต้านจุลินทรีย์ในอาหารแบบเดี่ยวและแบบผสมสำหรับการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus flavus* หรือ *A. niger spores* ในน้ำหวานลูกพีช นำน้ำกลั่นที่มีสปอร์ *Aspergillus flavus* มาฉีดเข้าไปในน้ำหวานลูกพีชพาสเจอร์ไรส์ที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อให้ได้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10⁵ spores/ml แล้วนำตัวอย่างน้ำหวานลูกพีช 1 mL มาฉายรังสี UV-C เวลาที่ใช้ในการฉายรังสีคือ 0 2 3 4 5 10 15 30 40 50 และ 60 min สำหรับการทดลองแบบผสมก่อนการฉายรังสี UV-C คือการใส่โพแทสเซียมซอร์เบตหรือโซเดียมเบนโซเอต ลงในน้ำหวานลูกพีชที่มีความเข้มข้น 250 500 1,000 หรือ 2,000 ppm มีความคล้ายกับการฉายรังสี UV-C คือใช้น้ำหวานลูกพีช 1 mL เวลาที่ใช้คือ 0 2 3 4 5 10 15 30 40 และ 60 min แล้วเก็บไว้ 5-8 วันที่อุณหภูมิ 25 °C จำนวนสปอร์ของเชื้อราที่ยังเหลืออยู่จะใช้สายตาในการนับจำนวน จากการทดลองพบว่า UV-C มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนสปอร์ *Aspergillus flavus* หรือ *Aspergillus Niger* ต้องการปริมาณ UV-C ที่สูงกว่า 200 kJ/m² เพื่อลดจำนวนของเชื้อราให้ได้มากที่สุด ในส่วนของ การเติมโซเดียมเบนโซเอตก่อนการฉายรังสี UV-C ทำให้จำนวนของสปอร์ *Aspergillus flavus* ลดลง ซึ่งมีผลตรงกันข้ามกับการเติมโพแทสเซียมซอร์เบตกับการฉายรังสี UV-C สามารถนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหวานลูกพีชแต่ต้องใส่หลังจากฉายรังสี UV-C แล้วเท่านั้น

Chen et al. [41] ได้ทำการศึกษาการฆ่าเชื้อราด้วยโอโซนและ UV-C ในลูกพลับอบแห้ง ทำการคัดเลือกเชื้อราจากลูกพลับที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบจากการฆ่าเชื้อประมาณ 6 log cfu/g และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C โดยทดลองอบโอโซนที่ความเข้มข้น 9.81 29.43 และ 49.05 mg/m³ เวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 36 h ต่อไปทดลองโดยใช้ก๊าซโอโซนคงที่ที่ 9.81 mg/m³ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 1 3 6 12 24 และ 36 h ต่อไปทดลองด้วยหลอด UV-C 254 nm ระยะการฉายรังสีอยู่ที่ 24 cm โดยเวลาที่ใช้คือ 1 3 6 12 และ 24 h ต่อไปเป็นการทดลองแบบผสม ระยะการฉายรังสีอยู่ที่ 24 cm เวลาที่ใช้คือ 0.5 ชม ใช้ความเข้มข้นของโอโซน 9.81 mg/m³ เพื่อให้สามารถฆ่าเชื้อได้และเลือกเวลาการทดลองเป็น 1 3 6 12 และ 24 h งานเพาะเชื้อที่ไม่ได้ผ่านการทดลองจะถูกกำหนดให้เป็นกลุ่มควบคุม เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 28 °C เป็นเวลา 48 h หรือ 37 °C เป็นเวลา 12 h จากการทดลองพบว่าจุดที่สำคัญที่สุดอยู่ที่กระบวนการอบแห้งโดยจากการสำรวจปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ที่ผ่านการทดลอง เช่น *Lautenbacher anagenesis*, *Aspergillus Niger* และ *Penicillium Griseofulvin* สภาวะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธีแบบผสมคือใช้เวลา 0.5 h ของการฉายรังสี UV-C ความเข้มข้นของโอโซน 9.81 mg/m³ และเวลาการใช้โอโซน 1 h การทดลองนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

Carrion et al. [42] ได้ศึกษาการยับยั้ง *Bacillus subtilis*, *Gerbilles stearothermophilus*, *Alicyclobacillus acid Terrestris* และ *Aspergillus Niger spores* ภายใต้ Ultra-High Pressure Homogenization, UV-C light และการทดสอบแบบผสม โดยการทดลองการยับยั้งสปอร์โดย UHPH จะใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันแบบสูงพิเศษ ส่วนการทดสอบของ UV-C ใช้กำลังวัตต์อยู่ที่ 55 w ความยาวคลื่น 254 nm ระหว่างการทดลองอุณหภูมิของเครื่องอยู่ที่ 20 °c และการทดสอบแบบผสมระหว่าง UHPH กับ UV-C จากการทดลองพบว่าสปอร์ของแบคทีเรียที่เรียนั้นสามารถต้านทานต่อ UHPH ได้ แต่ตรงค่อนข้างเสี่ยงกับรังสี UV-C ซึ่งในทางกลับกันมีประสิทธิภาพน้อยกว่าสปอร์ของราบางชนิด เช่น *Aspergillus niger* อาจเป็นเพราะความสามารถในการผลิตเมลานินที่ค่อนข้างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีแก้ปัญหานี้ก็คือการแบ่งการใช้ UV-C ออกเป็นหลายครั้งจะช่วยเพิ่มการสัมผัสของจุลินทรีย์ต่อ UV-C

Evrendilek et al. [43] ได้ทำการศึกษาการทำนายการยับยั้งเชื้อ *Aspergillus parasiticus* และการลดอะฟลาทอกซินในเมล็ดพริกแดงที่รักษาด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลซิ่งโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องและโครงข่ายประสาทเทียม มีการพบอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์ของการเกษตรเนื่องจากสามารถทนต่อความร้อนได้สูงและทนต่อการแปรรูปอาหารส่วนใหญ่ได้ นำเชื้อ *A. parasiticus* 5 ml ลงในตัวอย่าง 50 g ก่อนการทดลองแต่ละครั้ง ระบบ PEF มีความแรงของสนามไฟฟ้าสูงสุด 20 kV และพลังงานที่ใช้คือ 0.97-17.28 j นำผลที่ได้ไปสร้างอัลกอริทึมแมชชีนเลิร์นนิง คือ gradient Boosting regression tree model random forest regression และANN เพื่อคาดการณ์การยับยั้ง *A. parasiticus* จากการทดลองพบว่าการลดลงของการเกิด *A. parasiticus* สำหรับอัลกอริทึมที่มีค่า RMSE และ R2 ดีที่สุดคือ GBRT แต่ในส่วนของอัลกอริทึม ANN คาดการณ์ได้ดีกว่าในการทดลองของการลดผลกระทบของ AfG₁, AfB₁ และ AfB₂

Selma et al. [44] ได้ทำการศึกษารังสี UV-C ที่สามารถกระตุ้น Stilbenes ที่สามารถควบคุมเชื้อรา *Ochratoxigenic Aspergillus* ในองุ่น หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส โดย UV-C มีความสามารถในการกระตุ้นการสังเคราะห์ของสารทรานส์-เรสเวอรอลเมื่อทรานส์-เรสเวอรอลถูกสร้างขึ้นโดย UV-C มันมีส่วนช่วยยับยั้งการพัฒนาของ *ochratoxin A* ที่สร้าง *aspergilli* นอกจากนี้ การรักษาด้วยรังสี UV-C ยังช่วยลดการผลิต *ochratoxin A* โดย *ochratoxigenic aspergilli* ดังนั้น UV-C จึงเป็นเทคโนโลยีเกิดขึ้นใหม่ที่มีความหวังในการลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากโรค *ochratoxigenic* ในองุ่น ซึ่งเป็นที่สนใจเป็นพิเศษสำหรับอุตสาหกรรมไวน์ และยังช่วยเพิ่มปริมาณสารทรานส์-เรสเวอรอลในองุ่น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มมูลค่าให้กับไวน์

Faraji et al. [45] ได้ศึกษาข้าวที่เก็บจากประเทศอิหร่านในช่วงเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน ในปี 2563 ได้ตรวจพบเชื้อรา *Aspergillus* ที่สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ได้ 4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดได้แก่ B_1 , B_2 , G_1 , G_2 โดยการทดลองทำการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยระบบแสงคอลลิเมตที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 นาโนเมตร ถึง 360 นาโนเมตร โดยการศึกษาพบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอะฟลาทอกซินในเมล็ดข้าว และระบบแสงคอลลิเมตมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียและเชื้อรา โดยความสามารถในการกำจัดสารอะฟลาทอกซินตามลำดับ $AFB_1 > AFG_1 > AFB_2 > AFG_2$ คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมียังเหมือนเดิมก่อนทำการฉายรังสี และหากใช้หลอดอัลตราไวโอเล็ตที่มีกำลังน้อยก็สามารถกำจัดสารอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารได้

Salata et al. [46] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของรังสี UV ในการลดการปนเปื้อนของ *Aspergillus Niger* และ *Actynomices* ในระบบปรับอากาศ เพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อราในแผ่นกรอง HPEA และเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นกรองและลดต้นทุนในการซ่อมบำรุงดูแลของแผ่นกรอง HPEA โดยเครื่องปรับอากาศใช้เฉพาะระบบ HVAC พร้อมตัวกรอง HPEA และหลอดไฟ UV-C ที่ความยาวคลื่นอยู่ที่ 254 นาโนเมตร โดยมีเชื้อรา 1. *Aspergillus Niger* 2. *Actynomices* โดยอุณหภูมิอยู่ที่ 26 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 30 – 60% โดยผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มหลอด UV-C ในระบบ HVAC มีผลต่อจำนวนเชื้อรา 1. *Aspergillus Niger* 2. *Actynomices* โดยที่ *Actynomices* ใช้เวลาน้อยกว่า *Aspergillus Niger* และยิ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยก็จะยิ่งส่งผลต่อการสลายตัวของเชื้อรา

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เตรียมข้าวเปลือกสำหรับการทดลอง

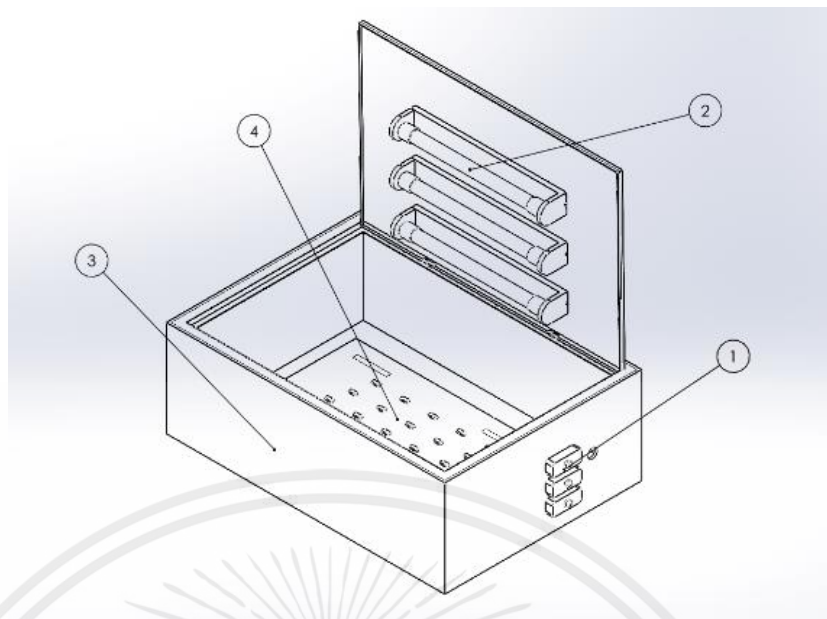
- ข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดจากจังหวัดพัทลุง
- Clorox 10% (โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 10 %)
- ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow) รุ่น 1300 SERIES A2

3.1.2 การเตรียมเชื้อราสำหรับการทดลอง

- อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA)
- จานเพาะเชื้อ (Petri Dish)
- เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate) รุ่น C-MAG HS 7
- ปีกเกอร์ (Beaker)
- แม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Stirrer Bar)
- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อด้วยแรงดันไอน้ำ รุ่น CL-40DP
- ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow) รุ่น 1300 SERIES A2
- ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) รุ่น IN 110

