การพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา

Development of the Portable Meter for Monitoring Pesticide Residue in Vegetable

ชวิศา ฝ่ายคำตา

วัชราภรณ์ อานุรักษ์

วาสิตา ชาติวุฒิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา

Development of the Portable Meter for Monitoring Pesticide Residue in Vegetable

ชวิศา ฝ่ายคำตา

วัชราภรณ์ อานุรักษ์

วาสิตา ชาติวุฒิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Development of the Portable Meter for Monitoring Pesticide Residue in Vegetable

CHAWISA FHAYKAMTA

WATCHARAPORN ANURAK

WASITA CHADWUT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา
Development of the Portable Meter for Monitoring Pesticide Residue in Vegetable

นักศึกษาผู้จัดทำ

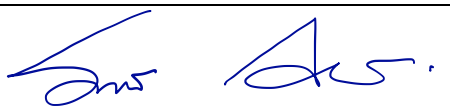
นางสาวชวิศา	ฝ่ายคำตา	รหัสนักศึกษา	60010214
นางสาววัชราภรณ์	อานุรักษ์	รหัสนักศึกษา	60010921
นางสาววาสิตา	ชาติวุฒิ	รหัสนักศึกษา	60010929

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2563

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผศ.ดร. รวิภัทร ลาภเจริญสุข	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวชวิศา ฝ่ายคำตา รหัส 60010214
นางสาววัชราภรณ์ อานุรักษ์ รหัส 60010921
นางสาววาสิตา ชาติวุฒิ รหัส 60010929

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. รวิภัทร ลาภเจริญสุข

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา เทคนิค Near Infrared Spectroscopy และกระบวนการ Machine Learning ถูกนำมาประยุกต์ในการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ถูกเพาะใน 2 แปลงโดยแบ่งปลูกแปลงละ 50 ต้น แปลงที่หนึ่งปลูกโดยไม่ใช้สารเคมี และแปลงที่สองปลูกโดยใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอส หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลสเปกตรัมของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่มีสารเคมีตกค้างและไม่มีสารเคมีตกค้าง ด้วยเครื่อง Micro NIR spectrometer ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 900-1700 นาโนเมตร ตัวอย่างผักกวางตุ้ง 100 ตัวอย่าง ถูกนำมาตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักเชิงคุณภาพด้วยชุดตรวจสอบสารเคมีแบบพกพา และปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีตกค้างตรวจสอบด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างผักกวางตุ้งและข้อมูลสารตกค้างเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณถูกนำเข้าสู่กระบวนการ Machine learning ตั้งแต่การปรับปรุงข้อมูล การสร้างแบบจำลอง การทดสอบแบบจำลอง การทดลองประยุกต์ใช้งาน แบบจำลองสำหรับการจำแนกผักมีสารเคมีตกค้างและไม่มีสารเคมีตกค้างถูกพัฒนาด้วยเทคนิค Support vector machine (SVM) สำหรับแบบจำลองในการระบุปริมาณสารเคมีตกค้างถูกพัฒนาด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLS) การทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองใช้วิธี K-fold Cross validation ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองเชิงคุณภาพแสดงค่า accuracy เท่ากับ 1.00 แบบจำลองเชิงปริมาณแสดงค่า R^2_{train} เท่ากับ 0.99 และค่า R^2_{test} เท่ากับ 0.93 แบบจำลองที่ได้ถูกนำไปใช้ในการพัฒนา Graphical User Interface ซึ่งเป็นส่วนควบคุมเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา การพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างแบบพกพาใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้ บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (DFR0419, DFROBOT, China), Micro Near Infrared Spectrometer ที่มีการแสดงผลผ่านทางหน้าจอแสดงผล Latte Panda IPS Display ขนาด 7 นิ้ว การทดสอบการประยุกต์ใช้งานเครื่องทดสอบกับผักกวางตุ้งฮ่องเต้จากตลาดสดและซุปเปอร์มาเก็ต 30 ตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า เครื่องมีสมรรถนะในการตรวจสอบสูงโดยสามารถตรวจสอบผักที่มีสารเคมีตกค้างได้ถูกต้อง 90 เปอร์เซ็นต์ และบอกปริมาณของสารเคมีตกค้างได้ถูกต้องโดยมีค่า R^2_{unknow} เท่ากับ 1.00 จากข้อมูลข้างต้นพบว่ามีความเป็นไปได้สูงในการใช้เครื่องตรวจสอบสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตกค้างในผักแบบพกพาเป็นทางเลือกในการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักกวางตุ้งตามท้องตลาดได้แทนวิธีดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title Development of the Portable Meter for Monitoring Pesticide Residue in Vegetable

Authors	CHAWISA	FHAYKAMTA	60010214
	WATCHARAPORN	ANURAK	60010921
	WASITA	CHADWUT	60010929
Thesis Advisor	Asst.Prof. Dr. Ravipat Lapcharoensuk		
Year	2021		

Abstract

The objective of this project is to design and develop a portable meter for monitoring pesticide residue in vegetable. The near infrared spectroscopy technique and the machine learning process ware applied to the detection of pesticide residues in Chinese cabbage. Chinese Cabbage was cultivated in 2 vegetable plots which divided into 50 plants per one vegetable plot. The first plot was grown without using pesticide and the second plot were grown using chlorpyrifos pesticide. Thereafter, spectra of both pesticide and non-pesticide were collected using a Micro NIR spectrometer with wavelengths in the 900-1700 nm. One hundred samples of Chinese Cabbage were examined for pesticide residues in vegetables in quantitative analysis with a GT-Pesticide residual test kit while the residue concentration content was determined with a UV-VIS spectrophotometer. NIR spectra of the Chinese cabbage samples, qualitative and quantitative data of pesticide residues in vegetables were bring into the machine learning process including the pre-processing, model training, performance testing of the model and deployment of the model. The model for classification pesticide and non-pesticide vegetables was developed with the Support vector machine (SVM). The regression model was developed with Partial least squares regression (PLS). The performance test of model was preformed using the K-fold cross validation method. The results showed that the qualitative of model accuracy is 100%. The quantitative model showed R^2_{train}= 0.99 and R^2_{test}= 0.93. These models that ware used to develop the graphical user interface which is control part of a portable meter for monitoring pesticide residue in vegetable. The portable meter for monitoring pesticide residue in vegetable was developed using the devices including computer board (DFR0419, DFROBOT, China), Micro NIR Spectrometer and display on 7-inch Latte Panda IPS Display screen. The meter was deployed with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำเอกสารนี้ไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

unknow sample which collected form local market and supermarket with 30 samples. The deployed testing results showed that the portable meter had high performance for detecting pesticide residues with accuracy of 90% and R^2_{unknow} = 1.00. All the above information indicated that portable meter is an alternative method which is probably applied for monitoring pesticide residue in in Chinese cabbage substituting the conventional method in the market.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพาฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุขที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ช่วยเหลือในการทำการทดลอง และให้กำลังใจเสมอมา

นางสาวชวิศา	ฝ่ายคำตา	รหัส	60010214
นางสาววัชราภรณ์	อานุรักษ์	รหัส	60010921
นางสาววาสิตา	ชาติวุฒิ	รหัส	60010929

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ซ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กวางตุ้งฮ่องเต้	4
2.2 สารเคมีตกค้างที่พบในผัก	6
2.3 การกำจัดสารตกค้างในดินด้วยจุลินทรีย์ย่อยสลาย	7
2.4 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy)	8
2.5 วิธีการตรวจสอบสารเคมีในผัก	9
2.6 อุปกรณ์แสดงผลและระบบควบคุม	10
2.7 กระบวนการ Machine learning	12
2.8 Graphical User Interface (GUI)	12
บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินงาน	13
3.1 การเตรียมตัวอย่าง	13
3.2 การเก็บข้อมูลสเปกตรัม NIR	13
3.3 การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักจีที (GT-Pesticide Residual test kit)	14
3.4 การวัดปริมาณของสารเคมีตกค้าง	15
3.5 กระบวนการ Machine learning	15
3.6 พัฒนาหน้าจอ Graphical User Interface	16
3.7 ส่วนประกอบตัวเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา	17
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1 ค่าทางสถิติของสารเคมีตกค้างในตัวอย่างผักกวางตุ้ง 21
4.2 ค่าสเปกตรัม NIR 21
4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่อง 23
4.4 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 26
5.1 สรุปผลการทดลอง 26
5.2 ข้อเสนอแนะ 26
บรรณานุกรม 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 กวางตุ้งฮ่องเต้ 4

รูปที่ 2.2 ช่วงสเปกตรัมของอินฟราเรด 8

รูปที่ 2.3 ประเภทการสั่นของโมเลกุล 9

รูปที่ 2.4 UV - Vis spectrophotometer 10

รูปที่ 2.5 หน้าจอ Lattepanda IPS Display 11

รูปที่ 2.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 11

รูปที่ 2.7 กระบวนการ Machine learning 12

รูปที่ 3.1 เพาะกล้ากวางตุ้ง 15-20 วัน (ก), ระยะย้ายปลูก-ตั้งตัว 21-28 วัน (ข), ระยะโตเต็มที่ 28-45 วัน (ค) 13

รูปที่ 3.2 แสกนตัวอย่างผักกวางตุ้งฮ่องเต้ 14

รูปที่ 3.3 หั่นฝอยตัวอย่างผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (ก), ดูดของเหลวจากขวดทดลองใส่หลอดทดลอง (ข), ระเหยของเหลวในถาดน้ำอุ่น (ค), ผลลัพธ์จากการทดลอง (ง) 14

รูปที่ 3.4 การวัดปริมาตรของสารเคมีตกค้าง โดยใช้เครื่อง UV – Vis spectrophotometer 15

รูปที่ 3.5 กราฟ Calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และความเข้มข้น (Concentration) 15

รูปที่ 3.6 หน้าจอเริ่มต้นการทำงาน (ก), หน้าจอแสดงผลลัพธ์ NON-PESTICIDE (ข), หน้าจอแสดงผลลัพธ์ PESTICIDE (ค) 16

รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของหน้าจอ Graphical User Interface 17

รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบภายในเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา 18

รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบภายนอกเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา 18

รูปที่ 3.10 แบบฉายตัวกล่อง 19

รูปที่ 3.11 แบบฉายฝากล่อง 20

รูปที่ 3.12 แบบฉายฝาพับ 20

รูปที่ 4.1 สเปกตรัม NIR ของชุดข้อมูลหลังทำ Preprocessing Process ด้วยวิธีต่าง ๆ, วิธี Detrending (ก), วิธี Mean Normalization (ข) , วิธี Min-Max Normalization (ค), วิธี 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Multiplicative Scatter Correction (ง) , วิธี Raw Spectrum (จ), วิธี Savitzky d1 (ฉ) , วิธี Savitzky d2 (ช), วิธี Smoothing (ซ) , วิธี Standard Normal Variate (ฌ)

