

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต
ในพริกสดโดยวิธี QuEChERS ร่วมกับ GC/MS

VALIDATION OF ANALYTICAL METHOD FOR ORGANOPHOSPHATE
RESIDUES USING QuEChERS COUPLED WITH GC/MS IN FRESH CHILI



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-AI-M-054-305

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต
ในพริกสดโดยวิธี QuEChERS ร่วมกับ GC/MS

VALIDATION OF ANALYTICAL METHOD FOR ORGANOPHOSPHATE
RESIDUES USING QuEChERS COUPLED WITH GC/MS IN FRESH CHILI



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-AI-M-054-305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**VALIDATION OF ANALYTICAL METHOD FOR ORGANOPHOSPHATE
RESIDUES USING QuEChERS COUPLED WITH GC/MS IN FRESH CHILI**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SAFETY MANAGEMENT
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2018

KMITL-2018-AI-M-054-305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตใน
พริกสดโดยวิธี QuEChERS ร่วมกับ GC/MS
VALIDATION OF ANALYTICAL METHOD FOR ORGANOPHOSPHATE
RESIDUES USING QuEChERS COUPLED WITH GC/MS IN FRESH CHILI

ชื่อนักศึกษา นางปภาดา ประจง
รหัสประจำตัว 57608045
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา การจัดการความปลอดภัยอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ระจิตร์ สุวพานิช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.ระจิตร์ สุวพานิช	ด.ม.ง
ดร.กิตติชัย บรรจง	พ.ก.ว
ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	อ.ก.ว
รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์	ช.ง

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 16 กรกฎาคม 2561 เวลา 09.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่...31...เดือน...กรกฎาคม...พ.ศ...2561...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารตกค้าง กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพริกสด โดยวิธี QuEChERS ร่วมกับ GC/MS
นักศึกษา	นางปภาดา ประจง
รหัสประจำตัว	57608045
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	การจัดการความปลอดภัยอาหาร
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. ระจิตร สุวพานิช

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ คลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos) โพรไทโอฟอส (Prothiofos) โพรฟีโนฟอส (Profenofos) และอีไทออน (Ethion) ในพริกสด โดยวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยชุดสกัด QuEChERS วิเคราะห์ชนิดและปริมาณการตกค้างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC/MS) และทดสอบตัวอย่างพริก 6 ชนิด ได้แก่ พริกชี้ฟ้าเขียว พริกชี้ฟ้าแดง พริกจินดาเขียว พริกจินดาแดง พริกหนุ่ม และพริกชี้หนุสวน จากโรงงานผลิตอาหาร 1 แห่ง ร้านค้าปลีก (Modern trade) 4 แห่ง และตลาดสด 3 แห่ง ในเขตลาดกระบัง หนองจอก และเขตมีนบุรี โดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีแล้ว จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธี มีค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) เท่ากับ 0.006 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ช่วงการวิเคราะห์ และค่าความเป็นเส้นตรง (Working range and linearity) อยู่ในช่วง 0.02 - 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่า Correlation coefficient (R^2) ของคลอร์ไพริฟอส, โพรไทโอฟอส, โพรฟีโนฟอส และอีไทออน มีค่าเท่ากับ 0.9959, 0.9952, 0.9981 และ 0.9971 ตามลำดับ โดยมีความแม่นยำ (Accuracy) แสดงด้วยค่าร้อยละของการกลับคืน (%Recovery) มีค่า 97-110 และความเที่ยง (Precision) แสดงด้วยค่า HORRAT มีค่า 0.11- 0.20 ซึ่งอยู่ในช่วงการยอมรับ

การวิเคราะห์ตัวอย่างพริกแบ่งเป็น 2 ช่วงดังนี้ ช่วงที่ 1 ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 เฉพาะพริกชี้ฟ้าเขียวและพริกชี้ฟ้าแดงจากร้านค้าปลีก 4 แห่ง ในเขตหนองจอก และวัดฤดูคิบในการผลิตสินค้าของโรงงาน 1 แห่ง รวม 72 ตัวอย่าง พบการตกค้างของสารทั้ง 4 ชนิด