3.1.3 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

- ปิเปตต์อัตโนมัติ (Automatic pipette)
- ปีกเกอร์ (Beaker)
- แม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Stirrer Bar)
- เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate) รุ่น C-MAG HS 7
- เครื่องชั่งดิจิตอล รุ่น XB 220A
- สไลด์นับจำนวนเซลล์ (Hemocytometer)
- กล้องจุลทรรศน์ (microscope)
- ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) รุ่น IN 110
- ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow) รุ่น 1300 SERIES A2



รูปที่ 3.1 ตู้ทดสอบการยับยั้งเชื้อราด้วย UV-C

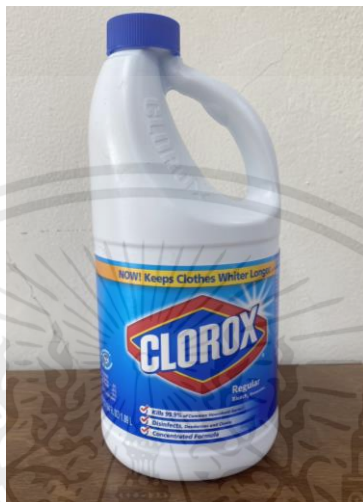
1. สวิตช์เปิด-ปิดไฟ
2. หลอดไฟ UV-C
3. ตู้เหล็กมาตรฐาน ขนาด 400 x 570 x 200 มิลลิเมตร
4. แผ่นวางข้าวเปลือกชนิดใส ขนาด 200 x 400 x 1 มิลลิเมตร

3.2 วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus sp.* โดยใช้หลอด UV-C ที่มีกำลังอยู่ที่ 20 40 และ 60 W มีระยะเวลาเริ่มต้นที่ 0 5 10 15 20 30 40 50 และ 60 นาที มีเชื้อ *Aspergillus sp.* เริ่มต้นอยู่ที่ 10,000 cfu/g หลังจากผ่านการยับยั้งเชื้อราจะเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการส่งตรวจหาเชื้อราที่ยังหลงเหลืออยู่ เพื่อนำข้อมูลมาจัดทำการศึกษาเรียนรู้ของเครื่องโดย 4 อัลกอริทึมประกอบไปด้วย 1) Multiple Linear Regression (MLR) 2) Support Vector Regression (SVR) 3) Decision Tree Regression (DTR) และ 4) Random Forest Regression (RFR) เพื่อหาค่าความแม่นยำที่มากที่สุด และค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

3.2.1 การเตรียมข้าวเปลือก

1. เริ่มต้นจากการเตรียมข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยด 50 กรัม ล้างในน้ำกลั่นที่ผสมกับ Clorox 10% ในอัตราส่วน 9:1 เป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดเชื้อราหรือสิ่งแปลกปลอมที่ติดมากับข้าวก่อนจะทำการทดลอง



รูปที่ 3.2 Clorox

2. นำข้าวเปลือกที่ผ่านการล้างด้วย Clorox 10% มาตากไว้ในถาดพลาสติกที่รองไว้ด้วยกระดาษเช็ดชู่ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว โดยการวางข้าวเปลือกนั้นให้วางกระจายให้มากที่สุด จากนั้นตากไว้ในตู้ปลอดเชื้อเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นจึงสามารถนำข้าวเปลือกมาทดลองได้



รูปที่ 3.3 ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมเชื้อรา

1. เตรียมน้ำกลั่น และอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ในอัตราส่วน 180 มิลลิลิตร : 80กรัม และใช้เครื่องกวนสารให้ความร้อนคนให้เข้ากัน หลังจากนั้นไปเติมใส่ขวดและนำไปนึ่งในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อด้วยแรงดันไอน้ำ



รูปที่ 3.4 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อด้วยแรงดันไอน้ำ

2. นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการนึ่งมาเทใส่จานเพาะเชื้อและรอให้เย็นตัวลง และใช้ท่งเขี่ยเชื้อเขี่ยเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ และปิดฝารอเป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นจึงสามารถนำมาทดลองได้



รูปที่ 3.5 อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ผสมเชื้อรา *Aspergillus sp.* กับน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ และใช้เครื่องกวนสารให้ความร้อนกวนเชื้อราให้เกิดการกระจายตัวและนำไปส่องดูกับสไลด์นับจำนวนเซลล์ไปให้มีความเข้มข้นอยู่ที่ 1×10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

$$\text{Spore} = Y \times 0.1 \times 10^4$$

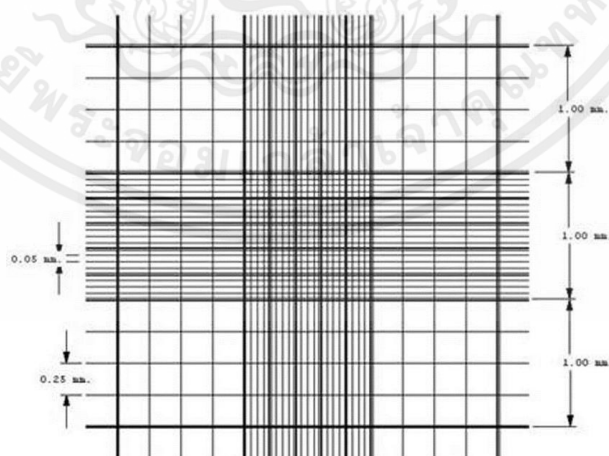
โดยที่ Spore คือ จำนวนเชื้อรา (สปอร์ต่อมิลลิลิตร)

Y คือ จำนวนเชื้อราเฉลี่ยที่นับได้ บริเวณ A B C D E ภายใต้กล้องจุลทรรศน์



รูปที่ 3.6 เครื่องกวนสารให้ความร้อน

2. นำเชื้อรา *Aspergillus sp.* ที่ความเข้มข้นอยู่ที่ 1×10^4 สปอร์ต่อมิลลิลิตรทดลองที่น้ำ 1 มิลลิลิตรต่อข้าว 50 กรัม โดยใช้ปิเปตต์อัตโนมัติในการดรอปเชื้อรามาสกับข้าว โดยจะอยู่ที่เวลา 5 10 15 20 30 40 50 และ 60 นาที และมีกำลังวัตต์อยู่ที่ 20 40 60 วัตต์



รูปที่ 3.7 แผ่น Hemocytometer ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic pipette)

3. นำข้าวที่ได้จากการทดลองมาใส่ถุงซิปล็อคและเก็บไว้ในตู้บ่มเชื้อเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปไว้ในอุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียสและส่งตรวจเพื่อหาจำนวนเชื้อราที่ยังหลงเหลืออยู่หลังจากการทดลอง



รูปที่ 3.9 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือก

$$\% \text{ inhibition} = \frac{\text{total fungal-fungal at different times}}{\text{total fungal}}$$

% inhibition คือ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา (%)

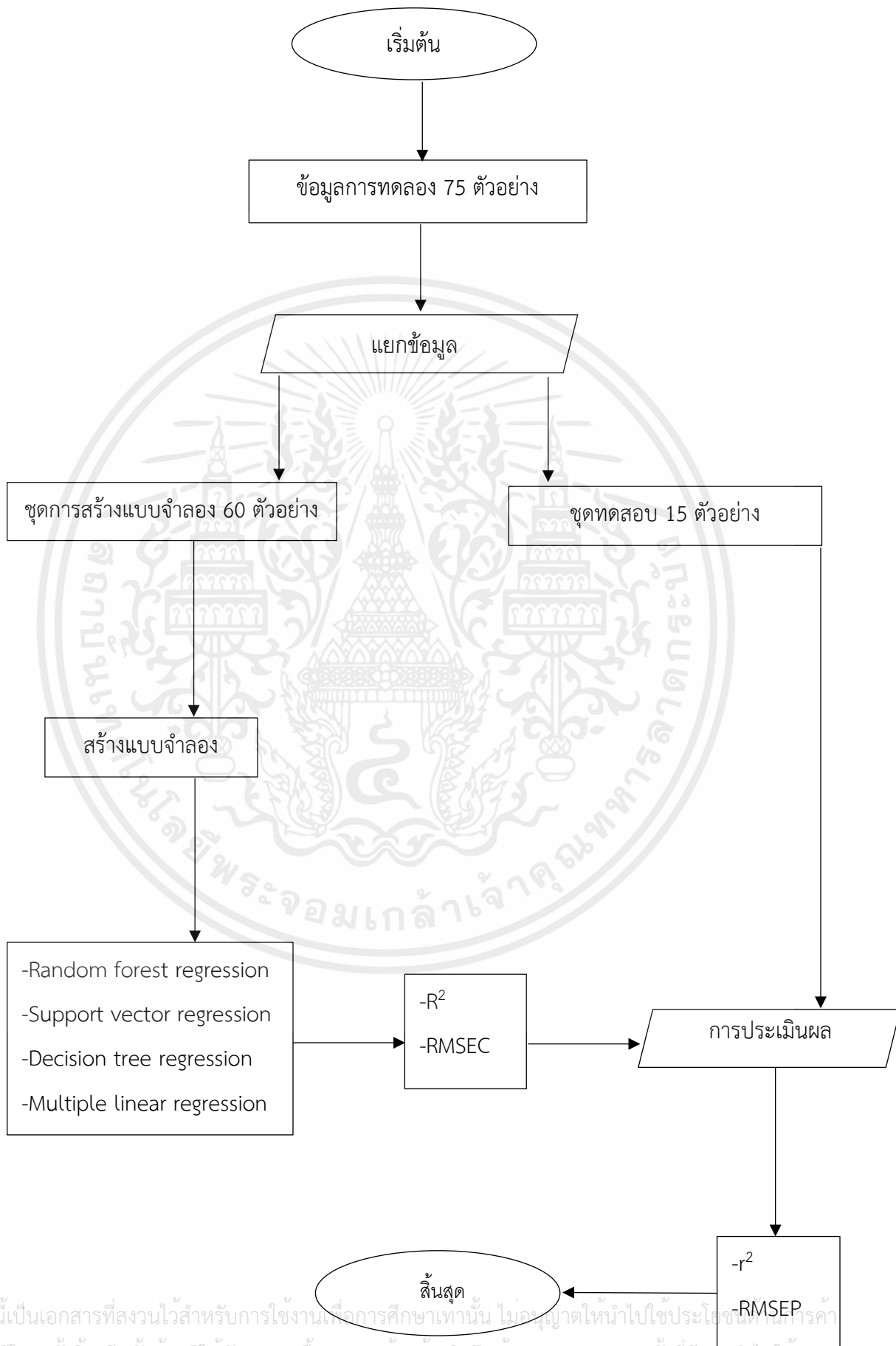
total fungal คือ เชื้อราเริ่มต้น (cfu/g)

fungal at different times คือ เชื้อราที่ช่วงเวลาต่างๆ (cfu/g)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แผนผังการสร้างและการทดสอบแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการพัฒนาการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและผลการทดลองหลังการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยด โดยใช้การฉายรังสี UV-C งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการเรียนรู้ของเครื่องในการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและผลของเวลาที่ใช้ในการฉายรังสีที่ 5 10 15 20 30 40 50 และ 60 min จำนวนวัตต์ของหลอด UV-C ที่ 20 40 และ 60 W ใช้ข้าวรอบละ 50 g ต่อการฉายรังสี 1 ครั้ง

4.1 ผลของการฉายรังสี UV-C ต่อการยับยั้งเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus*