รูปที่ 4.2 Regression coefficient plot form PLS algorithm 24

รูปที่ 4.3 โครงสร้างเคมีของคลอไพริฟอส 25

รูปที่ 4.4 Break Even Point Graph 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
ตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาและชนิดของแมลงศัตรูพืชที่เข้าทำลายผักกวางตุ้ง 6
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าสถิติของข้อมูล 21
ตารางที่ 4.2 Best model from Classifications 24
ตารางที่ 4.3 Best model from Regressions 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัญหาสารเคมีตกค้างในผักเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อสุขภาพของผู้บริโภค สารเคมีที่มักพบตกค้างในผักคือ สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate) และกลุ่มคาร์บาเมต (carbamate) ผลต่อร่างกายในระยะสั้นคือเกิดการขัดขวางการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทส่วนปลาย (ราเมศ และพิมพ์ใจ, 2559) และหากในรับสารเคมีเหล่านี้เป็นเวลานานอาจเป็นต้นเหตุของโรคร้ายแรง เช่น มะเร็งได้ จากรายงานผู้ประสานงานเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (Thaipulica, 2019) ระบุว่าผักกวางตุ้งเป็นผักที่มีปริมาณการตกค้างของสารเคมีสูงเป็นอันดับหนึ่ง สิ่งที่น่ากังวลใจคือผักกวางตุ้งฮ่องเต้นิยมนำมาประกอบอาหารในครัวเรือน ร้านอาหาร และภัตตาคาร ข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคมีโอกาสเสี่ยงต่อการบริโภคผักที่มีสารเคมีตกค้างเป็นอย่างมาก ปัจจุบันทุกภาคส่วนให้ความสำคัญต่อการแก้ปัญหานี้อย่างจริงจัง เช่น การควบคุมปริมาณการใช้สารเคมี การปลูกผักในโรงเรือนปิด การใช้วิธีการอื่นทดแทนการใช้สารเคมี การรณรงค์ให้ทำความสะอาดผักก่อนการรับประทาน และการลงพื้นที่ตรวจสอบการตกค้างของสารเคมีในผักตามท้องตลาด การตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักที่ใช้ในปัจจุบันยังเป็นการใช้วิธีทางเคมีที่ต้องทำลายตัวอย่าง ใช้เวลานานในการตรวจสอบแต่ละครั้ง ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบ ต้นทุนสูง ซึ่งถือเป็นอุปสรรคสำคัญในการตรวจสอบการตกค้างของสารเคมีในผัก ดังนั้นหากมีเทคโนโลยีที่สามารถมาทดแทนวิธีทางเคมีได้ถือเป็นทางออกที่ช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ที่เกิดขึ้นกับการตรวจสอบได้

เทคโนโลยีทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับประยุกต์ใช้ตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักคือ Near Infrared Spectroscopy เป็นเทคนิคที่มีความสามารถในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรแบบไม่ทำลายตัวอย่างและสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีนี้คือการวิเคราะห์การเกิดอันตรกิริยาต่อพันธะไฮโดรเจน (C-H, N-H, O-H เป็นต้น) เมื่อดูดกลืนแสงในช่วง Near infrared มีงานวิจัยการประยุกต์เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการตรวจหาสารตกค้างในผลิตผลเกษตร. (ปาริชาติ, 2560), การประยุกต์เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการตรวจวัดการปนเปื้อนของราและอะฟลาทอกซินบี 1 ในข้าวกล้อง (ชลธิชา, 2558) ข้อมูลที่ยกมาข้างต้นกล่าวได้ว่ามีความเป็นไปได้สูงในการประยุกต์ใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักได้ จากกงานวิจัยข้างต้นเป็นการประยุกต์เทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพียงในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ดังนั้นการพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพาโดยใช้หลักการจากเทคนิค Near Infrared Spectroscopy ที่สามารถนำไปใช้งานในท้องตลาดได้จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โครงงานนี้จึงมีเป้าหมายในการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพาโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy ร่วมกับกระบวนการ machine learning สำหรับการตรวจสอบสารเคมีตกค้างโดยผลลัพธ์ของโครงงานนี้คาดหวังว่าจะได้เครื่องมือแก้ปัญหาต้นทุนในการตรวจสอบในปัจจุบันที่สูง เป็นวิธีตรวจสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่าง ทราบผลได้รวดเร็ว มีความแม่นยำสูง และพกพาได้สะดวก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา

2. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy ร่วมกระบวนการ Machine Learning สำหรับตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักกวางตุ้งฮ่องเต้

3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระดับการตกค้างของสารเคมีในผักกวางตุ้งฮ่องเต้จากตลาดสดและซุปเปอร์มาเก็ต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ตัวอย่างที่ใช้เป็นผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกในแปลงทดลองจำนวน 2 แปลง แปลงละ 50 ต้น แปลงที่หนึ่งปลูกโดยไม่ใช้สารเคมีและแปงที่สองปลูกโดยใช้สารเคมีคลอไพริฟอส

2. เก็บข้อมูลสเปกตรัมของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่มีสารเคมีตกค้างและไม่มีสารเคมีตกค้าง ด้วยเครื่อง Micro NIR spectrometer ที่ความยาวคลื่น 900-1700 นาโนเมตร

3. กระบวนการ Machine learning ดำเนินการด้วยข้อมูลสเปกตรัม Near infrared และสร้างแบบจำลองในการจำแนกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่มีสารเคมีตกค้างและไม่มีสารเคมีตกค้าง ด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), วิธี Decision tree, วิธี Naive bayes, วิธี K-Nearest neighbors (K-NN), วิธี Artificial neural network (ANN), วิธี Support vector machine (SVM), วิธีRandom forest, วิธีAdaptive boosting และ วิธีGradient boosting สำหรับแบบจำลองสำหรับการทำนายปริมาณสารเคมีตกค้างสร้างโดย วิธี Partial least squares regression (PLS), วิธี K-Nearest neighbors (K-NN), วิธี Artificial neural network (ANN) และวิธี Support vector machine (SVM) โดยการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองใช้วิธี K-fold Cross validation

4. สมรรถนะของแบบจำลองสำหรับการจำแนกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่มีสารเคมีตกค้างและไม่มีสารเคมีตกค้าง ถูกรายงานด้วยค่าผลบวกจริง (True Positive), ค่าผลลบจริง (True negative), ผลบวกลวง (False positive), ผลลบลวง (False negative), ค่า Specificity, ค่า Sensitivity และความคลาดเคลื่อนโดยรวม (Total error) และสมรรถนะของแบบจำลองสำหรับการทำนายปริมาณสารเคมีตกค้างรายงานด้วยค่า Coefficient of determination (R^2), Root mean square error (RMSE) และ Ratio of prediction to deviation (RPD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. การเก็บข้อมูลสารเคมีตกค้างในผักกวางตุ้งฮ่องเต้ใช้ชุดตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผัก GT และเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

6. การพัฒนาเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างแบบพกพาใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้ บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (DFR0419, DFROBOT, China), Micro Near Infrared Spectrometer และแสดงผลผ่านทางหน้าจอแสดงผล Latte Panda IPS Display ขนาด 7 นิ้ว

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพาที่ไม่ทำลายตัวอย่างที่สามารถช่วยประหยัดเวลาในการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผัก

2. เสริมสร้างมาตรการลดการใช้สารเคมีในผักของเกษตรกร

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน		พุทธศักราช 2563							พุทธศักราช 2564			
		มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	ทดลองปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้											
2	เก็บข้อมูลสเปกตรัมด้วย Micro NIR											
3	ตรวจสอบปริมาณตกค้างด้วยวิธีพื้นฐาน											
4	สร้างแบบจำลองโมเดล											
5	ออกแบบเครื่อง											
6	พัฒนา GUI											
7	ทดสอบความแม่นยำของโมเดล											
8	สร้างเครื่องตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักแบบพกพา											
9	สรุปและเขียนรายงานผล											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กวางตุ้งฮ่องเต้ (ระพีพรรณ ใจภักดี, 2544)

กวางตุ้งฮ่องเต้ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Brassica chinensis var. chinensis กวางตุ้งฮ่องเต้ จัดเป็นพืชตระกูล Brasicaceae (Crucifereae-Mustard family) มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน ญี่ปุ่นและเอเชียกลาง นำเข้ามาปลูกในไทยเป็นระยะเวลานาน เป็นพืช 2 ฤดู แต่ปลูกเป็นพืชฤดูเดียว ก้านใบมีสีเขียวอ่อน ลักษณะแบน ส่วนโคนก้านใบจะขยายกว้างมาก และหนา เนื้อกรอบ ปลายใบมน ไม่ห่อหัว

รูปที่ 2.1 กวางตุ้งฮ่องเต้
ที่มา : บางกอกทูเดย์ทีม (2562)

2.1.1 สภาพแวดล้อมการปลูก

อุณหภูมิ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกวางตุ้งฮ่องเต้ อยู่ระหว่าง 20-25 ^{o}C แต่สามารถทนต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ดี ดังนั้นจึงสามารถปลูก ได้ตลอดทั้งปี

ดิน กวางตุ้งฮ่องเต้ สามารถเจริญเติบโตในดินแทบทุกชนิด แต่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาพดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ และอินทรีย์วัตถุสูง ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.0-6.8 จะทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี แต่ก็ไม่ทนต่อความ แห้งแล้ง เนื่องจากเป็นพืชอายุสั้น และเจริญเติบโตเร็ว ดังนั้นแปลงปลูกควรต้องมีความชื้นสูง และต้องการแสงแดดเต็มที่ ตลอดทั้งวัน เพื่อการสังเคราะห์อาหาร

2.1.2 การใช้ประโยชน์และคุณค่าทางอาหาร

การปฏิบัติดูแลรักษากวางตุ้งฮ่องเต้ ในระยะต่างๆของการเจริญเติบโตกวางตุ้งฮ่องเต้ เป็นผักที่มีทั้งแคลเซียม วิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินบี3 วิตามินซี วิตามินเค แมงกานีส ธาตุเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ฟอสฟอรัส โฟเลต และโพแทสเซียม นิยมนำมาผัดกับเนื้อสัตว์ ผัดน้ำมันหอย หรือต้มเป็นแกงจืด รสชาติหวาน และกรอบ

2.1.3 การเพาะปลูก

การเตรียมกล้า เพาะกล้ากวางตุ้งฮ่องเต้ แบบประณีต ในถาดหลุม อายุกล้า 15-20 วัน

การเตรียมดิน ไถดินลึกประมาณ 15-20 ซม. หรือขุดดินตากแดดอย่างน้อย 14 วัน เพื่อกำจัดโรคแมลงและวัชพืช คลุกปูนขาวอัตรา 0-100 กรัม/ตร.ม. เก็บเศษวัชพืชออกจากแปลง

การปลูก

1.ใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 1 กก./ตร.ม. และปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 30 กรัม/ตร.ม. ลงในดิน พรวนดินให้ละเอียด ขึ้นแปลงกว้าง 100 – 200 ซม. ให้ร่องห่าง 50 ซม. และปรับหน้าแปลงให้เรียบ

2. หากใช้วิธีหยอดเม็ดโดยตรง ให้ใช้นิ้วกดหลุมลึก 0.5 ซม. หยอดเมล็ด 5 เมล็ดต่อหลุมระยะปลูกแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละฤดู จากนั้นกลบเมล็ด รดน้ำให้ชุ่ม

3. หากย้ายปลูกระยะปลูก ฤดูฝนและฤดูหนาว 25×20 ซม. ส่วนฤดูร้อน 20×20 ซม.

การให้ปุ๋ย ปลูกซ่อมต้นที่เสียหายภายใน 7 วัน หลังย้ายปลูก กำจัดวัชพืชทุก 15-20 วัน หลังย้ายปลูกหรือเมล็ดงอก และทำการถอนแยกให้เหลือ 2-3 ต้น ขีดร่องลึก 2 ซม. ระหว่างแถวปลูกโรยปุ๋ย 46-0-0 ลงไปแล้วกลบดิน แล้วรดน้ำ อาจเพิ่มปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 15-30 กรัม/ตร.ม. ฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตามความจำเป็น และฉีดพ่นธาตุอาหารเสริม รดน้ำให้สม่ำเสมอ

การเก็บเกี่ยว ควรเก็บเกี่ยวก่อนออกดอก (อายุประมาณ 35-45 วัน หลังปลูก) อย่าปล่อยให้ต้นแก่เกินไป คุณภาพจะต่ำลง ตัดต้น เหนือระดับดินเล็กน้อย เด็ดใบเสียหรือใบเหลืองออก ควรเหลือใบนอกไว้ 2-3 ใบ ป้องกันความเสียหายระหว่างการขนส่ง หากผลผลิตเปียกควรผึ่งให้แห้งก่อนบรรจุส่ง ไม่ควรล้างผลผลิต เพราะจะทำให้เน่าเสียหายได้ง่าย

2.1.4 แมลงศัตรูที่สำคัญของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโต

ผักกวางตุ้งฮองเต้ถูกแมลงเข้ารบกวนในระหว่างการปลูกกวางตุ้งฮ่องเต้ ข้อมูลแมลงศัตรูพืชที่สำคัญของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาและชนิดของแมลงศัตรูพืชที่เข้าทำลายผักกวางตุ้ง