ในพริกชี้ฟ้าแดงมากกว่าพริกชี้ฟ้าเขียว และพบการตกค้างของคลอร์ไพริฟอสมากที่สุด รองลงมาคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรพีโนฟอส ช่วงที่ 2 ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว พริกชี้ฟ้าแดง, พริกจินดาเขียว, พริกจินดาแดง, พริกหนุ่ม และพริกชี้ฟ้าหนูสวน จากร้านค้าปลีก 4 แห่ง และตลาดสด 3 แห่ง จำนวนรวม 168 ตัวอย่าง พบการตกค้างของสารทั้ง 4 ชนิด สูงที่สุดในพริกจินดาแดง รองลงมาคือพริกชี้ฟ้าแดง พบการตกค้างของสารโพรพีโนฟอสมากที่สุด รองลงมาคือสารคลอร์ไพริฟอส และพบการตกค้างสูงสุดจากตลาด C รองลงมาคือตลาด B, จากผลการวิเคราะห์รายงานได้ว่าพริกสดทั้ง 6 ชนิดที่จำหน่ายภายใน 3 เขตพื้นที่ดังกล่าว พบสารตกค้างทั้ง 4 ชนิด แต่ค่าการตรวจพบไม่เกินมาตรฐานสารตกค้างสูงสุดตามที่กฎหมายกำหนดไว้ และผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ยืนยันได้ว่า วิธีการสกัดด้วยชุด QuEChERS และวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง GC/MS มีประสิทธิภาพเหมาะสม สามารถนำมาใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 4 ชนิดในพริกชี้ฟ้า และพริกสดชนิดอื่นๆ ในงานประจำได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Validation of Analytical Method for Organophosphate Residues using QuEChERS coupled with GC/MS in fresh chili.
Student	Mrs. Paphada Prajong
Student ID.	57608045
Degree	Master of Science
Program	Food Safety Management
Year	2018
Thesis Advisor	Dr. Rachit Suwapanich

ABSTRACT

The validation of method for analyzing pesticide organophosphate group in 4 types. There are Chlorpyrifos, Prothiofos, Profenofos and Ethion in fresh chili. The sample were extracted and purified by using QuEchERS technique. Then type of pesticide and quantity were analysed pesticide residue by gas chromatography/ mass spectrometer (GC/MS). We sampled 6 types of chili. There were green chili, red chili, green Jinda chili, red Jinda chili, Num chili and Birds eye chili from a food factory 4 modern trades and 3 fresh markets in Lat Krabang, Nong Chok and Min Buri. The sample were analysed by the method which had passed the validation to analyse. The result showed that the limit of detection (LOD) was 0.006 mg/kg, the limit of quantitation (LOQ) was 0.02 mg/kg, the linearity and working range was 0.02-1.0 mg/kg, Correlation Coefficient (R^2) of Chlorpyrifos, Prothiofos, Profenofos and Ethion was 0.9959, 0.9952, 0.9981 and 0.9971 respectively, the accuracy from % recovery was 97-110 and the precision from HORRAT was 0.11-0.20 within acceptable level.

The fresh chili sample were collected in 2 periods. The first period from May to August 2017, we collected the sample only green and red chili from the main retailers in 4 areas of Nong Chok district and the raw material that prepare for the production from A factory total 72 samples. The result show that red chili and green chili was the most found Chlopyrifos and the second found Profenofos. The second period from July to August 2017 we collected the sample green chili, red chili, green Jinda chili, red Jinda chili, Birds eye chili and Num chili from 4 retailers and 3 fresh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด||ข้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