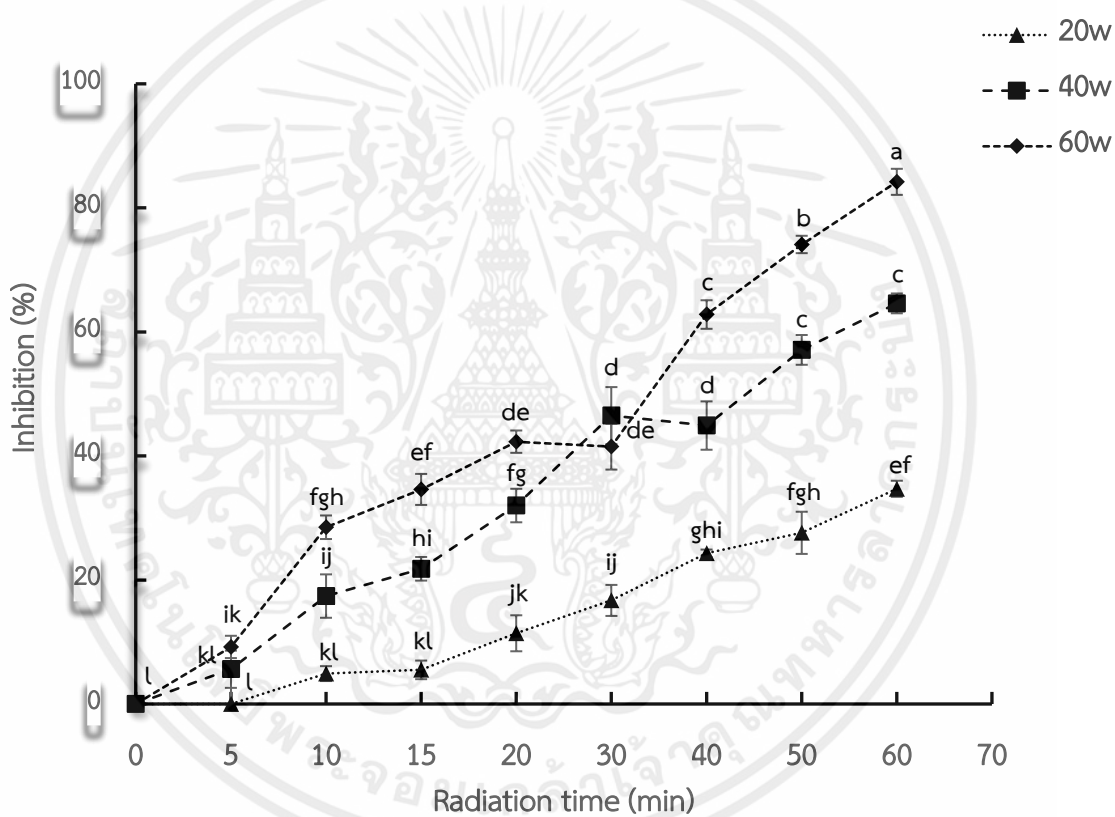
การฉายรังสี UV-C ที่เวลาต่างๆ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในเมล็ดข้าวเปลือกโดยผลของการทดลองของการฉายรังสี UV-C บนเมล็ดข้าวเปลือกแสดงดังรูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการฉายรังสี UV-C กับเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้เวลาในการฉายรังสีเท่ากับ 5 10 15 20 25 30 40 50 และ 60 min ร่วมกับการเปิดหลอด UV-C ที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ขนาด 20 40 และ 60 W โดยจะนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการฉายรังสี UV-C เก็บไว้ในอุณหภูมิแวดล้อม 25 °C ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อราเป็นเวลา 7 วันจากนั้นนำออกมาเข้าสู่แช่แข็ง 1 วัน แล้วนำส่งตรวจหาจำนวนเชื้อราที่เหลืออยู่บนเมล็ดข้าว จากนั้นจึงคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งอ้างอิงจากชุด Control ที่ไม่ผ่านการฉายรังสีให้คิดเป็นการเจริญเติบโตของเชื้อราเป็น 100%

เมื่อผ่านการฉายรังสี UV-C แล้วพบว่า จากรูปที่ 4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือกที่ 20 W การฉายรังสีเป็นเวลา 60 min มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ 34.7% และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรารองลงมาคือ 50 และ 40 min ตามลำดับดังรูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือกที่ 40 W ฉายรังสีเป็นเวลา 60 min มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ 64.6% และประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรารองลงมาคือ 50 และ 30 min และในตารางที่ 4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือกที่ 60 W ฉายรังสีเป็นเวลา 60 min มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ 84.2% และประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรารองลงมาคือ 50 และ 40 min ตามลำดับ

เมล็ดข้าวเปลือกที่ไม่มีการฉายรังสี UV-C มีการเจริญเติบโตของเชื้อรา 100% และในทางกลับกันจำนวนเชื้อราที่ผ่านการฉายรังสี UV-C มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการเก็บรักษาตามลำดับ (รูปที่ 4.1) ศักยภาพในการฆ่าเชื้อโรคของรังสี UV-C นั้นสัมพันธ์กับผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อ DNA ของเชื้อรา ซึ่งช่วยลดการงอกของสปอร์ และจากการศึกษาอื่นมีรายงานว่า การรักษาด้วยรังสี UV-C กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่รับผิดชอบในการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันโดยตรงในการเสริมสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์ ผลกระทบแฝงของรังสี UV-C เป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการประเมิน เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วธัญพืชมีอายุการเก็บรักษาที่ลดลงหลังจากการปกปิดและเชื้อรามีความสามารถในการซ่อมแซมความเสียหายของ DNA ที่เกิดจากรังสี UV-C ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ รังสี UV-C สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อราในเมล็ดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน (รูปที่ 4.1) [47]

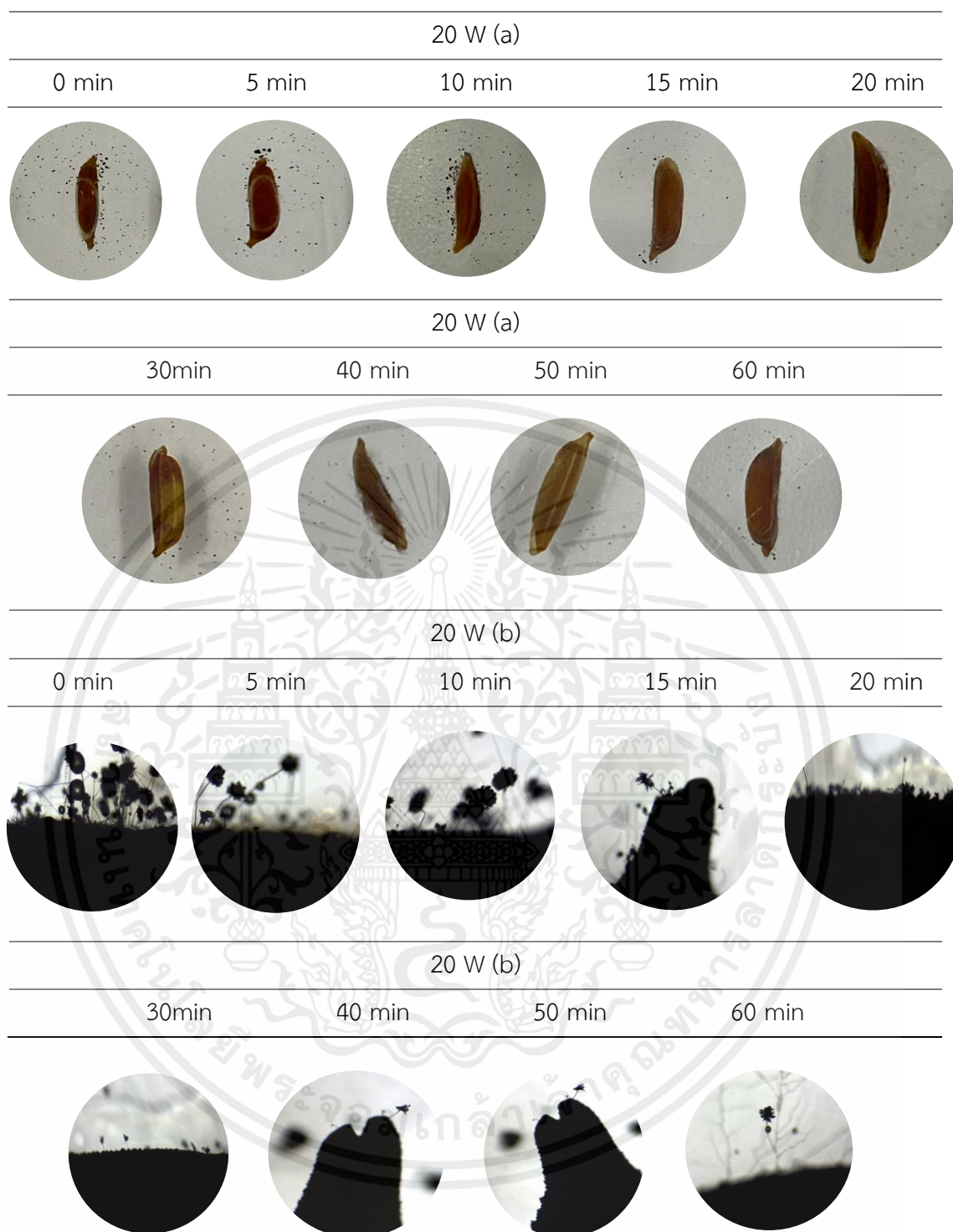


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการฉายรังสีกับเมล็ดข้าวที่เงื่อนไขและสถานะต่างๆ

4.2 การยับยั้งการเจริญเติบโตเชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือกด้วยรังสี UV-C

จากการศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดด้วยการฉายรังสี UV-C ที่เวลา 5 10 15 20 30 40 50 และ 60 min จำนวนวัตต์ของหลอด UV-C ที่ 20 40 และ 60 W โดยชุดควบคุมอีก 1 กรรมวิธีคือ ชุดที่หยดเชื้อราโดยไม่ผ่านการฉายรังสี และดูค่าของจำนวนเชื้อราในวันที่ 7 เชื้อรา *Aspergillus sp.* จะเริ่มจากการผลิตเส้นใยและสร้างสปอร์ที่มีลักษณะเป็นจุดสีดำบริเวณรอบเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งหลังการฉายรังสี UV-C พบว่าการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus sp.* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อฉายรังสีที่เวลาและจำนวนวัตต์ของหลอด UV-C เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันที่ใช้หลอดไฟ 20 W และระยะเวลาในการฉายรังสีสั้นลงมีการยับยั้งเชื้อราน้อยมากหรือแทบจะไม่สามารถยับยั้งได้เลย แต่ในขณะเดียวกันที่เวลาการฉายรังสีเท่ากันมีการยับยั้งเชื้อราสูงขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนวัตต์หลอดไฟดังรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ซึ่งแสดงการยับยั้งเชื้อราในวันที่ 7 ที่วัตต์และเวลาต่างๆ





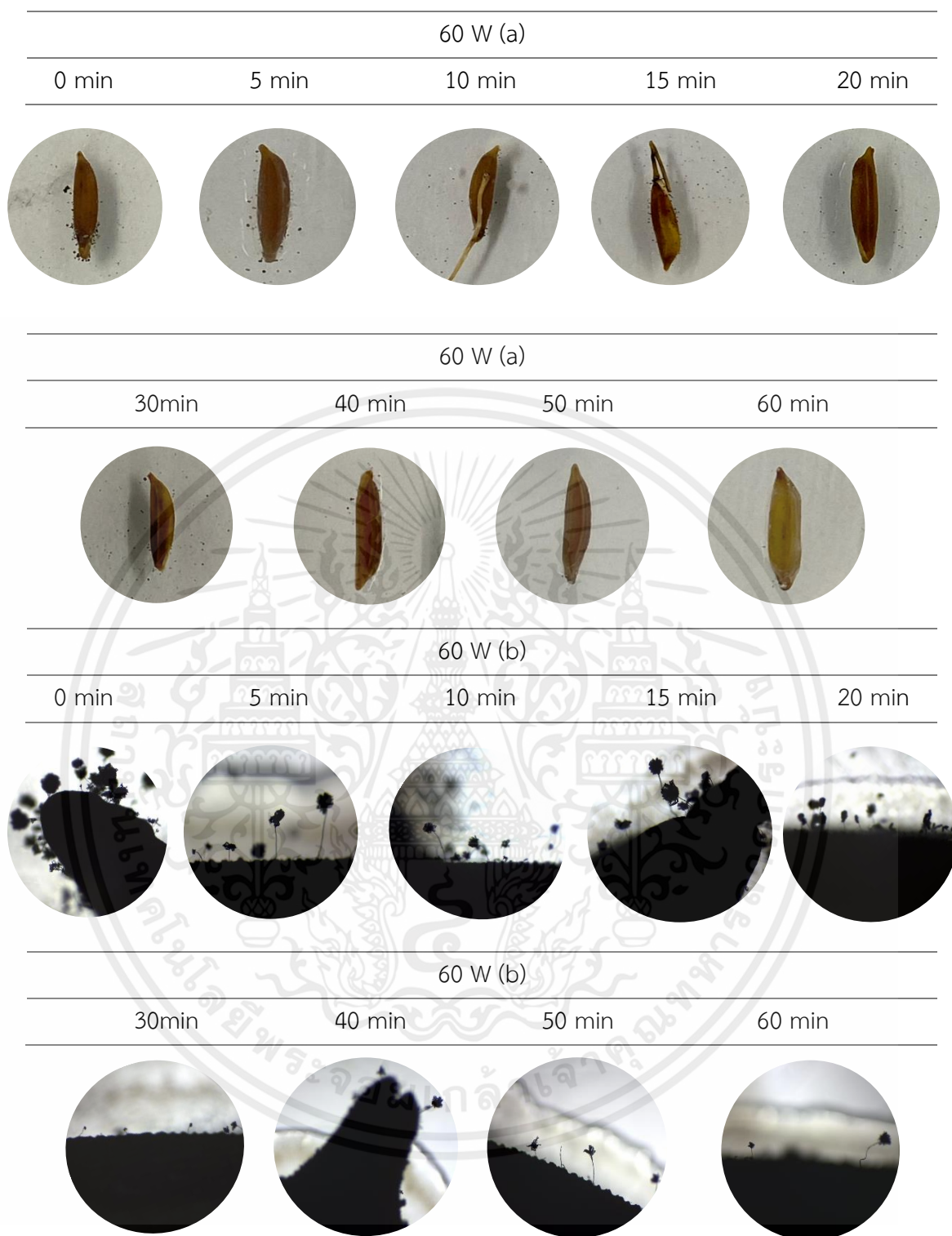
รูปที่ 4.2 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือกที่กำลังของหลอดไฟ 20 W ที่เวลาต่างๆ ในวันที่ 7 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ Stereo Microscope (a) เชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือก 40X (b) เชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือก 40X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือกที่กำลังของหลอดไฟ 40 W ที่เวลาต่างๆ ในวันที่ 7 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ Stereo Microscope (a) เชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือก 10X (b) เชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือก 40X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือกที่กำลังของหลอดไฟ 60 W ที่เวลาต่างๆ ในวันที่ 7 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ Stereo Microscope (a) เชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือก 10X (b) เชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือก 40X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง

ชุดข้อมูลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราด้วยรังสี UV-C จัดเก็บเป็นไฟล์ Excel และมีการใช้ Python ใน Jupyter Notebook (anaconda 3) สำหรับงานนี้ หลังจากการประมวลผลล่วงหน้า ชุดข้อมูลจะถูกแบ่งแบบสุ่มเป็นชุดข้อมูลการสร้างแบบจำลอง (Training set, 80%) และชุดทดสอบ (Test set, 20%) เพื่อฝึกฝนอัลกอริทึมและประเมินประสิทธิภาพตัวบ่งชี้ของการประเมินแบบจำลอง จะประกอบไปด้วยค่าความแม่นยำการทำนายของชุด Training set (Coefficient of Determination of Calibration, R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนการทำนายของชุด Training set (Root Mean Squared Error of Calibration, RMSEC) ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง ในเวลาเดียวกันก็จะต้องมีการพิสูจน์ประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยการทดสอบกับชุดข้อมูล Test set โดยจะใช้ค่าความแม่นยำในการทำนายของชุด Test set (Coefficient of Determination of Prediction, r^2) และค่าความคลาดเคลื่อนการทำนายของชุดทดสอบ (Root Mean Squared Error of Prediction, RMSEP) เนื่องจากการใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน 4 ชนิดในการฝึกแบบจำลองสำหรับการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ผลลัพธ์ของการสร้างและการทดสอบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการ Training และทดสอบแบบจำลองการถดถอยเพื่อการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

Algorithms	Training		Test	
	R^2	RMSEC Inhibition (%)	r^2	RMSEP Inhibition (%)
DTR	0.994	1.85	0.848	7.1
RFR	0.992	2.19	0.845	7.16
MLR	0.899	7.72	0.744	9.2
SVR	0.526	16.74	0.392	14.19

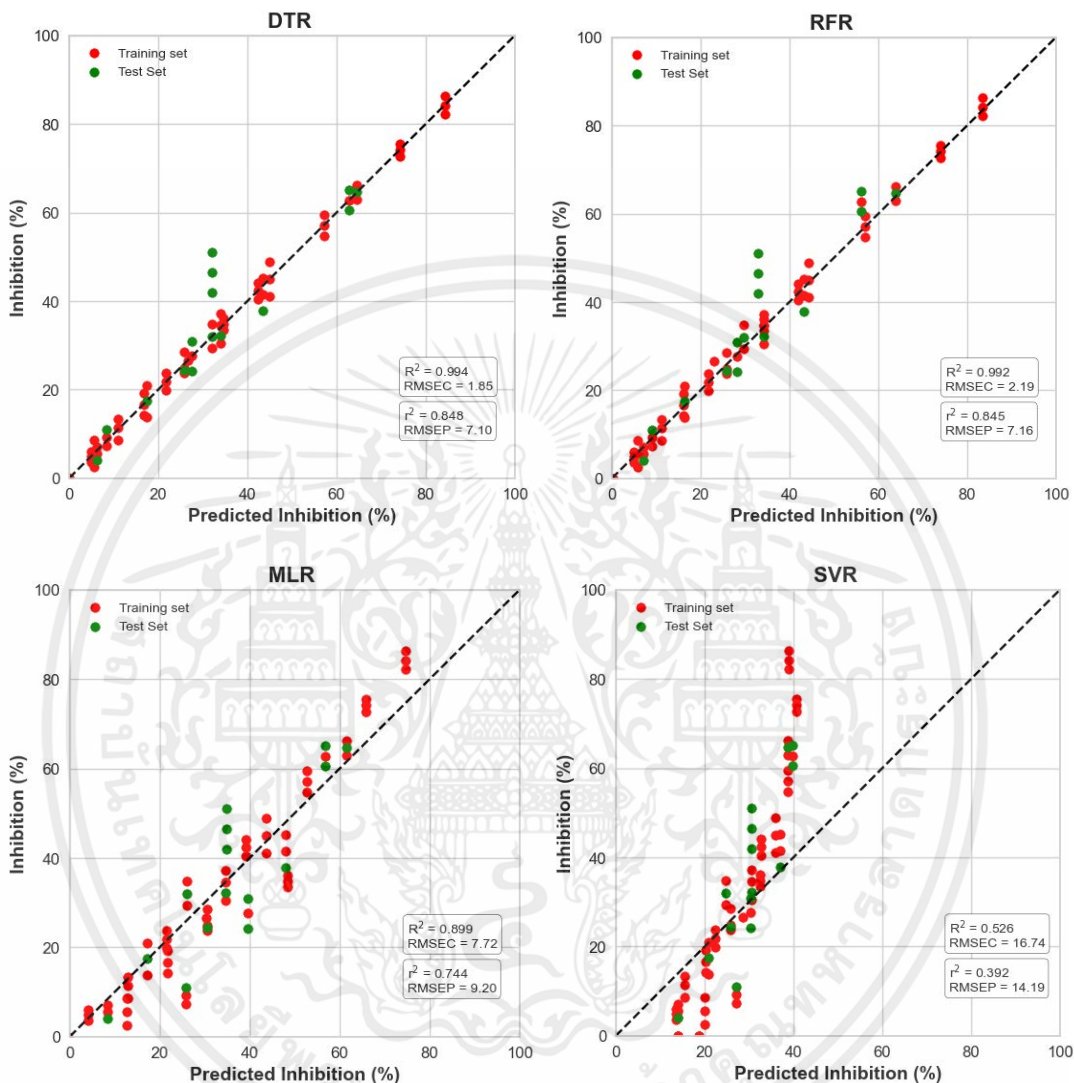
4.4 การประเมินแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยใช้ตัวอย่างชุดทดสอบ

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ดีที่สุดจากตัวอย่าง 75 ตัวอย่างที่เก็บจากการทดลองแสดงในรูปที่ 4.5 ผลการประเมินพบว่าอัลกอริทึม DTR มีความแม่นยำในการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุด Training set ดีที่สุดเมื่อเทียบกับค่าวัดจริงเท่ากับ 0.994 และค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error of Calibration, RMSEC) เท่ากับ 1.85% และมีประสิทธิภาพการทำนายการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุด Test set เมื่อเทียบกับค่าวัดจริงเท่ากับ 0.848 และมีความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error of Prediction, RMSEP) เท่ากับ 7.10% สำหรับอัลกอริทึมที่มีความสามารถในการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุดคือ RFR และ MLR เมื่อเทียบกับค่าวัดจริงมีความแม่นยำในการทำนายการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุด Training set เท่ากับ 0.992 และ 0.899 ตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error of Calibration, RMSEC) เท่ากับ 2.19% และ 7.72% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการทำนายการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุด Test set เมื่อเทียบกับค่าวัดจริงเท่ากับ 0.845 และ 0.744 สำหรับค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error of Prediction, RMSEP) เท่ากับ 7.16% และ 9.20% ตามลำดับ จากการพัฒนาแบบจำลองทั้งหมดอัลกอริทึม SVR มีความเหมาะสมสำหรับการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราน้อยที่สุด เนื่องจากมีค่าความแม่นยำในการทำนายการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุด Training set เท่ากับ 0.526 เมื่อเทียบกับค่าวัดจริงและมีค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error of Calibration, RMSEC) เท่ากับ 16.74% และมีประสิทธิภาพการทำนายการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราของชุด Test set เท่ากับ 0.392 ค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error of Prediction, RMSEP) เท่ากับ 14.19% เมื่อเทียบกับค่าวัดจริง

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Momota et al. (2022) [48] จากการศึกษาการทำนายความน่าเชื่อถือของข้อมูล ECG (การตรวจการเต้นของหัวใจจากระยะไกลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจคลื่นไฟฟ้า) ระหว่างผู้ป่วยโดยใช้อัลกอริทึม โดยคำนวณ Data Reliability Metric (DRem) จริงจากความจริงพื้นฐานการสร้างสัญญาณรบกวน SNR -20 dB-20 dB SNR โดยที่ S และ N คือกำลังของสัญญาณและกำลังสัญญาณรบกวนตามลำดับ ถูกทำให้เป็นมาตรฐานเชิงเส้นเป็นสเกล 0-1 เพื่อคำนวณ DRem จริงจาก SNR แสดงการคาดคะเนเมตริกความน่าเชื่อถือของข้อมูลในข้อมูลทดสอบ 113 ข้อมูลโดยใช้ SVR, LR, RFR และ DTR แบบจำลองที่ดีที่สุดคือ Decision Tree Regression ผลการทดลองในส่วนของอัลกอริทึม RFR และ MLR สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwak et al. (2022) [49] ที่ศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึม RFR และ MLR ในการทำนายคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสม TiAl อัลกอริทึม RFR ได้ค่า R^2 สูงกว่าอัลกอริทึม MLR ที่ใช้ 20% สำหรับข้อมูลชุดทดสอบพบเงื่อนไขสำหรับอัลกอริทึม MLR ที่มีการคาดคะเนเกินจริงและคาดคะเนต่ำเกินไปอย่างไรก็ตาม ในกรณีของ RFR ผลลัพธ์จะได้อาจมาจากแผนผังการตัดสินใจหลายแบบหากใช้แผนผังการตัดสินใจเพียงแบบเดียวความน่าจะเป็นของการโอเวอร์ฟิตจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามด้วยการสร้างแผนผังการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายแบบจะได้คำตอบหลายค่าจากนั้นจะนำมาหาค่าเฉลี่ยและได้ผลการทำนายที่เหมาะสมที่สุดคือผลลัพธ์สุดท้าย ซึ่งค่อนข้างดีกว่า MLR แต่ให้การคาดการณ์ที่แม่นยำกว่า



รูปที่ 4.5 Scatter plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดจริงกับค่าที่ทำนายได้โดยอัลกอริทึมทั้ง 4 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการยับยั้งเชื้อราในข้าวเปลือกโดยใช้รังสี UV-C ระหว่างการเก็บรักษา พร้อมทั้งศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องในการทำนายประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของข้าวเปลือกโดยใช้รังสี UV-C

5.1.1 จากการศึกษาผลกระทบของเวลาการฉายรังสี UV-C และกำลังวัตต์ของหลอด UV-C ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus sp.* บนเมล็ดข้าวเปลือกพบว่าเวลาการฉายรังสี และกำลังวัตต์มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของเวลา และกำลังวัตต์ของหลอด UV-C สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้มากขึ้น