ระยะ	วัน	แมลงศัตรูพืช	ลักษณะการทำลาย
ระยะกล้า	15-20	ด้วงหมัดผัก, เพลี้ยอ่อน	ด้วงหมัดผัก : ตัวอ่อนที่เป็นหนอนชอบกัดกินราก โตเต็มวัยจะกัดกินใบจนเป็นรูพรุน และวางไข่ในดินใกล้ๆ ต้นพืช เพลี้ยอ่อน : จะดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชทั้งส่วนยอดและใบ จะทำให้พืชงอและเหี่ยว หนอนใยผัก : จะกัดกินยอดที่กำลังเจริญเติบโตและผิวด้านล่างใบจนเกิดรูพรุน หนอนกระทู้ : หนอนจะกัดกินจากขอบใบเข้าไปและแทะกินผิวด้านล่างต้นพืช
ระยะย้ายปลูก-ตั้งตัว	21-28	ด้วงหมัดผัก, หนอนใยผัก, เพลี้ยอ่อน, หนอนกระทู้	
ระยะเข้าหัว	28-55	ด้วงหมัดผัก, หนอนใยผัก, เพลี้ยอ่อน, หนอนกระทู้	
ระยะโตเต็มที่	56-70	ด้วงหมัดผัก, หนอนใยผัก, เพลี้ยอ่อน, หนอนกระทู้	

ที่มา: ศูนย์วิจัยเอสวีกรุ๊ป, 2562

2.2 สารเคมีตกค้างที่พบในผัก (เซ็นทรัลแล็บไทย, 2562)

สารเคมีตกค้างทางการเกษตร จำแนกตามองค์ประกอบทางเคมีของสารแบ่งเป็น 4 กลุ่มที่สำคัญ ได้แก่

1. สารประกอบออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate compounds) เป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบสำคัญ ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ออกฤทธิ์ทำให้แมลงตายโดยการสัมผัสและดูดซึมเข้าสู่ตัวแมลง มีฤทธิ์อยู่ได้นานกว่าสารกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติยับยั้งเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส (cholinesterase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยในการทำงานของระบบประสาทของมนุษย์และ สัตว์ ดังนั้นจึงมีข้อควรระวังสำหรับผู้สัมผัสกับสารกลุ่มนี้ คือ จะต้องตรวจร่างกายอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อตรวจหาระดับซีรั่มโคลีนเอสเตอเรส สารในกลุ่มนี้ เช่น ไดคลอร์วอส หรือดีดีวีพี (dichlorvos or DDVP) ไดอะซินอน (diazinon) มาลาไทออน (malathion) คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) เทเมฟอส (temephos) เป็นต้น

2. สารกลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate) เป็นเอสเทอร์และมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ บางชนิดละลายได้ดีในน้ำ ส่วนใหญ่สารกลุ่มนี้ใช้ในการป้องกันกำจัดแมลง เชื้อโรคพืช และหอยต่าง ๆ มีคุณสมบัติคล้ายกับกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตคือไม่สะสมในสิ่งมีชีวิต และมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส (cholinesterase) และสามารถดูดซึมอยู่ในพืชได้นาน สารในกลุ่มนี้ เช่น คาร์บาริล(carbaryl) คาร์โบฟูแรน (carbofuran) เมโทมิล (methomyl) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. สารกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ (synthetic pyrethroids) เป็นสารเคมีสังเคราะห์ที่มีสูตรโครงสร้างคล้ายสารไพรีทรินส์ที่สกัดมาจากดอกเบญจมาศ ตระกูล Chrysanthemum สารไพรีทรินส์เป็นสารกำจัดแมลงที่มีประสิทธิภาพสูง ปลอดภัยในการใช้ มีพิษต่อสัตว์เลี้ยง ลูกด้วยนมต่ำ แต่ด้วยคุณสมบัติที่ไม่ทนต่อแสงของสารนี้ จึงมีการผลิตสารไพรีทรอยด์สังเคราะห์ขึ้นแทนเพราะทนต่อแสงได้นานกว่า สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ในการกำจัดแมลงโดยเกิดพิษที่ระบบประสาทของแมลง แต่สำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมรวมทั้งมนุษย์พบว่า เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนแปลงและถูกขับถ่ายออกโดยไม่สะสมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย ส่วนในสิ่งแวดล้อม ดิน และพืชจะเสื่อมสลายอย่างรวดเร็ว สารในกลุ่มนี้ เช่น อัลเลทริน (allethrin) ไบโออัลเลทริน (bioallethrin) ไบโอเรสเมทริน (bioresmethrin) ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin) เพอร์เมทริน (permethrin) ไซฟลูทริน (cyfluthrin) เป็นต้น

4. สารประกอบออร์กาโนคลอรีน (organochlorine compounds) เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุคลอรีน ไฮโดรเจน คาร์บอน บางชนิดอาจมีออกซิเจนรวมอยู่ด้วยเรียกว่า คลอริเนเต็ดไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) เป็นสารกำจัดแมลงที่ออกฤทธิ์ตกค้างนาน มีความคงตัว ไม่สลายตัว ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ดีในน้ำมัน ลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น เป็นสารกลุ่มแรกที่นำมาใช้ควบคุมแมลงในบ้านเรือน ปัจจุบันสารในกลุ่มนี้หลายชนิดจัดเป็น วัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 คือ ห้ามมิให้มีการผลิต นำเข้า ส่งออก หรือมีไว้ในครอบครอง เพราะมีพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมก่อให้เกิดมะเร็ง ตกค้างในสิ่งแวดล้อม แพร่กระจายและสะสมเพิ่มขึ้นในสัตว์ต่าง ๆ ตามลำดับในชั้นห่วงโซ่อาหาร สารในกลุ่มนี้ เช่น ดีดีที (DDT) คลอร์เดน (chlordane) อัลดริน (aldrin) บีเอชซี (BHC) ดีลดริน (dieldrin) เฮพตาคลอร์ (heptachlor) เป็นต้น

2.3 การกำจัดสารตกค้างในดินด้วยจุลินทรีย์ย่อยสลาย (ศิราภรณ์ และฐปน, 2559)

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่พบได้ทั่วไปในสภาพแวดล้อม ซึ่งมีหลายกลุ่ม เช่น แบคทีเรีย ไวรัส สาหร่าย มีทั้งตัวดีและไม่ดี ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยตัวไม่ดีอาจทำให้เกิดโรคทั้งในมนุษย์ พืชและสัตว์ ในขณะที่ตัวดีนั้นสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น บางตัวย่อยสลายเซลลูโลสหรือสารอินทรีย์ได้ ในงานด้านสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นการคัดเลือกกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยบำบัดน้ำเสียและบำบัดกลิ่น จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะช่วยย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้ดีขึ้น ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และยังช่วยกำจัดกลิ่น ซึ่งที่มาของจุลินทรีย์แต่ละชนิดมาจากการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ที่ประสบปัญหา นำมาคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่แข็งแรงและมีความสามารถในหน้าที่นั้น ๆ เช่น บำบัดน้ำเสีย กำจัดกลิ่น แล้วขยายเพิ่มปริมาณ เก็บไว้เป็นหัวเชื้อที่พร้อมนำไปใช้งาน จุลินทรีย์กลุ่มช่วยย่อยสลายฯ เป็นเชื้อราไตรโคเดอร์ม่า (Trichoderma sp.) ร่วมกับแบคทีเรียบาซิลลัส (Bacillus sp.) ช่วยลดระยะเวลาการย่อยสลายเศษวัสดุอินทรีย์ได้เร็วขึ้นกว่าเดิมได้ 40% ขึ้นอยู่กับชนิดเศษวัสดุ อัตราส่วนคาร์บอน:ไนโตรเจน (C:N) และความชื้น เมื่อย่อยสลายแล้วยังได้วัสดุที่มีธาตุอาหารช่วยควบคุมและป้องกันโรคพืชได้ ขณะที่จุลินทรีย์กลุ่มควบคุมโรคพืชช่วยป้องกันโรคพืชจากเชื้อราและแบคทีเรีย โดยเบียดเบียนหรือแย่งใช้อาหารที่เชื้อโรคต้องการ และยังช่วยละลายแร่ธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชด้วย ส่วนกลุ่มช่วยกำจัดสารตกค้าง (ไกลโฟเสท) จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารตกค้างใน

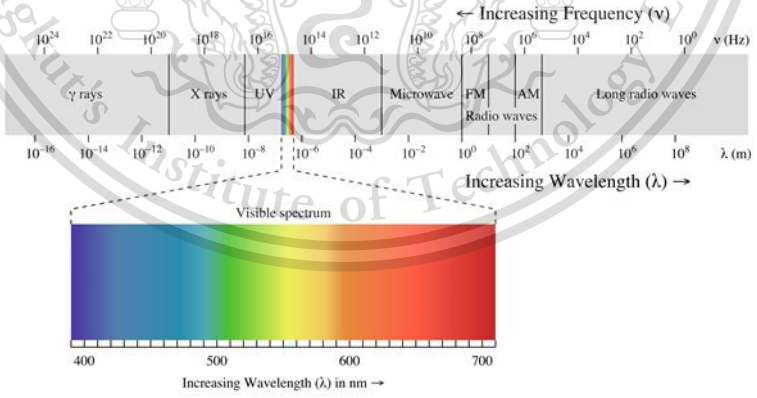
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พื้นที่ปนเปื้อนได้ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน ปริมาณสารตกค้างลดลงมากกว่า 90% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม

2.4 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2551)

เทคนิค Near Infrared Spectroscopy เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 700-2500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบโดยไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive testing) ในผลผลิตทางการเกษตร และผลผลิตอื่นๆ ในอุตสาหกรรม หลักการทำงานของ Near Infrared Spectroscopy คือ การส่งคลื่นแสงในช่วง 800-2500 นาโนเมตรเข้าไปในตัวอย่าง ทำให้โมเลกุลของตัวอย่างมีการดูดกลืน (absorb) พลังงานและเกิดการสั่นสะเทือน (vibration) ซึ่งการตรวจวัดสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การวัดการสะท้อน (reflectance) เป็นต้น จะได้ออกมาเป็นสเปกตรัมในช่วงคลื่น Near Infrared Spectroscopy นำมาประมวลผลและหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับข้อมูลตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีทางเคมีหรือวิธีอื่นๆ ที่ให้ค่ามาตรฐานออกมา เพื่อที่จะให้ได้สมการสอบเทียบมาตรฐาน (calibration equation) เพื่อใช้ทำนายค่าปัจจัยคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรได้ทั้งเชิงปริมาณ (quantitative) และเชิงคุณภาพ (qualitative)

คลื่นแสง Near Infrared Spectroscopy จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 700-2500 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ระหว่างคลื่นไมโครเวฟ (microwave) และคลื่นแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light ,VIS) ดังภาพที่ 1สามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 800-1100 นาโนเมตร และช่วงคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (Osborne et al., 1993)



รูปที่ 2.2 ช่วงสเปกตรัมของอินฟราเรด

ที่มา : satriwit3 (2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การสั่นของพันธะภายในโมเลกุล

พันธะภายในโมเลกุลของสารอินทรีย์เป็นพันธะโคเวเลนต์ เกิดจากแต่ละอะตอมใช้อิเล็กตรอน ร่วมกัน โดยปกติพันธะจะเกิดการสั่นอยู่ตลอด เรียกว่า การสั่นหลักมูล (fundamental vibration) จำแนกออกเป็น 2 แบบดังนี้

1. แบบยืด (stretching) คือ พันธะระหว่างอะตอมยืดออกหรือหดตามแกน เกิดได้ทั้งแบบยืด สมมาตร (symmetrical stretching) และแบบยืดไม่สมมาตร (asymmetrical stretching)

2. แบบงอ (bending) คือ พันธะระหว่างอะตอมเปลี่ยนตำแหน่งไปจากแกนพันธะเดิม ส่งผล ให้มุมพันธะเปลี่ยนแปลง ลักษณะการสั่นจำแนกออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ การโยก (rocking) กรรไกร (scissoring) การบิด (twisting) และการกระดิก (wagging) ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ประเภทการสั่นของโมเลกุล

ที่มา : Pws.npru (2558)

2.5 วิธีการตรวจสอบสารเคมีในผัก

2.5.1 UV - Vis spectrophotometer (Nanotec,2560)

เครื่องมือสำหรับการตรวจหาปริมาณของสาร โดยตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามตามกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) ที่กล่าวว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารมีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงปริมาณวิเคราะห์เนื่องจากค่าการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.4 UV - Vis spectrophotometer