market the total was 168 samples. After analysis the result found organophosphates pesticides in red Jinda chili and second was red chili. The most pesticide residue was Profenofos, the second was Chlorpyrifos. The most pesticide residue found at C market and the second residue found at B market. From the analysis evaluation, the result showed that chili on 6 types in 3 areas found pesticide residue of organophosphates pesticides (chlorpyrifos, prothiofos, profenofos, and ethion). However the quantity that we found residue on chili was lower than MRLs. From the validation method for accuracy of analysis could confirm that the extracted and purified by using QuEchERS technique and analysed by gas chromatography/ mass spectrometer (GC/MS) had efficiency to analyse pesticide residue of 4 types Organophosphate in chili and other fresh chilies in our work.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และด้วยอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ระจิตร สุวาณิช ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ให้ความรู้ และประสบการณ์ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีมากแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบุลย์ ที่ให้เกียรติมาเป็นประธานในการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ ท่าน ดร.กิตติชัย บรรจง คณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และ ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม ที่กรุณาสละเวลามาช่วยตรวจสอบ และให้แนวคิดในการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เรียบเรียงได้อย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้าทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการเคมี บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) (มีนบุรี) 1 ท่าน ดร.สมหมาย เตชะศิริคุณ ที่ปรึกษาอาวุโส สพญ. นฤมล วงศ์บุญญกรณ์ อดีตผู้บังคับบัญชา นางสาวพินดา พลายงาม ผู้บังคับบัญชา ที่ให้ความกรุณาอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ สำหรับการทดสอบ ตลอดจนสนับสนุนด้านเวลาในการศึกษาและทำการวิจัยในครั้งนี้อย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา คุณตา คุณยาย สมาชิกครอบครัว พี่น้องที่รู้จัก พี่เจ้าหน้าที่ และพี่น้องห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุน สิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง ทำให้ได้มาซึ่งงานวิจัยที่มีประโยชน์และมีคุณค่า