5.1.2. จากการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อค้นหาผลลัพธ์การทำนายที่แม่นยำที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย Decision tree regression Random forest regression Support vector regression และ Multiple linear regression ในการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราพบว่าอัลกอริทึม DTR มีความสามารถในการทำนายมากกว่าอัลกอริทึม RFR SVR และ MLR เนื่องจากอัลกอริทึม DTR เป็นแบบจำลองต้นไม้พื้นฐานและพัฒนามาจากอัลกอริทึม Decision tree ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกในข้อมูล ไม่ใช่แค่การคาดการณ์เท่านั้น DTR ยังใช้งานง่ายและรวดเร็วทำให้อัลกอริทึม DTR มีความสามารถในการทำนายประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของข้าวเปลือกโดยใช้รังสี UV-C ดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระยะเวลาที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราที่ 100% สำหรับการฉายรังสี UV-C ที่ 20 40 และ 60 W
- 5.2.2 นำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ไปพัฒนาผู้ทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา ให้เป็นผู้ทดสอบยับยั้งเชื้อราอัตโนมัติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย :: Thai Rice Exporters Association :: Thailand (no date) . Available at: <http://www.thairiceexporters.or.th/> (Accessed: March 31, 2023).
- [2] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.). Available at: <https://www.thaihealth.or.th/> (Accessed: March 31, 2023).
- [3] Wang, B., Shen, F., He, X., Fang, Y., Hu, Q. and Liu, X., 2023. Simultaneous detection of *Aspergillus* moulds and aflatoxin B1 contamination in rice by laser induced fluorescence spectroscopy. *Food Control*, 145, :109485.
- [4] Wang, Y., Zhou, Y., Qin, Y. and Wang, L., 2022. Effect of environmental factors on the aflatoxin production by *Aspergillus flavus* during storage in upland rice seed using response surface methodology. *LWT*, 169, :113977.
- [5] ความปลอดภัยด้านอาหาร (*food safety*). Available at:<http://fic.nfi.or.th/foodsafety/> (Accessed: April 21, 2023).
- [6] Racchi, I., Scaramuzza, N., Hidalgo, A., Cigarini, M. and Berni, E., 2021. Sterilization of food packaging by UV-C irradiation: Is *Aspergillus brasiliensis* ATCC 16404 the best target microorganism for industrial bio-validations?. *International Journal of Food Microbiology*, 357, :109383.
- [7] Singhal, A., Kumari, N., Ghosh, P., Singh, Y., Garg, S., Shah, M.P., Jha, P.K. and Chauhan, D.K., 2022. Optimizing cellulase production from *Aspergillus flavus* using response surface methodology and machine learning models. *Environmental Technology & Innovation*, 27, :102805.
- [8] Evrendilek, G.A., Bulut, N., Atmaca, B. and Uzuner, S., 2022. Prediction of *Aspergillus parasiticus* inhibition and aflatoxin mitigation in red pepper flakes treated by pulsed electric field treatment using machine learning and neural networks. *Food Research International*, 162, :111954.
- [9] Evrendilek, G.A., Bulut, N., Atmaca, B. and Uzuner, S., 2022. Prediction of *Aspergillus parasiticus* inhibition and aflatoxin mitigation in red pepper flakes treated by pulsed electric field treatment using machine learning and neural networks. *Food Research International*, 162, :111954.
- [10] Sharma, S., Sirisomboon, P., Sumesh, K.C., Terdwongworakul, A., Phetpan, K., Kshetri, T.B. and Sangwanangkul, P., 2023. Near-infrared hyperspectral imaging combined with machine learning for physicochemical-based quality evaluation of durian pulp. *Postharvest Biology and Technology*, 200, :112334.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Sharma, S., Sirisomboon, P., Sumesh, K.C., Terdwongworakul, A., Phetpan, K., Kshetri, T.B. and Sangwanangkul, P., 2023. Near-infrared hyperspectral imaging combined with machine learning for physicochemical-based quality evaluation of durian pulp. *Postharvest Biology and Technology*, 200, :112334.
- [12] Panomjan, N., Jandum, S. and Petkaew, W., 2018. Grain quality characteristics and structure of opaque and translucent endosperm in Sang Yod rice variety. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 21(3), :82-90.
- [13] กองโภชนาการ กรมอนามัย (2547) (no date) Online thai food composition database (Thai FCD). Available at: <https://inmu2.mahidol.ac.th/thaifcd/home.php/> (Accessed: 16 June 2023).
- [14] Shammi, S., Hossen, M.A., Al Mamun, M.R. and Soeb, M.J.A., 2022. Temporal and spatial representation of temperature and moisture in drying chamber and its impact on vertical vacuum dehumidifying rice seed dryer performance. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, :100424.
- [15] Moreno-Andrés, J., Tierno-Galán, M., Romero-Martínez, L., Acevedo-Merino, A. and Nebot, E., 2023. Inactivation of the waterborne marine pathogen *Vibrio alginolyticus* by photo-chemical processes driven by UV-A, UV-B, or UV-C LED combined with H₂O₂ or HSO₅. *Water Research*, 232, :119686.
- [16] Jongyingcharoen, J.S. and Cheevitsopon, E., 2016. Development of UV-treated cooked germinated brown rice and effect of UV-C treatment on its storability, GABA content, and quality. *LWT-Food Science and Technology*, 71, :243-248.
- [17] Dittgen, C.L., da Silveira, M.M., Kröning, D.P., Ziegler, V., de Oliveira, M. and Ferreira, C.D., 2021. Chemical, physical, and sensory changes in rice subjected to UV-C radiation and its acceptability to rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.)(Coleoptera: Curculionidae) and humans. *Journal of Stored Products Research*, 90, :101760.
- [18] Racchi, I., Scaramuzza, N., Hidalgo, A., Cigarini, M. and Berni, E., 2021. Sterilization of food packaging by UV-C irradiation: Is *Aspergillus brasiliensis* ATCC 16404 the best target microorganism for industrial bio-validations?. *International Journal of Food Microbiology*, 357, :109383.
- [19] Panseri, S., Arioli, F., Pavlovic, R., Di Cesare, F., Nobile, M., Mosconi, G., Villa, R., Chiesa, L.M. and Bonerba, E., 2022. Impact of irradiation on metabolomics

- profile of ground meat and its implications toward food safety. *Lwt*, 161, :113305.
- [20] Fan, L., Liu, X., Dong, X., Dong, S., Xiang, Q. and Bai, Y., 2021. Effects of UVC light-emitting diodes on microbial safety and quality attributes of raw tuna fillets. *Lwt*, 139, :110553.
- [21] Nicolau-Lapeña, I., Colás-Medà, P., Viñas, I. and Alegre, I., 2022. Inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* on apple peel and apple juice by ultraviolet C light treatments with two irradiation devices. *International Journal of Food Microbiology*, 364, :109535.
- [22] Ma, Y., Jiang, B., Liu, K., Li, R., Chen, L., Liu, Z., Xiang, G., An, J., Luo, H., Wu, J. and Lv, C., 2022. Multi-omics analysis of the metabolism of phenolic compounds in tea leaves by *Aspergillus luchuensis* during fermentation of pu-erh tea. *Food Research International*, 162, :111981.
- [23] Adithi, G., Somashekaraiyah, R., Divyashree, S., Shruthi, B. and Sreenivasa, M.Y., 2022. Assessment of probiotic and antifungal activity of *Lactiplantibacillus plantarum* MYSAGT3 isolated from locally available herbal juice against mycotoxigenic *Aspergillus* species. *Food Bioscience*, 50, :102118.
- [24] Romero-Sánchez, I., Ramírez-García, L., Gracia-Lor, E. and Madrid-Albarrán, Y., 2022. Simultaneous determination of aflatoxins B1, B2, G1 and G2 in commercial rices using immunoaffinity column clean-up and HPLC-MS/MS. *Food Chemistry*, 395, :133611.
- [25] Kagot, V., De Boevre, M., Landschoot, S., Obiero, G., Okoth, S. and De Saeger, S., 2022. Comprehensive analysis of multiple mycotoxins and *Aspergillus flavus* metabolites in maize from Kenyan households. *International Journal of Food Microbiology*, 363, :109502.
- [26] Pei, P., Xiong, K., Wang, X., Sun, B., Zhao, Z., Xu, J., Jin, X., Ye, H., Xiao, J. and Kong, J., 2021. Modelling the effect of environmental factors on the growth of *Aspergillus parasiticus* and mycotoxin production in paddy during storage. *Journal of Stored Products Research*, 93, :101846.
- [27] บดินทร์ บุตรอินทร์. 2555. สารพิษจากเชื้อรา: อะฟลาท็อกซิน Mycotoxin Aflatoxin. *Journal of Associated Medical Sciences*, 7 หน้า

- [28] Gerdan Koc, D., KOÇ, C. and Ekinçi, K., 2023. Fusion-based machine learning approach for classification of algae varieties exposed to different light sources in the growth stage. *Algal Research*, :71.
- [29] Salehi, M., Ghahari, S., Hosseinzadeh, M. and Ghalichi, L., 2023. Domestic violence risk prediction in Iran using a machine learning approach by analyzing Persian textual content in social media. *Heliyon*.
- [30] Gu, J., Zhao, L., Yue, X., Arshad, N.I. and Mohamad, U.H., 2023. Multistage quality control in manufacturing process using blockchain with machine learning technique. *Information Processing & Management*, 60(4), :103341.
- [31] Magar, R. and Farimani, A.B., 2023. Learning from mistakes: Sampling strategies to efficiently train machine learning models for material property prediction. *Computational Materials Science*, 224, :112167.
- [32] Xiao, R., Zhang, P., Chen, L. and Hou, Y., 2023. Machine learning based prediction of heat transfer deterioration of supercritical fluid in upward vertical tubes. *Applied Thermal Engineering*, 228, :120477.
- [33] Yücel, Ö. and Tarlak, F., 2023. An intelligent based prediction of microbial behaviour in beef. *Food Control*, 148, :09665.
- [34] Kwak, S., Kim, J., Ding, H., Xu, X., Chen, R., Guo, J. and Fu, H., 2022. Machine learning prediction of the mechanical properties of γ -TiAl alloys produced using random forest regression model. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, :520-530.
- [35] Wang, X., Ping, W. and Al-Shati, A.S., 2023. Numerical simulation of ozonation in hollow-fiber membranes for wastewater treatment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 123, :106380.
- [36] Flores-Sosa, M., Avilés-Ochoa, E., Merigó, J.M. and Kacprzyk, J., 2022. The OWA operator in multiple linear regression. *Applied Soft Computing*, 124, :108985.
- [37] Çelik, Y.H. and Fidan, Ş., 2022. Analysis of cutting parameters on tool wear in turning of Ti-6Al-4V alloy by multiple linear regression and genetic expression programming methods. *Measurement*, 200, :111638.
- [38] Mancini, M.W., Almeida-Lopes, L., Bossini, P.S., Jacintho, G.S., Tsukamoto, J. and Arns, C.W., 2022. Fast inactivation of coronavirus in filtering-facepiece

- respirators in a reflective cylindrical UV-C chamber. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 12, :100151.
- [39] Ferreira, C.D., Lang, G.H., da Silva Lindemann, I., da Silva Timm, N., Hoffmann, J.F., Ziegler, V. and de Oliveira, M., 2021. Postharvest UV-C irradiation for fungal control and reduction of mycotoxins in brown, black, and red rice during long-term storage. *Food Chemistry*, 339, :127810.
- [40] Flores-Cervantes, D.X., Palou, E. and López-Malo, A., 2013. Efficacy of individual and combined UVC light and food antimicrobial treatments to inactivate *Aspergillus flavus* or *A. niger* spores in peach nectar. *Innovative food science & emerging technologies*, 20, :244-252.
- [41] Chen, X., Liu, B., Chen, Q., Liu, Y. and Duan, X., 2020. Application of combining ozone and UV-C sterilizations in the artificial drying of persimmon fruits. *Lwt*, 134, :110205.
- [42] Reverter-Carrión, L., Saucedo-Gálvez, J.N., Codina-Torrella, I., Hernández-Herrero, M.M., Gervilla, R. and Roig-Sagués, A.X., 2018. Inactivation study of *Bacillus subtilis*, *Geobacillus stearothermophilus*, *Alicyclobacillus acidoterrestris* and *Aspergillus niger* spores under Ultra-High Pressure Homogenization, UV-C light, and their combination. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, :258-264.
- [43] Evrendilek, G.A., Bulut, N., Atmaca, B. and Uzuner, S., 2022. Prediction of *Aspergillus parasiticus* inhibition and aflatoxin mitigation in red pepper flakes treated by pulsed electric field treatment using machine learning and neural networks. *Food Research International*, 162, :111954.
- [44] Selma, M.V., Freitas, P.M., Almela, L., González-Barrio, R., Espín, J.C., Suslow, T., Tomás-Barberán, F. and Gil, M.I., 2008. Ultraviolet-C and induced stilbenes control ochratoxigenic *Aspergillus* in grapes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(21), :9990-9996.
- [45] Faraji, H., Yazdi, F.T. and Razmi, N., 2022. The influence of ultraviolet radiation on aflatoxin producing *Aspergillus* species' isolated from Iranian rice. *Toxicology Reports*, 9, :1528-1536.
- [46] Salata, F., D'Orazio, A., Fabiani, M. and D'Alessandro, D., 2007. Effectiveness of UV radiation for reducing *Aspergillus Niger* and *Actynomices* contamination in

air-conditioning systems. *Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors: 10 Jun 2007–14 Jun 2007: Helsinki (Finland)*.