2.5.2 ชุดตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักจีที (GT-Pesticide Residual test kit)

(กัลยวัจณ์ และบุษย์ณิชนา, 2556)

ใช้หลักการทำงานของ Cholinesterase Inhibition technique ตรวจวัดระดับความเป็นพิษของสารพิษตกค้างที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ การทำงานของชุดตรวจสารเคมีตกค้างในผักจีที (GT-Pesticide Residual test kit) นี้อาศัยหลักการที่ว่าสารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต , คาร์บาเมท และกลุ่มสารพิษอื่นๆที่เป็นโคลีนเอสเตอเรสอินฮิบิเตอร์ จะมีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์โคลีนเอสเตอเรส ซึ่งมีหน้าที่ในการควบคุมสมดุลของสารเคมีที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาระหว่างปมประสาทหรืออะซิติลโคลีน ถ้าตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์มียาฆ่าแมลง/สารพิษตกค้างอยู่ สารพิษจะไปยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์โคลีนเอสเตอเรส (GT-1) ทำให้เอ็นไซม์ไม่สามารถไปไฮโดรไลส์อะซิติลโคลีน (GT-2) ได้ โดยปริมาณของอะซิติลโคลีน (GT-2) ที่เหลืออยู่จะเป็นตัวกำหนดความเข้มของสีในชุดตรวจ ยิ่งถ้าตัวอย่างที่นำมาตรวจวิเคราะห์มีค่าความเป็นพิษสูง เอ็นไซม์โคลีนเอสเตอเรสจะถูกยับยั้งการทำงานมากขึ้นตาม ทำให้มีอะซิติลโคลีนเหลืออยู่ในปริมาณมากเช่นกัน สีที่ได้จากการทดสอบก็จะเข้มมากตาม

2.6 อุปกรณ์แสดงผลและระบบควบคุม

2.6.1 Latte Panda (Thaieasyelec, 2561)

LattePanda เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์รองรับระบบปฏิบัติการ Windows 10 ภายในบอร์ด LattePanda จะประกอบไปด้วยส่วนประมวลผล 2 ส่วนด้วยกัน

1. ส่วนประมวลผลหลักคือ Computer ที่ใช้ CPU Intel Cherry Trail Z8350

2. ส่วน Microcontroller Atmega32u4 ที่ลง Bootloader ให้เป็น Arduino Leonardo ทำให้บอร์ด LattePanda เปรียบเสมือน Computer ที่มีบอร์ด Arduino Leonardo เชื่อมต่ออยู่ผ่านทาง Port USB ทำให้ฝั่ง Computer (Intel Cherry Trail Z8350) มองเห็น Arduino เป็น Comport (UART) ด้วยการรวมกันของ 2 ส่วนนี้ทำให้ LattePanda มีความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์หรือ Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่างๆ ที่ต้องการความเป็น Realtime และเข้าถึง Hardware ในระดับ Low Level ด้วย Arduino และสร้าง Application ที่ต้องการความเร็วในการประมวลผล และรองรับจอแสดงผล LattePanda IPS Display ขนาด 7 นิ้ว ความละเอียด 1024 x 600 ผ่านทางคอนเนคเตอร์ MIPI-DSI สามารถติดตั้งแผ่นสัมผัสหน้าจอแบบ Capacitive Touch Screen เพิ่มเติมได้

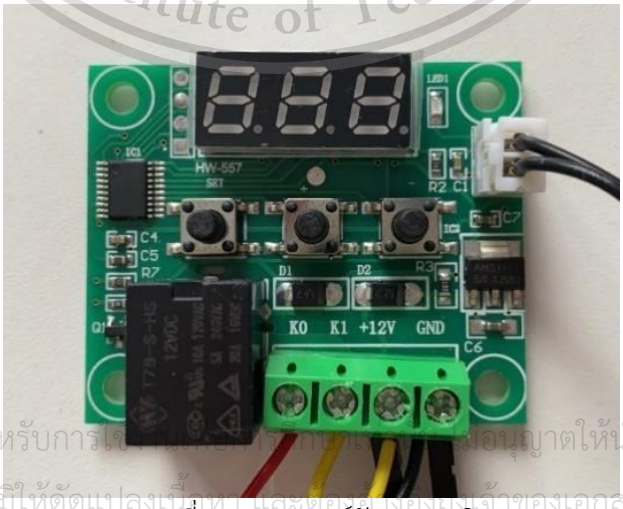
2.6.2 หน้าจอ Lattepanda IPS Display (Thaieasyelec, 2561)

เป็นหน้าจอแสดงผลขนาด 7 นิ้ว ที่มีความละเอียด 1024 x 600 ที่ต่อเข้ากับบอร์ด Lattepanda ผ่านทางคอนเนคเตอร์ MIPI-DSI และทำงานโดยการติดตั้งแผ่นสัมผัสหน้าจอแบบ Capacitive Touch Screen เพื่อควบคุมและสั่งการการทำงานผ่านหน้าจอ

รูปที่ 2.5 หน้าจอ Lattepanda IPS Display

2.6.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) คือ อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิในบริเวณที่ใช้งาน ซึ่งเหมาะกับการควบคุมอุณหภูมิในตัวกล้องภายในตัวเครื่อง เนื่องจากปัญหาที่เกิดจากการที่มีอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อระบบการวัดผลและตัวเครื่องได้



รูปที่ 2.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 กระบวนการ Machine learning (สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย, 2561)

Machine Learning คือ การทำให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยใช้ ข้อมูล(Data) ซึ่งจะใส่ Data และ Output (ผลลัพธ์) เข้าไป เพื่อให้หา Program ที่จะนำไปตอบในอนาคตได้ว่า Input แบบนี้ Output จะเป็นอะไร โดยMachine Learning จะเรียนรู้จากสิ่งที่เราส่งเข้าไปกระตุ้น แล้วจดจำเอาไว้เป็นมันสมอง ส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นตัวเลข หรือ code ที่ส่งต่อไปแสดงผล หรือให้ AI นำไปแสดง การกระทำ Machine Learning เองสามารถเอาไปใช้งานได้หลายรูปแบบ ต้องอาศัยกลไกที่เป็นโปรแกรม หรือเรียกว่า Algorithm ที่มีหลากหลายแบบ โดยมี Data Scientist เป็นผู้ออกแบบ

จะแบ่งได้ 3 แบบ

1. Supervised Learning — เรียนรู้โดยมี data มาสอน
2. Unsupervised Learning — เรียนรู้โดยไม่มี data สอน
3. Reinforcement Learning — เรียนรู้ตามสภาพแวดล้อม

รูปที่ 2.7 กระบวนการ Machine learning

ที่มา : Vithan (2561)

2.8 Graphical User Interface (GUI) (ปุณณวิช, 2557)

Graphical User Interface คือ การติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ภาพสัญลักษณ์ เป็นการออกแบบส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีการโต้ตอบกับผู้ใช้โดยการใช้ไอคอนรูปภาพ และสัญลักษณ์อื่น ๆ เพื่อแทนลักษณะต่าง ๆ ของโปรแกรม แทนที่ผู้ใช้จะพิมพ์คำสั่งในการทำงาน ช่วยทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้ง่าย และรวดเร็วขึ้น ไม่จำเป็นต้องจำคำสั่งต่าง ๆ ของโปรแกรมมากนัก ถือเป็นวิธีการให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ ให้ติดต่อสื่อสารกับระบบโดยผ่านทางภาพ เช่น ใช้เมาส์กดเลือกไอคอนแทนการพิมพ์คำสั่งเหมือนแต่ก่อนโดยเฉพาะในบางโปรแกรมที่มีคำสั่งมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
การออกแบบและการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

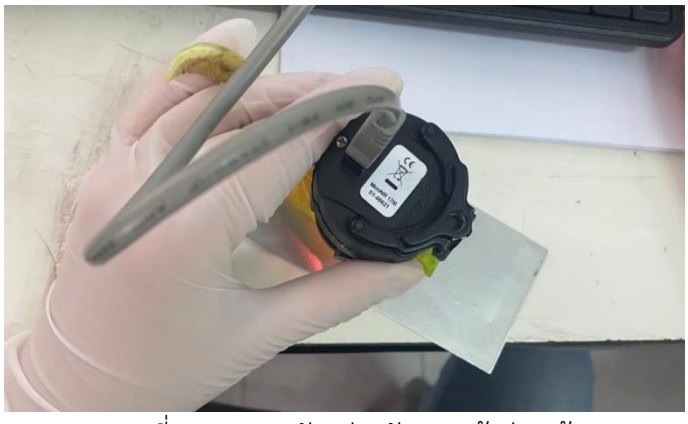
การทดลองใช้ตัวอย่างที่ใช้เป็นผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ทั้งหมด 100 ต้น ในแปลงทดลองจำนวน 2 แปลง แปลงละ 50 ต้น แปลงที่ 1 ปลูกแบบปลอดสารเคมีจำนวน 50 ต้น และแปลงที่ 2 ปลูกโดยการฉีดพ่นสารเคมีคลอไพริฟอสความเข้มข้น 40 %EC จำนวน 50 ต้น โดยใช้ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเพาะเมล็ดจนถึงวันเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 45 วัน สำหรับการใช้สารเคมีในแปลงที่ 2 ดำเนินการฉีดพ่นเมื่อปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้แล้วเป็นเวลา 28-45 วัน และเก็บเกี่ยวหลังจากเพาะปลูกเป็นเวลา 45-60 วัน

รูปที่ 3.1 เพาะกล้ากวางตุ้ง 15-20 วัน (ก), ระยะย้ายปลูก-ตั้งตัว 21-28 วัน (ข), ระยะโตเต็มที่ 28-45 วัน (ค)

3.2 การเก็บข้อมูลสเปกตรัม NIR

ทำการต่อกล้อง Micro NIR เข้ากับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Lattepanda จนเกิดการแสดงผลที่หน้าจอ Display เปิดเข้าโปรแกรม Micro NIR Pro v2.2 เพื่อทำการตั้งค่าการทำงานของกล้องก่อนเริ่มทำการสแกนตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการแสกนพื้นที่โล่งในโหมดของ Dark Scan และแสกนวัตถุที่อ้างอิงในโหมด Reference Scan จากนั้นให้ทำการแสกนกับตัวอย่างผักของเราโดยแสกนทั้งหมดสามซ้ำในบริเวณกลางใบโดยต้องมีแผ่นอลูมิเนียมรองตัวอย่างเอาไว้เพื่อให้ค่าสเปกตรัมสะท้อนกลับมายังตัวกล้องเพื่อเก็บข้อมูลสเปกตรัมที่ได้ในช่วงความยาวคลื่น 900 – 1700 นาโนเมตร และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่อุณหภูมิห้อง 25 ^{o}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 แสกนตัวอย่างผักกวางตุ้งฮ่องเต้

3.3 การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักจีที (GT-Pesticide Residual test kit)