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ฟริก.....	5
2.2 พันธุ์ฟริกที่นิยมปลูกในประเทศไทย.....	5
2.3 คุณค่าทางอาหารของฟริก.....	7
2.4 แมลงและศัตรูพืชที่สำคัญ.....	7
2.5 ประเภทของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช.....	9
2.6 สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้มี 4 ชนิด.....	16
คือคลอร์ไพริฟอส โพรพิโนฟอส โพรไทโอฟอส และอีไทออน	
2.7 การจัดแบ่งกลุ่มความรุนแรงของการเกิดพิษ ของสารป้องกัน และกำจัดศัตรูพืช.....	19
2.8 การควบคุมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและผลทางการเกษตร.....	19
2.9 การตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช.....	21
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.....	25
สารกำจัดศัตรูพืช กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักผลไม้	
2.11 การสกัดด้วยชุด QuEChERS.....	28
2.12 เครื่อง Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS).....	28
2.13 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.....	32
2.14 คุณลักษณะเฉพาะที่แสดงสมบัติของวิธีวิเคราะห์.....	33
(Method Performance Characteristics)	
2.15 การชี้บ่งความเฉพาะเจาะจงของสารที่ต้องการวัด.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.16 ปริมาณตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ.....	39
2.17 การเก็บรักษาสภาพตัวอย่าง.....	39
2.18 การประเมินความไม่แน่นอนของวิธีวิเคราะห์.....	39
(Uncertainty in Analytical Measurement)	
2.19 แหล่งของความไม่แน่นอน.....	39
2.20 แนวทางการประเมินค่าความไม่แน่นอน.....	40
บทที่ 3 เครื่องมืออุปกรณ์ และวิธีดำเนินการทดลอง.....	44
3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	44
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์หลักสำหรับการวิเคราะห์.....	44
3.3 สารเคมีและรีเอเจนท์.....	45
3.4 วิธีการวิเคราะห์.....	45
3.4.1 กำหนดสถานะเครื่อง GC/MS.....	45
3.4.2 รายการประเมินการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.....	45
สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด	
3.4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Intermediate standard solution mixed.....	47
3.4.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Standard solution mixed.....	47
3.4.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Spiked standard solution mixed.....	48
3.4.6 ความจำเพาะของวิธีทดสอบ (Specificity)	48
3.4.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างพริก.....	49
3.5 ทดสอบตัวอย่างพริกจากสถานที่ต่างๆ.....	55
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	58
4.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืช.....	58
กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพริกชี้ฟ้าโดยวิธี QuEChERS ร่วมกับ GC/MS	
4.2 ผลวิเคราะห์ Method blank และ Matrix blank.....	58
4.3 ผลการตรวจสอบความจำเพาะของวิธีวิเคราะห์	59
4.4 ผลการสร้างกราฟมาตรฐาน Matrix-Matched Calibration Curve)	60
ความเป็นเส้นตรงและช่วงการวิเคราะห์ (Linearity and Working range)	
4.5 ผลการหาขีดจำกัดการตรวจพบ (LOD)	61
และการหาขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 ผลการทบทวนค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ.....	63
4.7 ผลการยืนยันค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ.....	64
4.8 ผลการทดสอบ Trueness	65
4.9 ผลการประเมินความคงทนของวิธีวิเคราะห์ (Robustness/Ruggedness)	66
4.10 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอน.....	66
4.11 ผลทดสอบสารตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในพริกชนิดต่างๆ.....	69
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	80
บรรณานุกรม.....	82
ภาคผนวก ก.....	92
ภาคผนวก ข.....	93
ภาคผนวก ค.....	94
ภาคผนวก ง.....	96
ภาคผนวก จ.....	98
ภาคผนวก ฉ.....	100
ภาคผนวก ช.....	108
ประวัติผู้เขียน.....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VIII ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณค่าทางอาหารของพริกต่างๆ จากส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม.....7
2.2	แมลงและศัตรูพืชที่สำคัญ.....8
2.3	การจำแนกระดับความรุนแรงในการเกิดพิษจากการศึกษาในมนุษย์.....10 ของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน
2.4	ค่า LD ₅₀ ของสารพิษกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสัตว์ทดลอง.....11
2.5	ค่า LD ₅₀ ของสารพิษไพรีทรอยด์กลุ่มที่ 1 และไพรีทรอยด์กลุ่มที่ 2.....12
2.6	ชนิด และประเภทของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต จำแนกตามระดับความรุนแรง.....15 ในการเกิดพิษจากการศึกษาในมนุษย์
2.7	การจัดแบ่งกลุ่มความรุนแรงของการเกิดพิษของสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช.....19
2.8	วิธีการวิเคราะห์สารพิษตกค้าง โดยทั่วไปที่เป็นมาตรฐานตามข้อเสนอแนะของโคเด็กซ์.....22
2.9	Method for determination of Pesticides.....23
2.10	การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารตกค้างในผักผลไม้.....27
2.11	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.....33
2.12	เกณฑ์กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืนในระดับความเข้มข้นต่างๆ.....34
2.13	เกณฑ์กำหนด Repeatability (RSD _r) และ Reproducibility (RSD _R) ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....35
2.14	การยืนยันไอออนของชนิดสารที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยแมสสเปกโตรเมตรี.....38 ชนิดต่างๆ
2.15	ตัวหาร (divisor, d) ที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ.....41
2.16	Student's t for 95% confidence (2- tailed).....43
3.1	รายการประเมินการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.....46 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด
3.2	การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Intermediate standard solution mixed.....47
3.3	การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Standard solution mixed.....47
3.4	การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Spiked standard solution mixed.....48
3.5	การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.....50
3.6	ตัวอย่างพริกช่วงที่ 1 ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2560.....56