- [47] Nyirandayisabye, R., Li, H., Dong, Q., Hakuzweyezu, T. and Nkinahamira, F., 2022. Automatic pavement damage predictions using various machine learning algorithms: Evaluation and comparison. *Results in Engineering*, 16, p.100657.
- [48] Momota, M.M.R. and Morshed, B.I., 2022. ML algorithms to estimate data reliability metric of ECG from inter-patient data for trustable AI-based cardiac monitors. *Smart Health*, 26, :100350.
- [49] Kwak, S., Kim, J., Ding, H., Xu, X., Chen, R., Guo, J. and Fu, H., 2022. Machine learning prediction of the mechanical properties of V-TiAl alloys produced using random forest regression model. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, :520-530.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

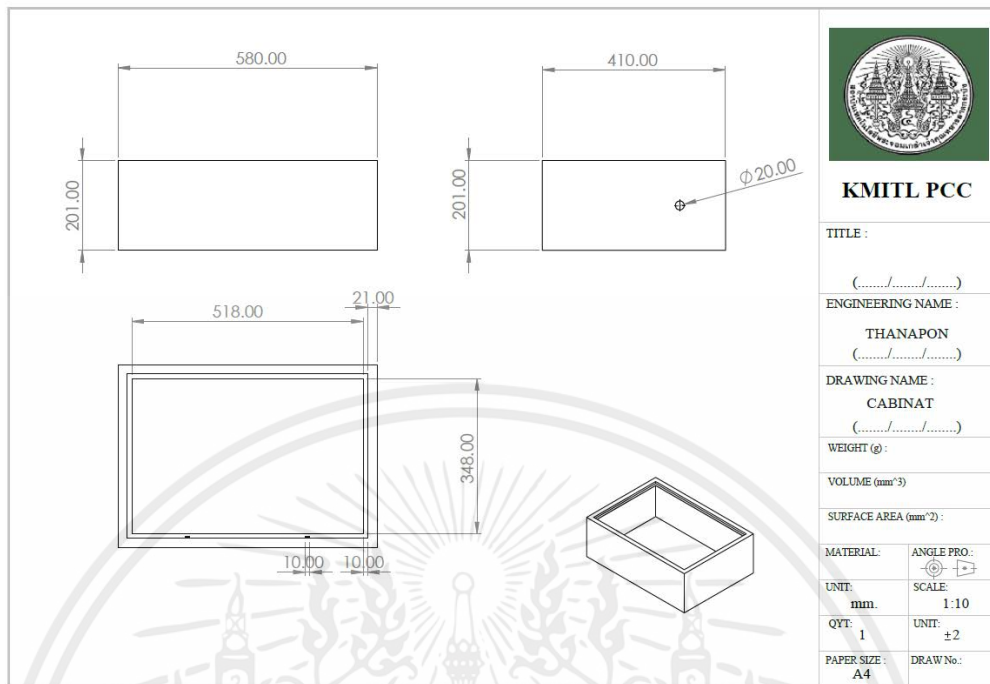
ตารางที่ ก.1 แสดงค่าจำนวนเชื้อราบนเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการฉายรังสี UV-C

Electric power (watt)	Radiation time (min)	Fungal			
		1	2	3	average
Treated Pathogen	-	10270.00	9770.00	10020.00	10020.00
20	5	11630.00	10470.00	11050.00	11050.00
	10	9630.00	9390.00	9510.00	9510.00
	15	9600.00	9300.00	9450.00	9450.00
	20	9150.00	8570.00	8860.00	8860.00
	30	8580.00	8080.00	8330.00	8330.00
	40	7630.00	7510.00	7570.00	7570.00
	50	7580.00	6900.00	7240.00	7240.00
	60	6660.00	6400.00	6530.00	6530.00
40	5	9740.00	9140.00	9440.00	9440.00
	10	8610.00	7910.00	8260.00	8260.00
	15	8010.00	7630.00	7820.00	7820.00
	20	7070.00	6530.00	6800.00	6800.00
	30	5810.00	4890.00	5350.00	5350.00
	40	5900.00	5120.00	5510.00	5510.00
	50	4530.00	4050.00	4290.00	4290.00
	60	3700.00	3380.00	3540.00	3540.00
60	5	9260.00	8900.00	9080.00	9080.00
	10	7340.00	6960.00	7150.00	7150.00
	15	6790.00	6290.00	6540.00	6540.00
	20	5950.00	5590.00	5770.00	5570.00
	30	6220.00	5480.00	5850.00	5850.00
	40	3950.00	3490.00	3720.00	3720.00
	50	2730.00	2450.00	2590.00	2590.00
	60	1790.00	1370.00	1580.00	1580.00

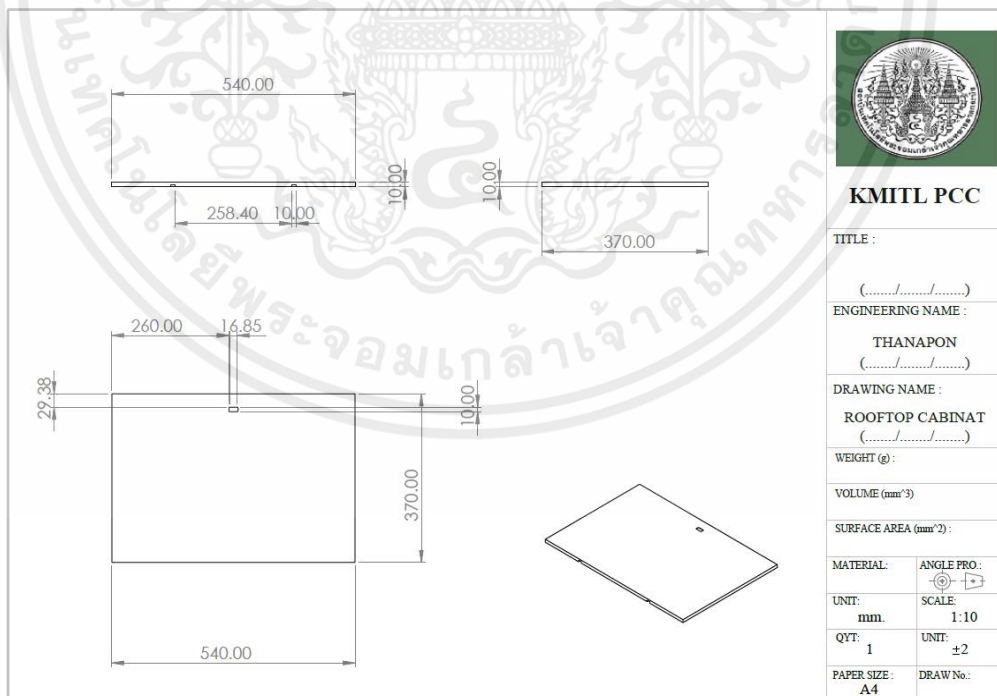
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

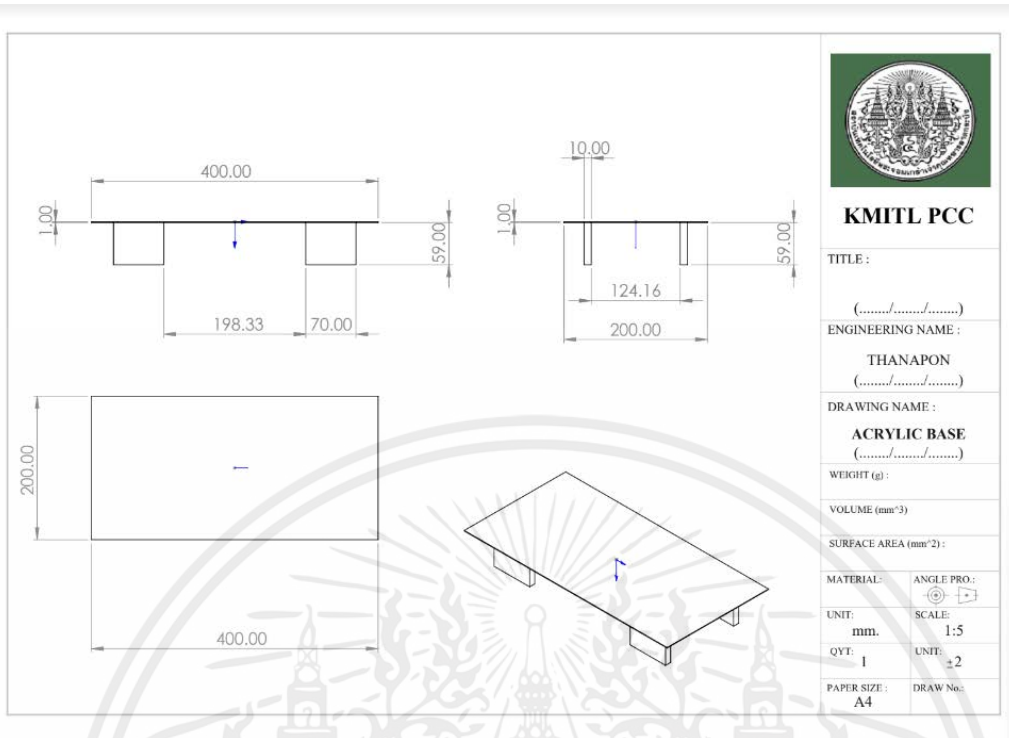


รูปที่ ข.1 Drawing 2D Cabinet

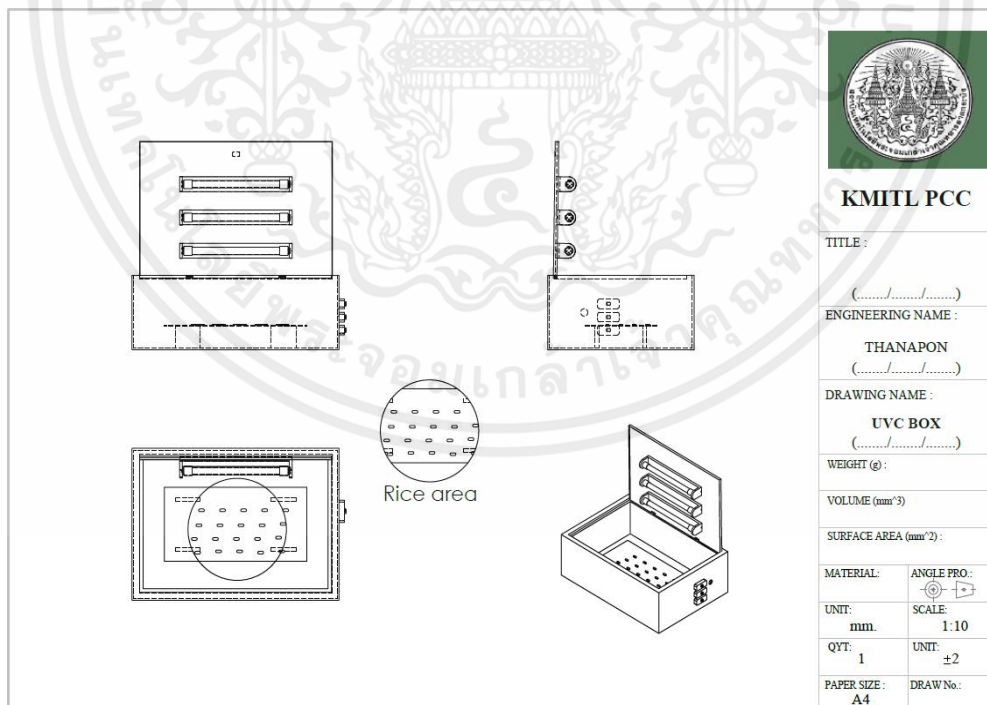


รูปที่ ข.2 Drawing 2D Rooftop Cabinet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 Drawing 2D Acrylic Base