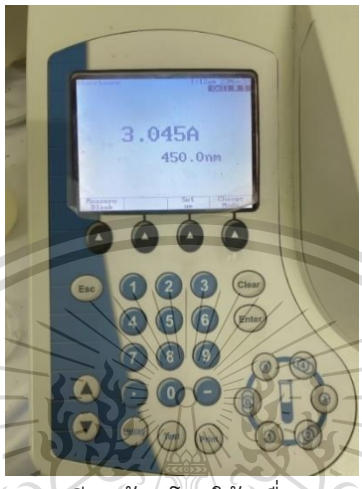
นำตัวอย่างผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ผ่านการแสกนเก็บค่าสเปกตรัมแล้วมาหั่นฝอยจนละเอียดแล้วใส่เข้าไปในขวดทดลองครั้งละ 4 ตัวอย่างหลังจากนั้นใส่ตัว Solvent 1 ลงไปปริมาณ 5 ml. เขย่าเป็นเวลา 1 นาทีแล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบตามกำหนดเวลาแล้วดูดของเหลวในขวดทดลองขึ้นมาจำนวน 1 ml. ใส่ไว้ในหลอดทดลองทั้งสี่หลอดแล้วเติม Solvent 2 จำนวน 1 ml. แล้วนำไประเหยในถาดน้ำอุ่นจนหมดไม่มีเศษตะกอนหลงเหลืออยู่ ดูดของเหลวที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้วในหลอดทดลองขึ้นมา 0.25 ml. ใส่ไปในหลอดทดลองหลอดใหม่ หลังจากนั้นเติมสาร GT-1 จำนวน 0.5 ml. ในทุกหลอดทดลองแล้วทิ้งไว้ 8 นาที ต่อมาเติมสาร GT-2 ลงไป 0.25 ml. ทิ้งไว้เป็นเวลา 8 นาทีแล้วเติมสาร GT-3 ลงไป 1 ml. ลงไปในทั้งสี่หลอดทดลองแล้วทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นเติมสาร GT-4 ลงไปแล้วเขย่าจนสารผสมเข้ากันแล้วเติมสาร GT-5 ลงไป ถ้าหากผลลัพธ์ที่ได้มีสีน้ำตาลเข้มนั่นแสดงว่ามีสารเคมีตกค้าง แต่ถ้าหากเป็นสีเหลืองใสหรือเป็นสีน้ำตาลอ่อนใสแสดงว่าไม่มีสารเคมีตกค้าง หรือมีสารเคมีตกค้างแต่ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด

รูปที่ 3.3 หั่นฝอยตัวอย่างผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (ก), ดูดของเหลวจากขวดทดลองใส่หลอดทดลอง (ข), ระเหยของเหลวในถาดน้ำอุ่น (ค), ผลลัพธ์จากการทดลอง (ง)

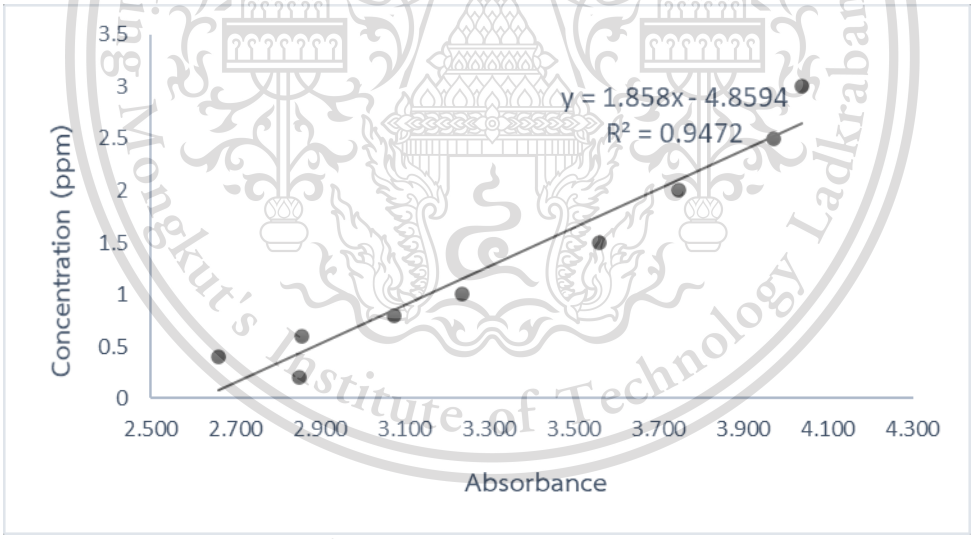
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4 การวัดปริมาณของสารเคมีตกค้าง

การวัดปริมาณของสารเคมีตกค้างในผักตัวอย่าง ทำโดยใช้เครื่อง UV – Vis spectrophotometer จะนำของเหลวที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายของการตรวจสอบด้วยชุดตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักจีทีไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ใช้ความยาวคลื่น 450 mm เพื่อนำค่าที่ได้ไปแทนในสูตรจาก Calibration curve จะได้ปริมาณสารเคมีที่ผักกวางตุ้งนั้นมีอยู่ออกมา



รูปที่ 3.4 การวัดปริมาตรของสารเคมีตกค้าง โดยใช้เครื่อง UV – Vis spectrophotometer



รูปที่ 3.5 กราฟ Calibration curve

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสง(Absorbance)และความเข้มข้น(Concentration)

3.5 กระบวนการ Machine learning

กระบวนการ Machine learning จะพัฒนาผ่านภาษา Python ซึ่งค่าที่ได้จากการวัด Micro NIR spectrometer จะเป็นข้อมูลดิบหรือ Raw Spectra เราจะนำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้มาผ่านการจัดเตรียมข้อมูลก่อนนำไปทำแบบจำลองโมเดลในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะมีวิธี preprocessing ดังนี้ smoothing, SNV, Min-Max

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

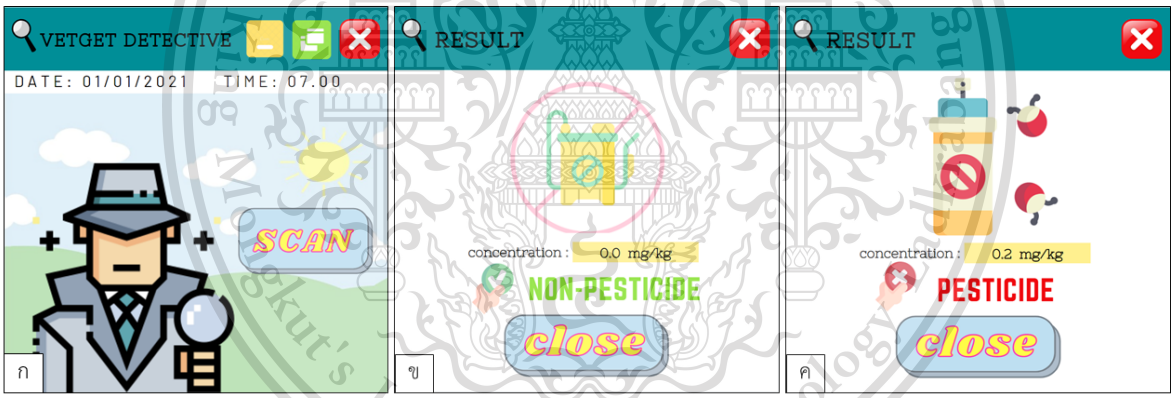
normalization, Meannormalization, Savitzkyd1, d2, MSC และ Detrending ซึ่งเราจะเลือกชุดข้อมูลที่มีค่าความแม่นยำสูงที่สุดไปพัฒนาแบบจำลอง

สำหรับการสร้างแบบจำลองในการจำแนกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่มีสารเคมีตกค้างและไม่มีสารเคมีตกค้าง หรือ Classification จะทำด้วยวิธี Artificial Neural Network (ANN), วิธีAdaptive Boosting , วิธีDecision Tree (DT), วิธีGradient Boosting, วิธีK-Nearest Neighbors (KNN), วิธีLogistic Regression, วิธีRandom Forest (RF) และวิธีSupport Vector Machine (SVM)

สำหรับการสร้างแบบจำลองในการทำนายปริมาณสารเคมีตกค้างสร้างโดย ปริมาณสารเคมีตกค้างหรือ Regression สร้างโดย วิธี Partial least squares regression (PLS), วิธี K-Nearest neighbors (K-NN), วิธี Artificial neural network (ANN) และวิธี Support vector machine (SVM)

3.6 พัฒนาหน้าจอ Graphical User Interface

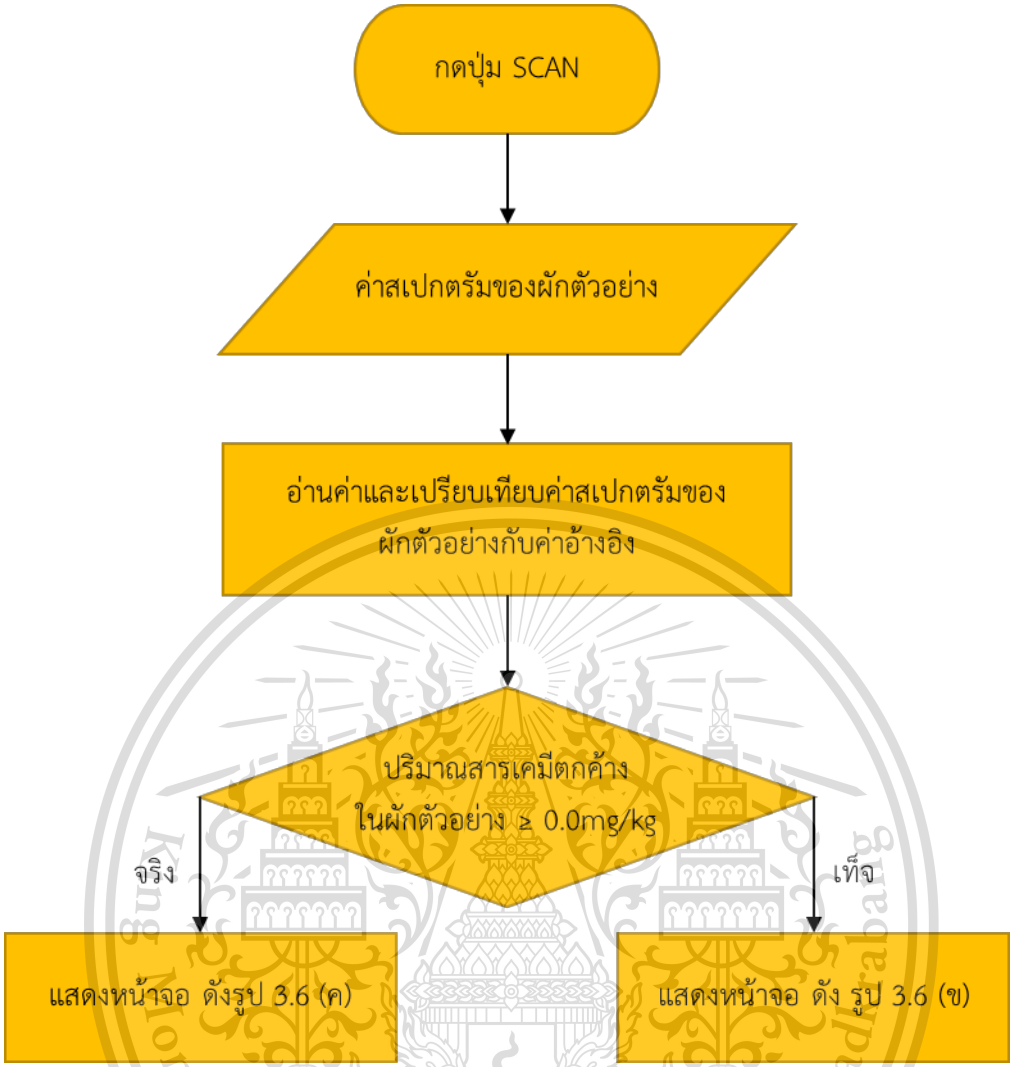
พัฒนาหน้าจอ Graphical User Interface ด้วยภาษา Python โดยใช้โปรแกรม Pycharm เลือกใช้โมดูล Tkinter พัฒนากราฟฟิกบน Python เป็นหลัก ร่วมกับโมดูล Datetime แสดงเวลา เริ่มแรกออกแบบหน้าต่างหลักของโปรแกรม (Main window) ประกอบไปด้วยรูปภาพ และปุ่มรับค่า ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 หน้าจอเริ่มต้นการทำงาน (ก), หน้าจอแสดงผลลัพธ์ NON-PESTICIDE (ข), หน้าจอแสดงผลลัพธ์ PESTICIDE (ค)

จากรูป เมื่อกดปุ่มแสกน โปรแกรมจะทำการประมวลผล และแสดงดังรูปที่ 3.6 (ข) หากพบว่าผักที่แสกนมีปริมาณสารเคมีตกค้างน้อยกว่า 0.0 มิลลิกรัมสาร/ผัก 1 กิโลกรัม และหากตัวอย่างผักที่ แสกนมีปริมาณสารเคมีตกค้างมากกว่า 0.0 มิลลิกรัมสาร/ผัก 1 กิโลกรัม หน้าจอจะแสดงผลดังรูปที่ 3.6 (ค) พร้อมทั้งระบุปริมาณสารเคมีที่ตรวจพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