รูปที่ ข.3 Drawing 2D UV-C Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 โค้ด Multiple linear regression

```
# Loading the dataset

# Importing pandas library

import pandas as pd

import numpy as np

# Reading the data

mydatatrain = pd.read_excel(r'data\xytrainone.xlsx')

mydatatrain.describe()

# replace "?" to NaN

mydatatrain.replace("?", np.nan, inplace = True)

mydatatrain.head(5)

missing_data = mydatatrain.isnull()

missing_data.head(5)

for column in missing_data.columns.values.tolist():

    print(column)

    print(missing_data[column].value_counts())

    print("")

mydatatrain.dtypes

mydatatrain.corr()

# Providing the input and output data

# The input data (x, regressors)

x_train = np.array(mydatatrain[['watt', 'time']])

x_train.shape

y_train = np.array(mydatatrain['funga'])
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y_train.shape

from sklearn.linear_model import LinearRegression

model = LinearRegression()

fungus_mlp = model.fit(x_train, y_train)

# training model evaluation

from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error,
explained_variance_score, r2_score

# the training r_sq

print('The training r_sq is: %.3f' % fungus_mlp.score(x_train, y_train))

# The slopes or coefficients of the input variables beta1,...,beta5

print('The slopes are:', fungus_mlp.coef_)

# Prediction on the training dataset

ytrain_pred = fungus_mlp.predict(x_train)

# The RMSE

print('The RMSE is %.3f' % np.sqrt(mean_squared_error(y_train, ytrain_pred)))

mydatatest = pd.read_excel('data\xytestone.xlsx')

mydatatest.describe()

# replace "?" to NaN

mydatatest.replace("?", np.nan, inplace = True)

mydatatest.head(5)

missing_data = mydatatest.isnull()

missing_data.head(5)

for column in missing_data.columns.values.tolist():

    print(column)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

print (missing_data[column].value_counts())

print("")

mydatatest.dtypes

mydatatest.corr()

x_test = np.array(mydatatest[['watt','time']])

y_test = np.array(mydatatest['fungi'])

ytest_pred = fungus_mlp.predict(x_test)

print('The testing r_sq is: %.3f' % r2_score(y_test, ytest_pred))

print('The RMSE: %.3f' % np.sqrt(mean_squared_error(y_test, ytest_pred)))

import matplotlib.pyplot as plt

from sklearn import datasets

# Photo size

plt.figure(figsize=(6,6))

# Create a scatter plot

plt.scatter(ytrain_pred, y_train , label='Training set',c='red')

plt.scatter(ytest_pred, y_test, label='Test Set',c='green')

x = np.linspace(1370,11630)

# Create a 45-degree line

y = x

# Plot the line

plt.plot(x, y, color='black', linestyle='--')

plt.legend()

# Add labels and title

plt.xlabel('Predicted fungal (cfu/g)' , fontsize = 14, weight = 'bold')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

plt.ylabel('True fungal (cFu/g) ', fontsize = 14, weight = 'bold')

plt.title('MLR ', fontsize = 16, weight = 'bold')

# Add a label

plt.text(10000, 2000, 'R2 = 0.879\nRMSEC =
805.492', fontsize=10, bbox=dict(facecolor='white', edgecolor='black', boxstyle='round'))

plt.text(10000, 500, 'r2 = 0.749\nRMSEP = 912.622',
fontsize=10, bbox=dict(facecolor='white', edgecolor='black', boxstyle='round'))

plt.ylim(0,14000)

plt.xlim(0,14000)

plt.xticks(size = 12)
plt.yticks(size = 12);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 โค้ด Support vector regression

```

# Loading the dataset

# Importing pandas library

import pandas as pd

import numpy as np

# Reading the data

mydatatrain = pd.read_excel(r'data\xytrainone.xlsx')

mydatatrain.describe()

# replace "?" to NaN

mydatatrain.replace("?", np.nan, inplace = True)

mydatatrain.head(5)

missing_data = mydatatrain.isnull()

missing_data.head(5)

for column in missing_data.columns.values.tolist():

    print(column)

    print(missing_data[column].value_counts())

    print("")

mydatatrain.dtypes

mydatatrain.corr()

# Providing the input and output data

# The input data (x, regressors)

x_train = np.array(mydatatrain[['watt', 'time']])

x_train.shape

y_train = np.array(mydatatrain['funga'])

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y_train.shape

from sklearn.svm import SVR

fungus_svr = SVR().fit(x_train, y_train)

# training model evaluation

from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error,
explained_variance_score, r2_score

# the training r_sq

print('The training r_sq is: %.3f' % fungus_svr.score(x_train, y_train))

# Prediction on the training dataset

ytrain_pred = fungus_fungus_svr.predict(x_train)

# The RMSE

print('The RMSE is %.3f' % np.sqrt(mean_squared_error(y_train, ytrain_pred)))

mydatatest = pd.read_excel('data\xytestone.xlsx')

mydatatest.describe()

# replace "?" to NaN

mydatatest.replace("?", np.nan, inplace = True)

mydatatest.head(5)

missing_data = mydatatest.isnull()

missing_data.head(5)

for column in missing_data.columns.values.tolist():

    print(column)

    print (missing_data[column].value_counts())

    print("")

mydatatest.dtypes

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mydatatest.corr()

x_test = np.array(mydatatest[['watt','time']])

y_test = np.array(mydatatest['funga!'])

ytest_pred = fungus_svr.predict(x_test)

print('The testing r_sq is: %.3f' % r2_score(y_test, ytest_pred))

print('The RMSE: %.3f' % np.sqrt(mean_squared_error(y_test, ytest_pred)))

import matplotlib.pyplot as plt

from sklearn import datasets

# Photo size

plt.figure(figsize=(6,6))

# Create a scatter plot

plt.scatter(ytrain_pred, y_train , label='Training set',c='red')

plt.scatter(ytest_pred, y_test, label='Test Set',c='green')

x = np.linspace(1370,11630)

# Create a 45-degree line

y = x

# Plot the line

plt.plot(x, y, color='black', linestyle='--')

plt.legend()

# Add labels and title

plt.xlabel('Predicted funga! (cFu/g)', fontsize = 14, weight = 'bold')

plt.ylabel('True funga! (cFu/g)', fontsize = 14, weight = 'bold')

plt.title('SVR ', fontsize = 16, weight = 'bold')

# Add a label

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

plt.text(10000, 2000, 'R2 = -0.01\nRMSEC =
2518.36',fontsize=10,bbbox=dict(facecolor='white', edgecolor='black', boxstyle='round'))

plt.text(10000, 500, 'r2 = -0.25\nRMSEP = 2030.80',
fontsize=10,bbbox=dict(facecolor='white', edgecolor='black', boxstyle='round'))

plt.ylim(0,14000)

plt.xlim(0,14000)

plt.xticks(size = 12)

plt.yticks(size = 12);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 โค้ด Decision tree regression

```

import pandas as pd

import numpy as np

# Reading the data

mydatatrain = pd.read_excel(r'data\xytrainone.xlsx')

mydatatrain.describe()

# replace "?" to NaN

mydatatrain.replace("?", np.nan, inplace = True)

mydatatrain.head(5)

missing_data = mydatatrain.isnull()

missing_data.head(5)

for column in missing_data.columns.values.tolist():

    print(column)

    print(missing_data[column].value_counts())

    print("")

mydatatrain.dtypes

mydatatrain.corr()

# Providing the input and output data

# The input data (x, regressors)

x_train = np.array(mydatatrain[['watt','time']])

x_train.shape

y_train = np.array(mydatatrain['funga'])

y_train.shape

from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

fungus_dt = DecisionTreeRegressor().fit(x_train, y_train)

# training model evaluation

from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error,
explained_variance_score, r2_score

# the training r_sq

print('The training r_sq is: %.3f%' fungus_dt.score(x_train, y_train))

# Prediction on the training dataset

ytrain_pred = fungus_dt.predict(x_train)

# The RMSE

print('The RMSE is %.3f%' np.sqrt(mean_squared_error(y_train, ytrain_pred)))

mydatatest = pd.read_excel('data\xytestone.xlsx')
mydatatest.describe()

# replace "?" to NaN
mydatatest.replace("?", np.nan, inplace = True)
mydatatest.head(5)

missing_data = mydatatest.isnull()
missing_data.head(5)

for column in missing_data.columns.values.tolist():

    print(column)

    print(missing_data[column].value_counts())

    print("")

mydatatest.dtypes

mydatatest.corr()

x_test = np.array(mydatatest[['watt', 'time']])

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y_test = np.array(mydatatest['fungal'])

ytest_pred = fungus_dt.predict(x_test)

print('The testing r_sq is: %.3f' % r2_score(y_test, ytest_pred))

print('The RMSE: %.3f' % np.sqrt(mean_squared_error(y_test, ytest_pred)))

import matplotlib.pyplot as plt

from sklearn import datasets

# Photo size

plt.figure(figsize=(6,6))

# Create a scatter plot

plt.scatter(ytrain_pred, y_train , label='Training set',c='red')

plt.scatter(ytest_pred, y_test, label='Test Set',c='green')

x = np.linspace(1370,11630)

# Create a 45-degree line

y = x

# Plot the line

plt.plot(x, y, color='black', linestyle='--')

plt.legend()

# Add labels and title

plt.xlabel('Predicted fungal (cFu/g) ', fontsize = 14, weight = 'bold')

plt.ylabel('True fungal (cFu/g) ', fontsize = 14, weight = 'bold')

plt.title('MLR ', fontsize = 16, weight = 'bold')

# Add a label

plt.text(10000, 2000, 'R2 = 0.992\nRMSEC = 218.25',
        fontsize=10, bbox=dict(facecolor='white', edgecolor='black', boxstyle='round'))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plt.text(10000, 500, 'r2 = 0.847\nRMSEP = 709.75',  
        fontsize=10, bbox=dict(facecolor='white', edgecolor='black', boxstyle='round'))  
  
plt.ylim(0,14000)  
  
plt.xlim(0,14000)  
  
plt.xticks(size = 12)  
  
plt.yticks(size = 12);
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.4 โค้ด Random forest regression

```
# Loading the dataset

# Importing pandas library

import pandas as pd

import numpy as np

# Reading the data

mydatatrain = pd.read_excel(r'data\xytrainone.xlsx')

mydatatrain.describe()

# replace "?" to NaN

mydatatrain.replace("?", np.nan, inplace = True)

mydatatrain.head(5)

missing_data = mydatatrain.isnull()

missing_data.head(5)

for column in missing_data.columns.values.tolist():

    print(column)

    print(missing_data[column].value_counts())

    print("")

mydatatrain.dtypes

mydatatrain.corr()

# Providing the input and output data

# The input data (x, regressors)

x_train = np.array(mydatatrain[['watt', 'time']])

x_train.shape

y_train = np.array(mydatatrain['funga'])
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y_train.shape

from sklearn.tree import RandomForestRegressor

model = RandomForestRegressor(n_estimators = 30, random_state = 30)

fungus_rf= model.fit(x_train, y_train)

# training model evaluation

from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error,
explained_variance_score, r2_score

# the training r_sq

print('The training r_sq is: %.3f' % fungus_rf.score (x_train, y_train))

# Prediction on the training dataset

ytrain_pred = fungus_rf.predict (x_train)

# The RMSE

print('The RMSE is %.3f' % np.sqrt(mean_squared_error(y_train, ytrain_pred)))

mydatatest = pd.read_excel('data\xytestone.xlsx')

mydatatest.describe()

# replace "?" to NaN

mydatatest.replace("?", np.nan, inplace = True)

mydatatest.head(5)

missing_data = mydatatest.isnull()

missing_data.head(5)

for column in missing_data.columns.values.tolist():

    print(column)

    print (missing_data[column].value_counts())

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

print("")

mydatatest.dtypes

mydatatest.corr()

x_test = np.array(mydatatest[['watt','time']])

y_test = np.array(mydatatest['fungal'])

ytest_pred = fungus_rf.predict(x_test)

print('The testing r_sq is: %.3f' % r2_score(y_test, ytest_pred))

print('The RMSE: %.3f' % np.sqrt(mean_squared_error(y_test, ytest_pred)))

import matplotlib.pyplot as plt

from sklearn import datasets

# Photo size

plt.figure(figsize=(6,6))