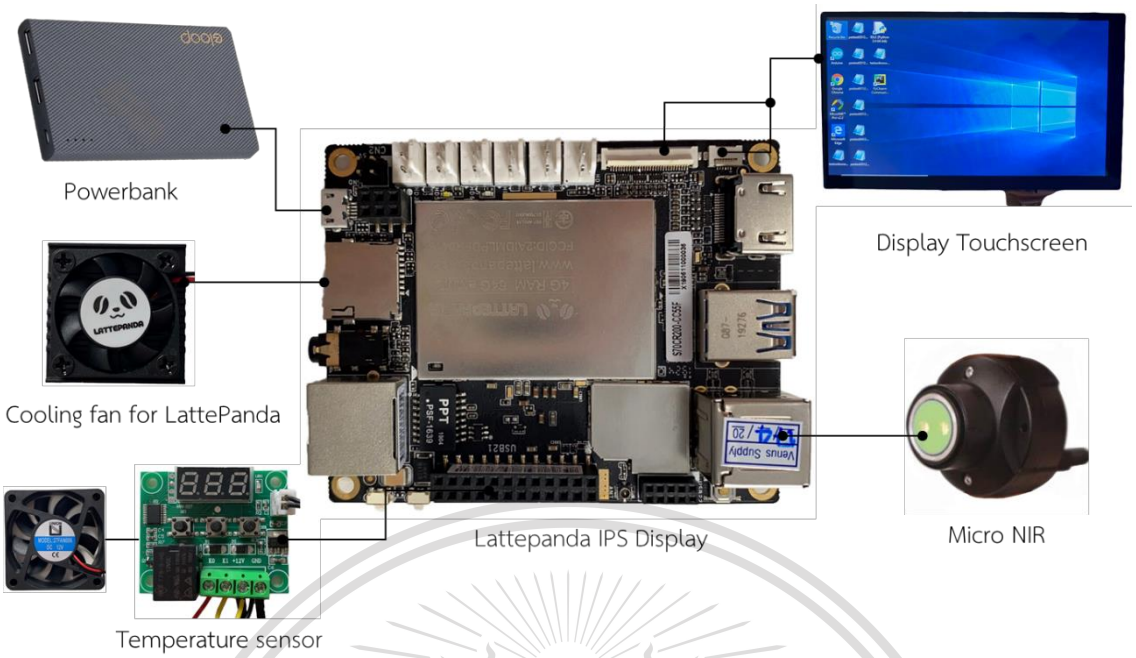


รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของหน้าจอ Graphical User Interface

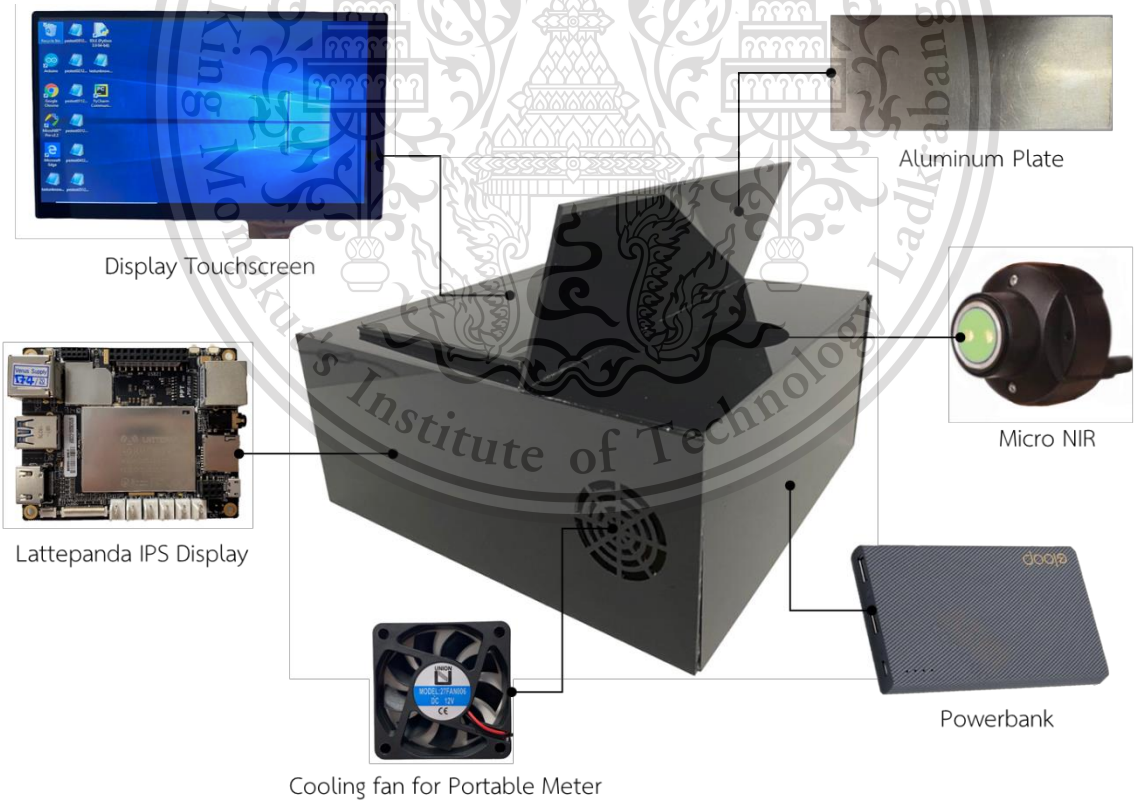
3.7 ส่วนประกอบตัวเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา

เครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพาถูกสร้างขึ้นมาจากแผ่นอะคริลิกสีดำโดยมีขนาด 7.5 x 8 นิ้ว ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9 ภายในตัวเครื่องจะประกอบไปด้วยบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก LattePanda ที่ถูกติดตั้งพัดลมเอาไว้ ซึ่งตัวบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กนี้จะเป็นตัวสั่งการการทำงานทุกอย่างของตัวเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างนักแบบพกพานี้ โดยจะมีแหล่งจ่ายพลังงานมาจากแบตเตอร์รี่สำรองและจะแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลขนาด 7 นิ้ว ที่มีความละเอียด 1024 x 600 สามารถใช้งานได้โดยการสัมผัสหน้าจอเพื่อควบคุมการทำงานต่าง ๆ เมื่อตัวกล้องมีอุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนดไว้คือ 34 ^{o}C เซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้จะมีการสั่งการให้พัดลมระบายความร้อนทำงานขึ้นเพื่อระบายความร้อนออกจากตัวกล้องป้องกันการเสื่อมสภาพของตัวกล้องและป้องกันการคลาดเคลื่อนของการสแกนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบภายในเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา

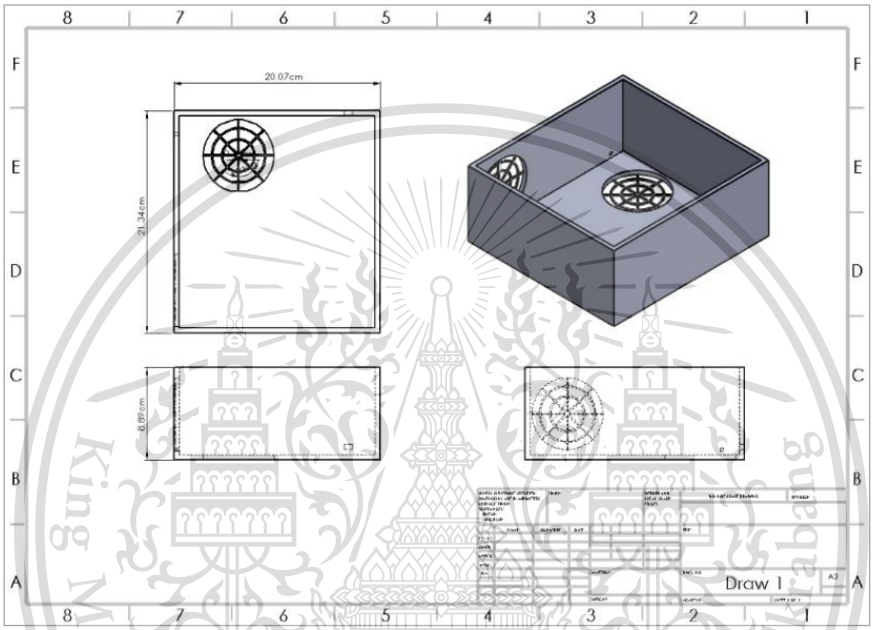


รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบภายนอกเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การสร้างตัวกล่อง

นำแผ่นอะคริลิคมาใช้เป็นวัสดุในการสร้างกล่อง โดยกล่องมีขนาด กว้าง 20.07 เซนติเมตร ยาว 21.34 เซนติเมตร สูง 8.89 เซนติเมตร และมีความหนา 0.20 เซนติเมตร ซึ่งด้านข้างของกล่องเป็นช่องสำหรับเสียบชาร์ต powerbank, ช่องสวิตซ์เปิด-ปิดบอร์ด Lattepanda, ช่องพัดลมระบายความร้อนของบอร์ด Lattepanda ขนาดรัศมี 1.50 เซนติเมตร และมีช่องพัดลมระบายความร้อนของเครื่องพกพาขนาดรัศมี 3.00 เซนติเมตร ซึ่งมีแบบฉายดังรูปที่ 3.10

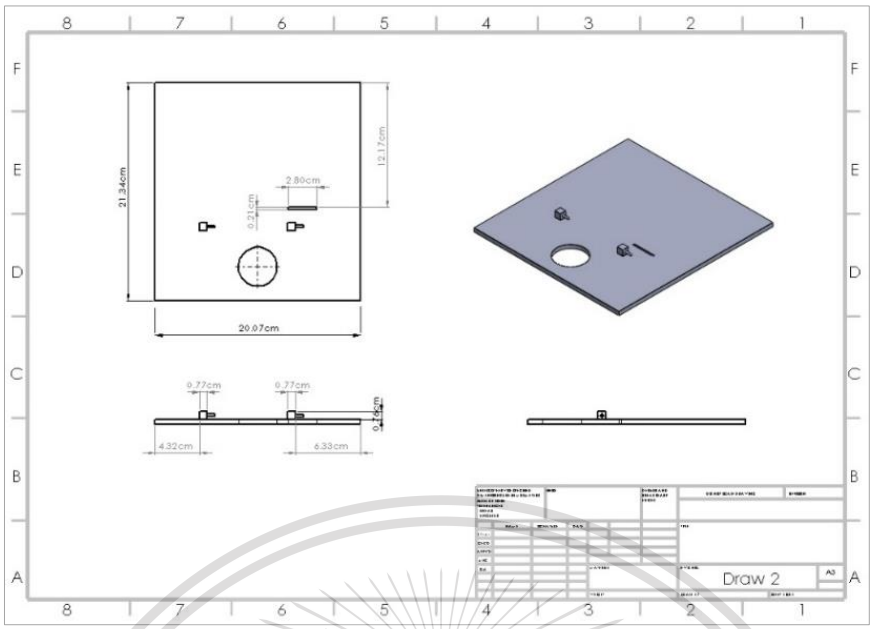


รูปที่ 3.10 แบบฉายตัวกล่อง

- การสร้างฝากล่อง

นำแผ่นอะคริลิคมาใช้เป็นวัสดุในการสร้างฝากล่อง โดยฝากล่องมีขนาด กว้าง 20.07 เซนติเมตร ยาว 21.34 เซนติเมตร และมีความหนา 0.20 เซนติเมตร มีช่องสำหรับกล้อง Micro NIR ขนาดรัศมี 1.90 เซนติเมตร และช่องสำหรับสายหน้าจอ Display ขนาดกว้าง 0.21 เซนติเมตร ยาว 2.80 เซนติเมตร ซึ่งมีแบบฉายดังรูปที่ 3.11

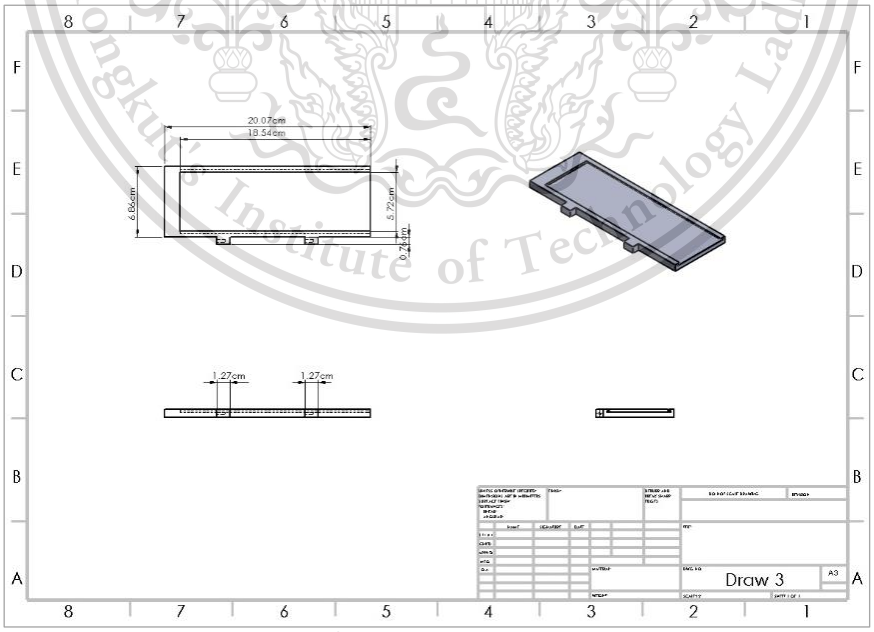
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11 แบบฉายฝากล่อง

- การสร้างฝาพับ

นำแผ่นอะคริลิคมาใช้เป็นวัสดุในการสร้างฝาพับ โดยฝาพับมีขนาดกว้าง 6.86 เซนติเมตร ยาว 20.07 เซนติเมตร และมีความหนา 0.20 เซนติเมตร ด้านล่างฝาพับเป็นร่องสำหรับเสียบแผ่นอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 5.72 เซนติเมตร และยาว 18.54 เซนติเมตร ซึ่งมีแบบฉายดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แบบฉายฝาพับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 ค่าทางสถิติของสารเคมีตกค้างในตัวอย่างผักกวางตุ้ง

ค่าทางสถิติข้อมูลของการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักกวางตุ้งฮ่องเต้ โดยการแบ่งชุดตรวจสอบออกเป็น Training set 60 ตัวอย่าง และ Testing set 40 ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำไปพัฒนาแบบจำลองของตัวเครื่องและนำไปตรวจสอบกับตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าเพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องอีกจำนวน 30 ตัวอย่างจึงได้ค่าสถิติของข้อมูลออกมาตามตารางที่ 4.1 โดยในกลุ่ม Training set เราทำการทดสอบที่ 60 ตัวอย่างได้ค่ามากที่สุด เท่ากับ 1.97 ppm ค่าน้อยสุด เท่ากับ 0 ppm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.73 ppm และมีค่า S.D. เท่ากับ 0.61 ส่วนในกลุ่ม Testing set เราทำการทดสอบที่ 40 ตัวอย่างได้ค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.73 ppm ค่าน้อยสุดเท่ากับ 0 ppm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 ppm และมีค่า S.D. เท่ากับ 0.65 และเมื่อทดสอบตัวอย่าง unknown ได้ค่ามากที่สุดเท่ากับ 1.95 ppm ค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.11 ppm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 ppm และมีค่า S.D. เท่ากับ 0.39 จะได้เห็นได้ว่ามีค่าอยู่ในช่วงของ Training set แสดงว่าสามารถใช้แบบจำลองนี้ในการตรวจสอบต่อไปได้

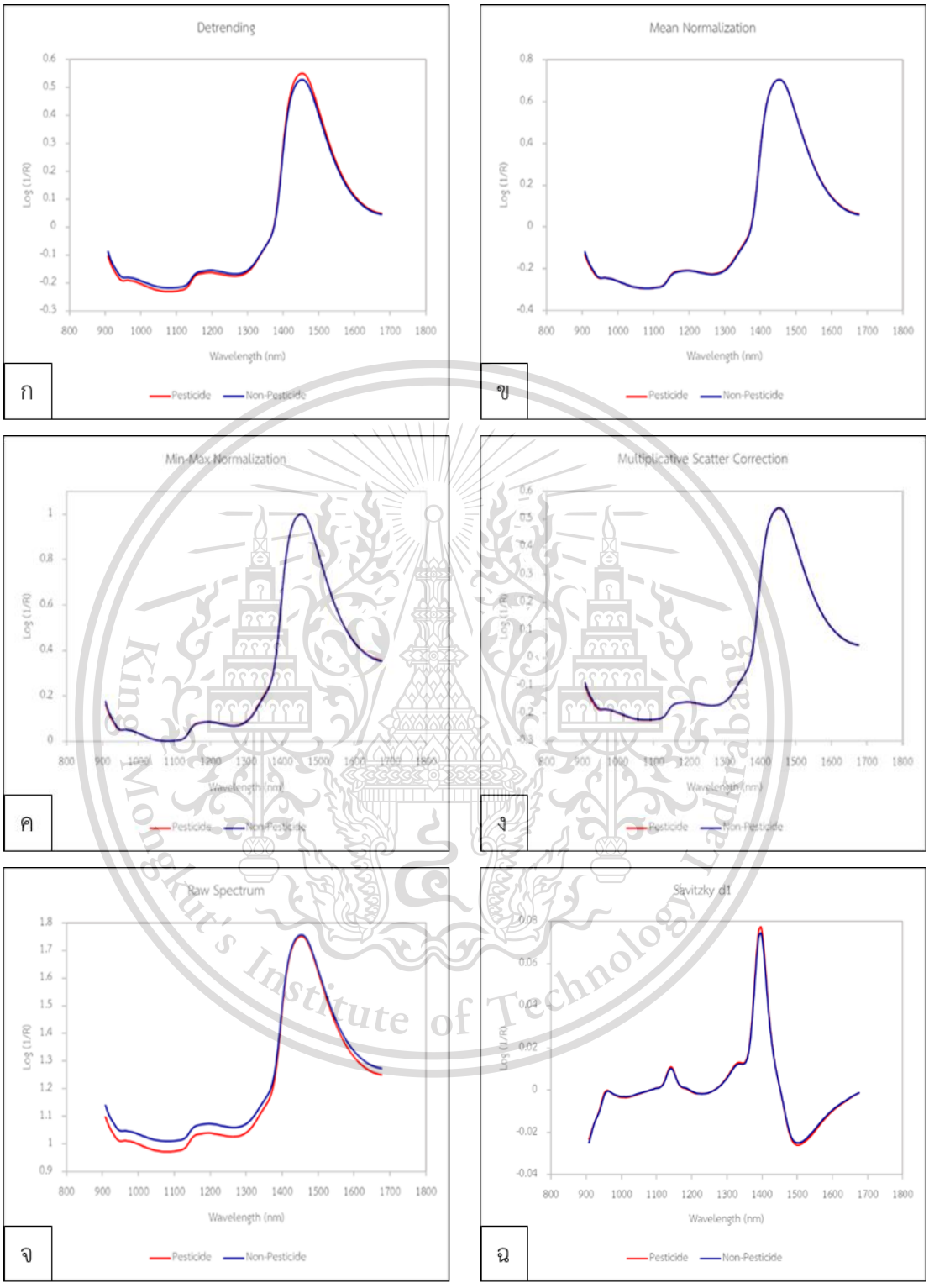
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าสถิติของข้อมูล

	จำนวนตัวอย่าง	Max (ppm)	Min (ppm)	Mean (ppm)	S.D.
Training set	60	1.97	0.0	0.73	0.61
Testing set	40	1.73	0.0	0.82	0.65
Unknown	30	1.95	0.11	0.86	0.39

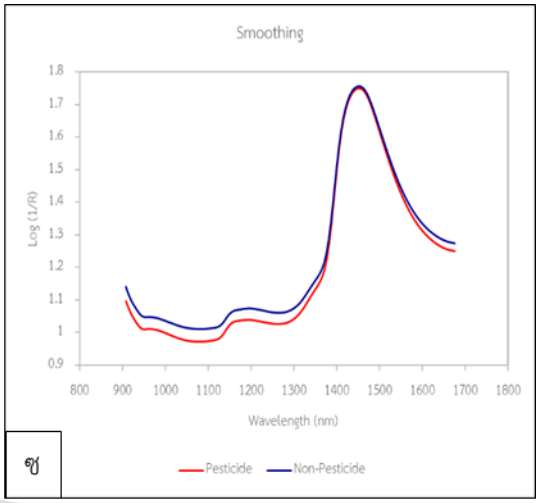
4.2 ค่าสเปกตรัม NIR

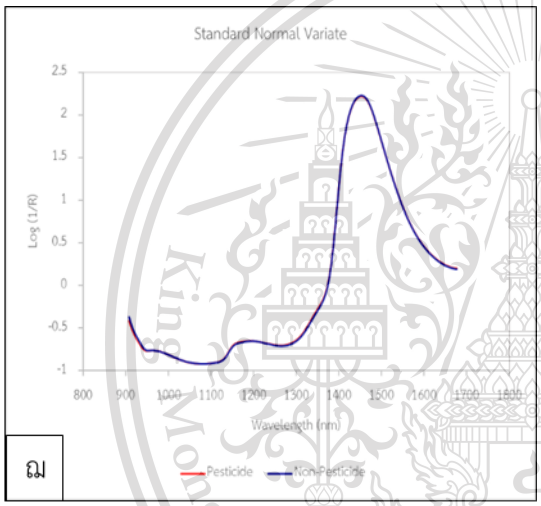
เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการ Preprocessing จะได้ชุดข้อมูลที่มีความแม่นยำมากที่สุด นั่นคือชุดข้อมูลที่ผ่านการทำ Min-Max Normalization เพื่อปรับแต่งสเปกตรัมแก้ไขปัญหาการเกิด baseline shift ในวิธี Preprocessing ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.





รูปที่ 4.1 สเปกตรัม NIR ของชุดข้อมูลหลังทำ Preprocessing Process ด้วยวิธีต่าง ๆ, วิธี Detrending (ก), วิธี Mean Normalization (ข) , วิธี Min-Max Normalization (ค), วิธี Multiplicative Scatter Correction (ง) , วิธี Raw Spectrum (จ), วิธี Savitzky d1 (ฉ) , วิธี Savitzky d2 (ช), วิธี Smoothing (ซ) , วิธี Standard Normal Variate (ฌ)

4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่อง

หลังจากได้แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ไม่มีและมีสารเคมีตกค้างแบบจำลองดังกล่าวถูกทดสอบสมรรถนะอีกครั้งกับตัวอย่างที่ไม่ทราบค่า (Unknow sample) จำนวน 30 ตัวอย่างทั้งจากตลาดและห้างสรรพสินค้า ด้วยวิธีการ Classification โดยใช้เทคนิค Support Vector Machine มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 0.90, ความแม่นยำเท่ากับ 0.45, ความถูกต้องในการทำนายแต่ละกลุ่มเท่ากับ 0.50 และค่า F1-score เท่ากับ 0.47 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 Best model from Classifications

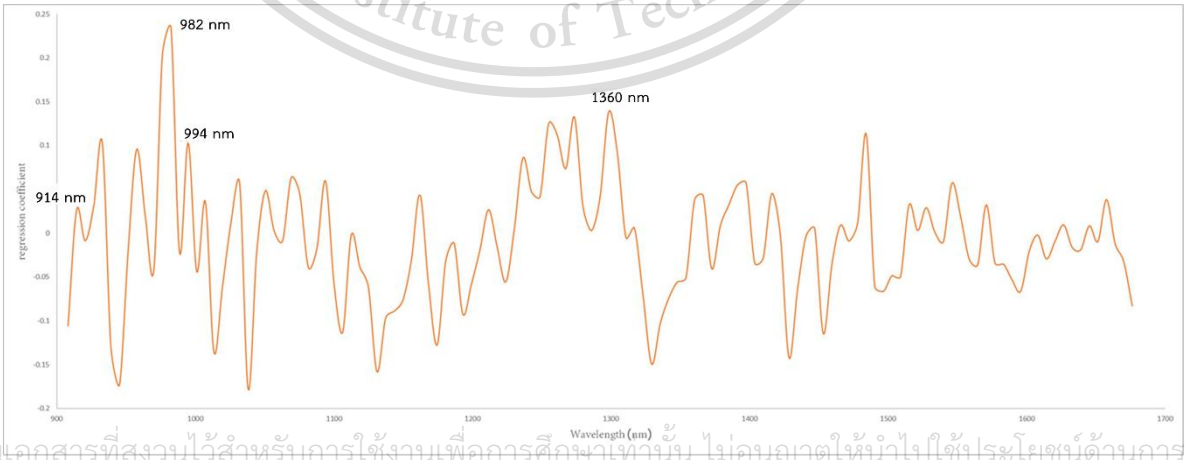
Model SVM	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
Training	1.00	1.00	1.00	1.00
Testing	0.97	1.00	0.90	0.95
Unknow	0.90	0.45	0.50	0.47