# Create a scatter plot

plt.scatter(ytrain_pred, y_train , label='Training set',c='red')

plt.scatter(ytest_pred, y_test, label='Test Set',c='green')

x = np.linspace(1370,11630)

# Create a 45-degree line

y = x

# Plot the line

plt.plot(x, y, color='black', linestyle='--')

plt.legend()

# Add labels and title

plt.xlabel("Predicted fungal (cFu/g)", fontsize = 14, weight = 'bold')

plt.ylabel("True fungal (cFu/g)", fontsize = 14, weight = 'bold')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

plt.title('MLR ', fontsize = 16, weight = 'bold')

# Add a label

plt.text(10000, 2000, 'R2 = 0.990\nRMSEC =
247.29,fontsize=10,bbox=dict(facecolor='white', edgecolor='black', boxstyle='round'))

plt.text(10000, 500, 'r2 = 0.859\nRMSEP = 683.85,
fontsize=10,bbox=dict(facecolor='white', edgecolor='black', boxstyle='round'))

plt.ylim(0,14000)

plt.xlim(0,14000)


plt.xticks(size = 12)

plt.yticks(size = 12);

```

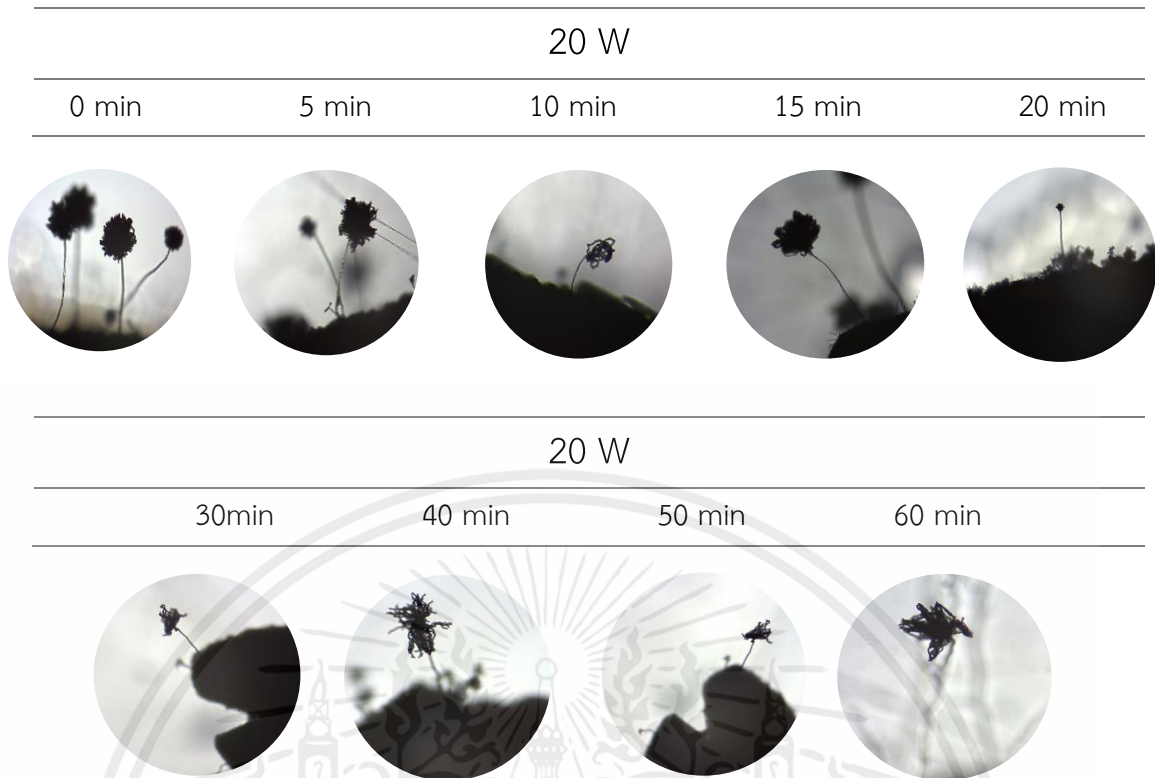


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



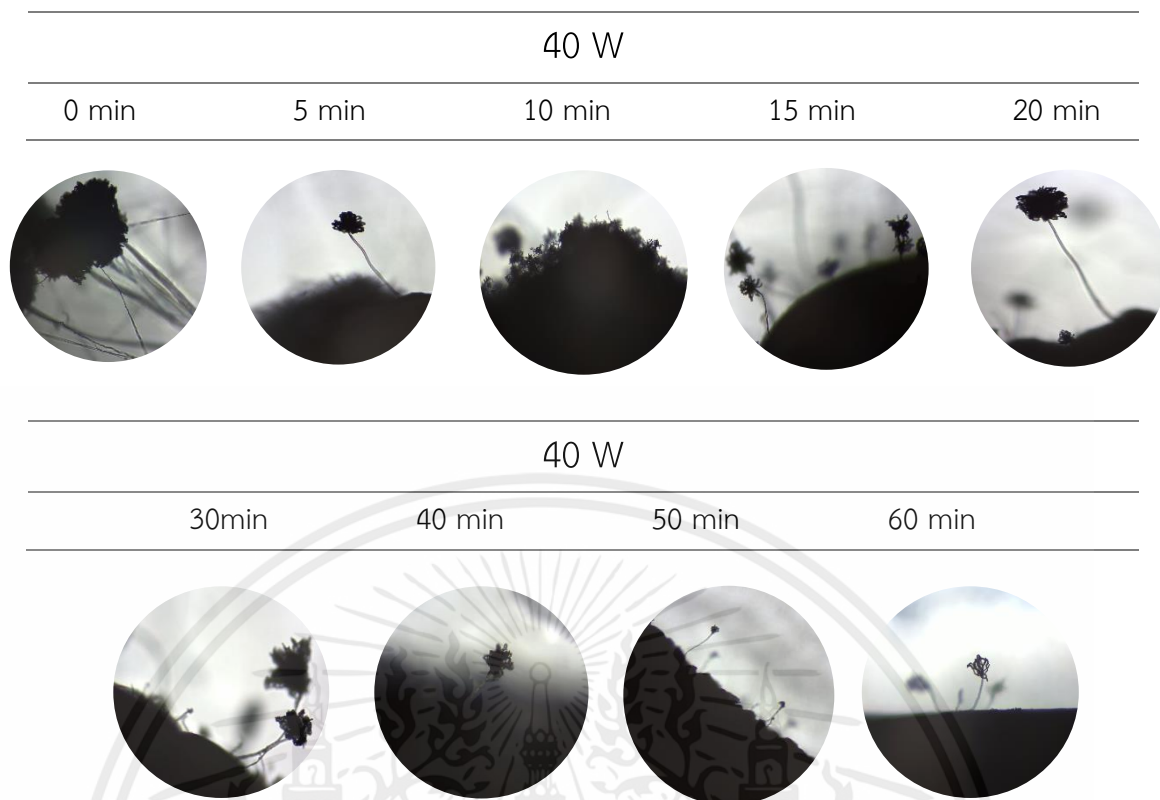
ภาคผนวก ง
รูปเชื้อรา *Aspergillus* sp. X100 บนเมล็ดข้าวเปลือกหลังเก็บไว้
7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



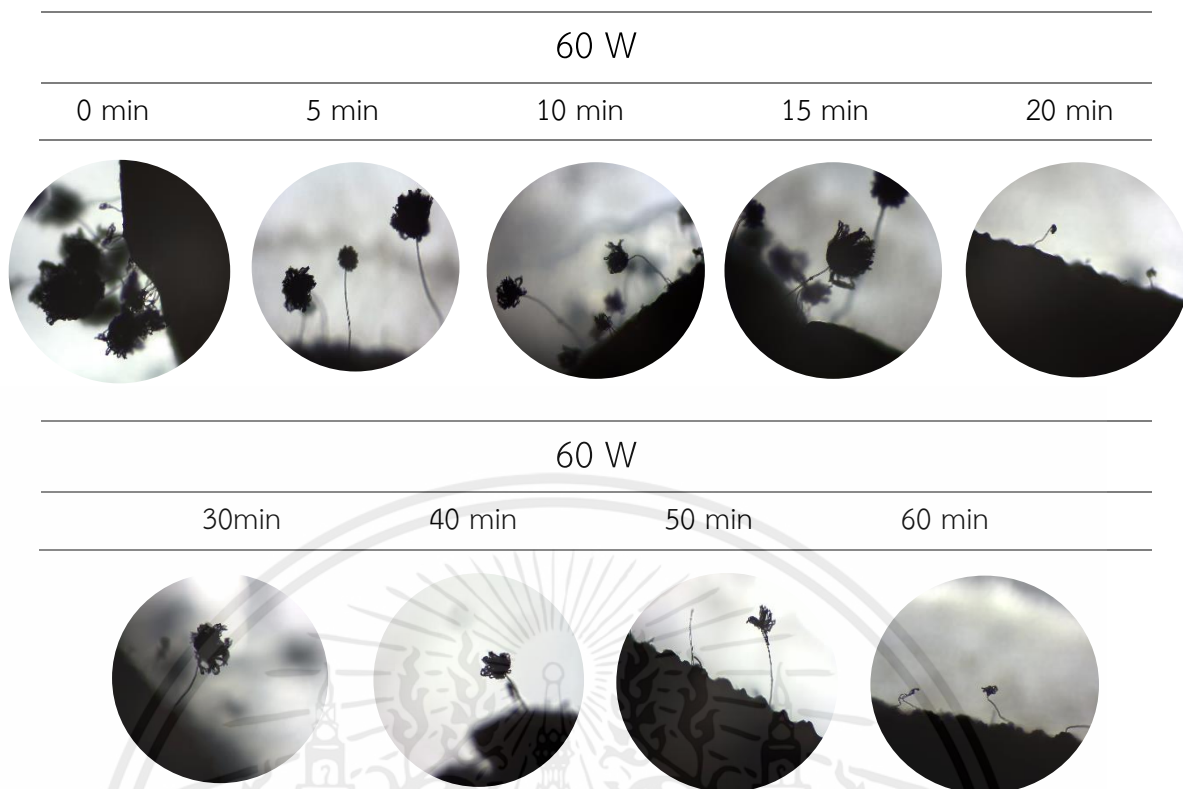
รูปที่ ง.1 รูปเชื้อรา *Aspergillus sp.* X100 ที่กำลังไฟ 20 W หลังเก็บไว้เป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.2 รูปเชื้อรา *Aspergillus sp.* X100 ที่กำลังไฟ 40 W หลังเก็บไว้เป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.3 รูปเชื้อรา *Aspergillus sp.* X100 ที่กำลังไฟ 60 W หลังเก็บไว้เป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายธนพล รัตนมาลา
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
 ที่อยู่ 560/4 หมู่ที่ 6 ตำบลตลาด อำเภอเมือง
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทย์ – คณิต
 ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนเทศบาล ๔ (วัดโพธารวาส)
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบัน
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขต
 ชุมพรเขตอรุณศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการอบรมเรื่อง ระบบไฟฟ้าและคอนเวอร์เตอร์สำหรับ
 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric system and power converter
 for EV) ปี 2562

- เข้าร่วมการอบรมเรื่อง ระบบประจุแบตเตอรี่และมาตรฐาน
 (Charging system and standards) ปี 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายอัครพงษ์ เอื้อการ
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 ที่อยู่ 137 หมู่ที่ 7 ตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน
 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

- ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทย์ – คณิต ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผลงานและกิจกรรม
- เข้าร่วมการอบรมเรื่อง ระบบไฟฟ้าและคอนเวอร์เตอร์สำหรับ ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric system and power converter for EV) ปี 2562
 - เข้าร่วมการอบรมเรื่อง ระบบประจุแบตเตอรี่และมาตรฐาน (Charging system and standards) ปี 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายรัชชานนท์ อังตระกูล
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
 ที่อยู่ 456/153 ต.ตลาด อำเภอเมือง
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทย์-คณิต
 ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนเทศบาล๔ (วัดโพธารวาส)
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบัน
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขต
 ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการอบรมเรื่อง ระบบไฟฟ้าและคอนเวอร์เตอร์สำหรับ
 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric system and power converter
 for EV) ปี 2562

- เข้าร่วมการอบรมเรื่อง ระบบประจุแบตเตอรี่และมาตรฐาน
 (Charging system and standards) ปี 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้