และแบบจำลองถูกทดสอบสมรรถนะกับตัวอย่างที่ไม่ทราบค่า (Unknow sample) จำนวน 30 ตัวอย่าง ด้วยวิธี Regressions โดยใช้เทคนิค Partial least squares regression (PLS) มีค่า The coefficient of determination (R^2) ของ training set และ testing set เท่ากับ 1.00, ค่า root mean square error of calibration เท่ากับ 0.00 และค่า root mean square errors of prediction (RMSEP) เท่ากับ 0.000007 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 Best model from Regressions

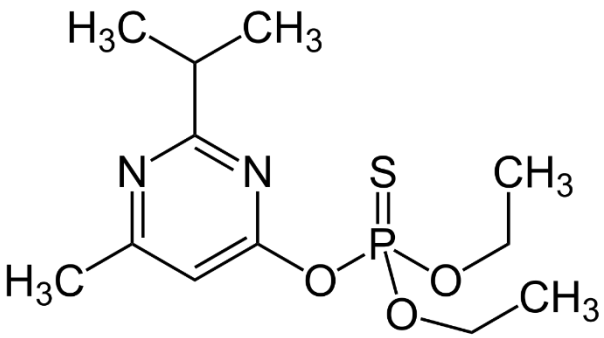
Model PLS	$R^2_{training}$	$R^2_{testing}$	RMSEC (mg/l)	RMSEP (mg/l)
Sample (PC=2)	0.99	0.93	0.07	0.13
Unknow (PC=2)	1.00	1.00	0.00	0.000007

กราฟแสดงผล Regression coefficient ของโมเดล PLS จากชุดข้อมูลผักกวางตุ้งมีสารเคมีตกค้าง มีจุดพีคอยู่ที่ 914, 982, 994 และ 1360 นาโนเมตร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพันธะภายในของสารเคมีคลอร์ไพริ-ฟอส ได้แก่ น้ำ (H_2O), แป้ง (starch), CH_2 และ CH_3 จึงสามารถสรุปได้ว่าเทคนิค Near Infrared Spectroscopy สามารถตรวจสอบผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ไม่มีและมีสารเคมีตกค้างได้



รูปที่ 4.2 Regression coefficient plot form PLS algorithm

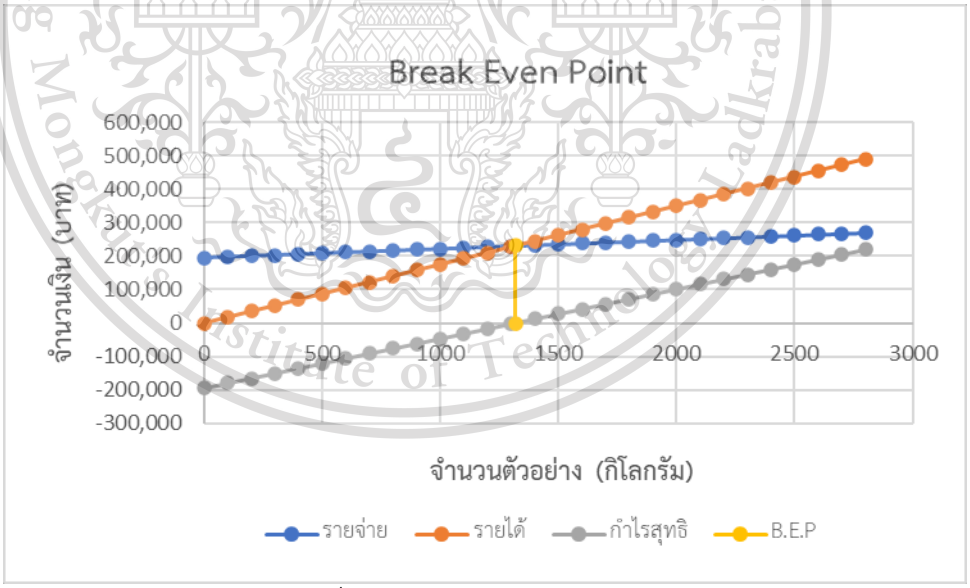
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 โครงสร้างเคมีของคลอไพริฟอส

4.4 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพามีต้นทุนในการสร้างเครื่อง เครื่องละ 180,000 บาท โดยมีต้นทุนคงที่เท่ากับ 195,109 บาทต่อปี ซึ่งเป็นผลรวมของค่าเสื่อมราคาเครื่อง (15,000 บาทต่อปี) และค่าไฟฟ้า (109 บาทต่อปี) โดยราคาผักกวางตุ้งฮ่องเต้ในซุปเปอร์มาเก็ตมีราคา 175 บาทต่อกิโลกรัม ใน 1 เดือนเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา ตรวจสอบได้ 10,000 ตัวอย่าง หรือ 333.33 กิโลกรัม ดังนั้นจากรูปที่ 4.4 จะคุ้มทุนเมื่อตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผัก 1114.91 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 11 เดือน



รูปที่ 4.4 Break Even Point Graph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพาที่ถูกพัฒนาด้วยเทคนิค Support vector machine (SVM) สำหรับแบบจำลองในการระบุปริมาณสารเคมีตกค้างถูกพัฒนาด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLS) การทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองใช้วิธี K-fold Cross validation ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองเชิงคุณภาพแสดงค่า accuracy เท่ากับ 1.00 แบบจำลองเชิงปริมาณแสดงค่า R^2_{train} เท่ากับ 0.99 และค่า R^2_{test} เท่ากับ 0.93 แบบจำลองที่ได้ถูกนำไปใช้ในการพัฒนา Graphical User Interface ซึ่งเป็นส่วนควบคุมเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพาขึ้นนี้มีความสามารถในการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักและจากการทดสอบการประยุกต์ใช้งานเครื่องทดสอบกับผักกวางตุ้งฮ่องเต้จากตลาดสดและซุปเปอร์มาเก็ต 30 ตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า เครื่องมีสมรรถนะในการตรวจสอบสูงโดยสามารถตรวจสอบผักที่มีสารเคมีตกค้างได้ถูกต้อง 90 เปอร์เซ็นต์ และบอกปริมาณของสารเคมีตกค้างได้ถูกต้องโดยมีค่า R^2_{unknow} เท่ากับ 1.00 จากข้อมูลข้างต้นพบว่ามีความเป็นไปได้สูงในการใช้เครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพาเป็นทางเลือกในการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักกวางตุ้งตามท้องตลาดได้แทนวิธีดั้งเดิม โดยจะไม่ทำลายตัวอย่าง คุ้มค่าต่อการลงทุน สามารถทราบผลได้รวดเร็วเพียงแค่ 4-5 นาที มีความแม่นยำสูง และพกพาได้สะดวก

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าจุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข เพื่อพัฒนาเครื่องมือให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้นคือการเพิ่มชนิดของผักตัวอย่างในการทดลองเพื่อให้ตัวเครื่องที่พัฒนาแล้วมีช่วงของสารเคมีตกค้างในการทดลองของผักหลายชนิดมากขึ้นและเพื่อเพิ่มความหลากหลายในการตรวจสอบของตัวเครื่องตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผักแบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

ระพีพรรณ ใจภักดี. (2544). ผักกวางตุ้ง และการปลูกผักกวางตุ้ง. สืบค้น 24 มีนาคม 2563, จาก https://puechkaset.com/ผักกวางตุ้ง/

Thaieasyelec. (2561). บทความแนะนำบอร์ดมินิคอมพิวเตอร์ทรงพลัง LattePanda. สืบค้น 24 มีนาคม 2563, จาก https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/

ศูนย์วิจัยเอสวีกรุ๊ป. (2562). โรคและแมลงในกวางตุ้ง. สืบค้น 31 มีนาคม 2563, จาก https://www.svgroup.co.th/blog/โรคและแมลงในกวางตุ้ง/

Kasetkawna. (2562). แมลงศัตรูพืชที่สำคัญของผักกวางตุ้งอินทรีย์. สืบค้น 31 มีนาคม 2563, จาก https://www.kasetkawna.com/article/384/แมลง-โรคพืช-ผักกวางตุ้ง

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด. (2562). เซ็นทรัลแล็บไทยตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชได้ครบทุกกลุ่ม. สืบค้น 31 มีนาคม 2563, จาก https://www.centrallabthai.com/index.php/th/news/pr-news/item/339-144701082562

กัลยวัจณ์ ธูปหอม และบุษย์ณิชนา ชนะพันธ์ภากร. (2556). ชุดน้ำยาตรวจสอบสารพิษตกค้าง/ ยาฆ่าแมลง “จีที”. สืบค้น 31 มีนาคม 2563, จาก https://www.gttestkit.com

ราเมศ กรณีย์ และพิมพ์ใจ ปรางค์สุรางค์. (2559). การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการล้างเพื่อขจัดสารเคมีกำจัดแมลงตกค้างในผักสด. วารสารอาหารและยา, 36.

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2561).

สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย. (2561). อะไรคือ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)?. สืบค้น 21 เมษายน 2563, จาก https://www.thaiprogrammer.org/Vithan. (2561).

Machine Learning คืออะไร?. สืบค้น 21 เมษายน 2563 , จาก https://blog.finnomena.com/machine-learning

บางกอกทูเดย์ทีม. (2562). วิธีการปลูกผักกวางคุ้งฮ่องเต้เชิงการค้า. สืบค้น 7 พฤษภาคม 2563, จากhttps://www.bangkoktoday.net/chinese-cabbage/

ปาริชาติ เทียนจุมพล. (2560) การประยุกต์เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการตรวจหาสารตกค้างในผลิตผลเกษตร. สืบค้น 21 เมษายน 2563, จาก http://www.phtnet.org/2017/10/579/

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2551). Near infrared / NIR. สืบค้น 21 เมษายน 2563, จาก ttp://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0912/near-infrared-nir

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล. (2558).โครงสร้างอะตอม ตอนที่ 4 แบบจำลองอะตอมของโบห์ร. สืบค้น 21 เมษายน 2563, จาก http://www.satriwit3.ac.th/external_newsblog.php?language=En&usid=&links=1241

Laurence R. Schimleck. (2550). NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY: A RAPID NON-DESTRUCTIVEMETHOD FOR MEASURING WOOD PROPERTIES, AND ITS APPLICATION TO TREE BREEDING. สืบค้น 21 เมษายน 2563, จาก https://pdfs.semanticscholar.org/44e1/582a3585e92d6530f9c202e01c1eac7d86cc.pdf

Thaipublica. (2562). “Thai-PAN” เปิดผลตรวจสารเคมีตกค้างในผัก. สืบค้น 4 เมษายน 2563, จาก https://thaipublica.org/2019/06/thai-pan-26-6-2562/

ชลธิชา สีเหนี่ยง. (2558). การประยุกต์เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการตรวจวัดการปนเปื้อนของราและอะฟลาทอกซินบี 1 ในข้าวกล้อง. สืบค้น 1 เมษายน 2563, จาก http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/50849

อรุณรัตน์ สัณฐิติกวินสกุล. (2558). อินฟาเรดสเปกโทรสโกปี. สืบค้น 21 เมษายน 2563, จาก http://pws.npru.ac.th/arunrat/data/files/ch3%20IR.pdf

สถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร. (2559). “จุลินทรีย์” สิ่งมีชีวิตทรงพลัง. สืบค้น 1 พฤษภาคม 2563, จาก https://www.nstda.or.th/agritec/78-featured-article/422-microbe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.