3.7	ตัวอย่างพริกช่วงที่ 2 ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนสิงหาคมพ.ศ.2560.....57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางแสดง Retention time (RT), Quantifide ion, Confirm ion, และ % Recover.....	60
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์, R^2	62
4.3 การรายงานค่าขีดจำกัดการตรวจพบ (LOD)..... และการหาค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ)	61
4.4 ผลการทบทวนค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD).....	64
4.5 Fortification level Limit of quantitation (LOQ).....	65
4.6 ผลการประเมินความคงทนของวิธีการวิเคราะห์.....	66
4.7 ค่าความไม่แน่นอน.....	66
4.8 ผลการทดสอบพริกชี้ฟ้าเขียวและพริกชี้ฟ้าแดง.....	70
4.9 ผลการทดสอบตัวอย่างพริก 4 ชนิดที่เก็บจากตลาดสด 3 แห่ง.....	73
4.10 ผลการทดสอบตัวอย่างพริก 4 ชนิดที่เก็บจากร้านค้าปลีก 4 แห่ง.....	75
4.11 ผลการตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 4 ชนิด ทั้ง 7 แห่ง.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน.....	10
2.2 โครงสร้างทั่วไปทางเคมีของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส (I)..... และสารกลุ่มคาร์บาเมท (II)	13
2.3 กลไกการออกฤทธิ์ และผลของสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และคาร์บาเมท.....	13
2.4 ปฏิกริยาการจับของอะเซทิลโคลีน (I), คาร์บาเมท (II), ออร์กาโนฟอสเฟต (III).....	14
2.5 โครงสร้างคลอรัไฟรีฟอส.....	16
2.6 โครงสร้างโทรไทโอฟอส.....	17
2.7 โครงสร้างโทรฟีนอเฟส.....	18
2.8 โครงสร้างอีไทออน.....	18
2.9 ขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี QuChERS	28
2.10 หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี / แมสสเปกโตรเมตรี.....	29
2.11 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	30
2.12 ส่วนของ Injector.....	30
2.13 รายละเอียดของ Oven ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุคอลัมน์.....	30
2.14 ส่วนของ Detector.....	31
2.15 ส่วนการทำงานของแมสสเปกโตรเมตรี.....	32
2.16 ขั้นตอนของการประเมินค่าความไม่แน่นอน.....	40
3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างพริก.....	49
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืชออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด.....	53
3.3 แหล่งความไม่แน่นอนของการวัด (Identifying uncertainty sources).....	54
4.1 โครมาโทแกรมของตัวอย่างพริกที่ไม่เติมสารละลาย.....	58
มาตรฐานผสม (Matrix blank)	
4.2 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 4 ชนิดที่ความเข้มข้น 0.5	60
มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	
4.3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 4 ชนิดที่เติมในตัวอย่างพริก.....	60
ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD).....	62
และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ของคลอรัไฟรีฟอส	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD).....62 และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ของโพรโทโอฟอส	
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD).....63 และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ของโพรฟิโนฟอส	
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD).....63 และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ของอีโทอน	
4.8 กราฟแท่ง (Histogram) แสดงค่าความไม่แน่นอนของวิธีวิเคราะห์.....68	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง **XII** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ภาคการเกษตรของประเทศไทยมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกันอย่างยาวนานและปริมาณมาก พิจารณาได้จากรายงานมูลค่าการนำเข้าวัตถุดิบอันตรายทางการเกษตร ปี พ.ศ. 2554 - 2560 โดยมีมูลค่าการนำเข้ารวม 22,070, 19,378, 24,416, 22,812, 19,326, 20,618 และ 27,922 ล้านบาท ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561) (ภาคผนวก ก) จากสถิติการเจ็บป่วยด้วยโรคจากสารเคมีพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากปี พ. ศ. 2553 – 2559 จำนวนผู้ป่วยจาก 1,851 คน ต่อประชากร 100,000 คน เพิ่มขึ้นเป็น 8,689 คนต่อประชากร 100,000 คน หรือจากอัตราป่วย 2.91 เพิ่มขึ้นเป็น 14.47 (กระทรวงสาธารณสุข. 2557-2559) (ภาคผนวก ข) และจากรายงานผลการเฝ้าระวังสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ประจำปี 2559 ตรวจพบสารพิษตกค้างในตัวอย่างผักผลไม้ที่ยังคงพบเกินค่ามาตรฐานสินค้าเกษตรอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่า มีสารพิษตกค้างมากเป็นลำดับแรก คือ พริกแดง 17 ตัวอย่าง จากการสุ่มตรวจ 20 ตัวอย่าง รองลงมาคือ คะน้า ถั่วฝักยาว และกะเพรา กลุ่มสารตกค้างกำจัดแมลงที่ตรวจพบได้แก่ 3-ไฮดรอกซีคาร์โบฟูราน (3-hydroxycarbofuran), อะบาเมคติน (Abamectin), อะเซฟีเฟต (Acephate), อะเซตามิพริด (Acetamiprid), บุปโรเฟซีน (Buprofezin), คาร์บาริล (Carbaryl), คาร์โบฟูแรน (Carbofuran), คลอแรนทรานิลิโพรล (Chlorantraniliprole), คลอร์ฟีนาเพอร์ (Chlorfenapyr), คลอร์ฟลูอาซูรอน (Chlorfluazuron), คลอไพริฟอส (Chlorpyrifos), โคลโทอะนิดีน (Clothianidin), ไซเพอร์เมทริน (Cypermethrin), ไดอะซีนอน (Diazinon), ไดโคฟอส (Dicofos), ไดโครโทฟอส (Dicrotophos), ไดเมทโทเอท (Dimethoate), ไดโนทีฟูแรน (Dinotefuran), อีมาแม็คติน (Emamectin), เอ็นโดซัลฟาน ซัลเฟต (Endosulphan sulphate), อีไทออน (Ethion), ฟีนอกซีคาร์บ (Fenoxycarb), ฟิโพรนิล (Fipronil), ฟิโพรนิล ซัลโฟน (Fipronil sulphone), อิมิดาโคลพริด (Imidacloprid), อินโดซาคารบ (Indoxacarb), แลมบ์ดา ไซฮาโลทริน (Lambda Cyhalothrin), มาลาไทออน (Malathion), เมททามิโดฟอส (Methamidophos), เมโทมิล (Methomyl), เมทอกซีเฟนโนไซด์ (Methoxyfenozide), โมโนโครโทฟอส (Monocrotophos), โอเมทโทเอท (Omethoate), เพอร์เมทริน (Permethrin), โพรฟีโนฟอส (Profenofos), โพรไทโอฟอส (Prothiofos), เททตระไดฟอน (Tetradifon) และไทอะมีโทแซม (thiamethoxam) (ปรกชล อู๋ทรัพย์ . 2559) โดยเฉพาะสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ซึ่งเป็นสารพิษตกค้างที่มีอันตรายสูง และพบการตกค้างในผักผลไม้เป็นอันดับต้นๆมาโดยตลอด ส่วนหนึ่งของปัญหาการตกค้างของสารดังกล่าวนอกจากเกิดจากการใช้สารเคมีของเกษตรกรที่ไม่ปฏิบัติตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนด หรือเงื่อนไขในการใช้ให้ถูกต้อง ใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจนความจำเป็นแล้ว ก็คือประเด็นของการขาดการตรวจวิเคราะห์สารตกค้าง ก่อนนำมาจำหน่ายแก่ผู้บริโภค

ปัจจุบันการตรวจวิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืชกลุ่มต่างๆ ในผักผลไม้ มีด้วยกันหลากหลายวิธี แต่ละวิธีถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและรวดเร็ว แต่การตรวจวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ ผลการวิเคราะห์ที่เป็นที่ยอมรับยังคงจำกัดอยู่ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น โดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองวิธี ตามระบบมาตรฐานของ ISO/IEC 17025 ในปัจจุบันมีเพียง 27 ห้องปฏิบัติการ (สำนักมาตรฐานห้องปฏิบัติการ. 2561) เนื่องจากการรับรองมาตรฐานดังกล่าวส่วนสำคัญคือ วิธีต้องถูกตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีมีความถูกต้องแม่นยำเชื่อถือได้ ซึ่งวิธีการตรวจสอบดังกล่าว ต้องใช้ระยะเวลา พารามิเตอร์ที่ตรวจสอบต้องผ่านตามข้อกำหนด ต้องมีบุคลากรที่มีทักษะความสามารถในการวิเคราะห์ และต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีสมรรถนะสูง เป็นต้น จึงส่งผลให้การตรวจวิเคราะห์มีต้นทุนที่สูงตามไปด้วย เกษตรกรจึงอาจหลีกเลี่ยง หรือเพิกเฉยต่อการส่งผักผลไม้ไปตรวจวิเคราะห์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาให้สนใจในการศึกษาวิธีการวิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืช ที่สามารถลดขั้นตอน ลดระยะเวลา ลดการใช้สารเคมีอันตรายในการวิเคราะห์ และให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องเชื่อถือได้ เป็นที่ยอมรับในระดับสากล เพื่อเป็นการเพิ่มสถานที่สำหรับตรวจวิเคราะห์ในด้านนี้เพิ่มมากขึ้น โดยผักที่สนใจศึกษาคือพริก เพราะพริกเป็นส่วนประกอบสำคัญในอาหารไทยแทบทุกชนิด ที่ประชาชนส่วนใหญ่ภายในประเทศนิยมบริโภคและพริกยังเป็นผักที่ตรวจพบสารตกค้างเป็นอันดับต้นๆอย่างต่อเนื่อง ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร และอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ของประเทศไทย ได้กำหนดปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limits, MRLs) ของสารคลอร์ไพริฟอส, โพรโทไอฟอส, โพรพีโนฟอส และ อีไทออนในพริกไว้ที่ ≤ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารพิษตกค้าง สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด ได้แก่ คลอร์ไพริฟอส โพรไทโอฟอส โพรฟีโนฟอส และอีไทออน ในพริกสด ด้วยชุดสกัด QuEChERS วิเคราะห์ชนิดและปริมาณการตกค้างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี

1.2.2 เพื่อตรวจสอบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด ได้แก่ คลอร์ไพริฟอส โพรไทโอฟอส โพรฟีโนฟอส และอีไทออน ในพริกชี้ฟ้า พริกจินดา พริกหนุ่มและพริกชี้หนูสวน จากโรงงานผลิตอาหาร ร้านค้าปลีก และตลาดสด ที่จำหน่ายภายในพื้นที่เขตตลาดกระบ้ง เขตหนองจอก และเขตมีนบุรี ด้วยวิธีวิเคราะห์ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้ว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ :

ร้านค้าปลีกในเขตหนองจอกและมีนบุรี

ตลาดสดในเขตตลาดกระบ้ง หนองจอกและมีนบุรี

โรงงานผลิตอาหารในเขตมีนบุรี

1.3.2 ขอบเขตด้านวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ :

วิธีวิเคราะห์มาตรฐาน AOAC 2007.01 (2016)

พารามิเตอร์ในการตรวจสอบความถูกต้องตามวิธีมาตรฐาน Eurachem (2014)

1.3.3 ขอบเขตด้านตัวอย่าง :

พริกชี้ฟ้าเขียว พริกชี้ฟ้าแดง พริกจินดาเขียว พริกจินดาแดง พริกหนุ่ม และพริกชี้หนูสวน

ปริมาณแห้งละ 1 กิโลกรัม จำนวนทั้งหมด 240 ตัวอย่าง

1.3.4 ขอบเขตด้านระยะเวลา แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา :

ช่วงที่ 1 เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560

ช่วงที่ 2 เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560

1.3.5 ขอบเขตของตัวแปร :

ตัวแปรต้น การสกัดด้วยชุด QuEChERS และวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง Gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)

ตัวแปรตาม ความเฉพาะเจาะจง (Specification), ช่วงของการวิเคราะห์ (Working Range), ความเป็นเส้นตรง (Linearity), ความแม่นยำ (Accuracy) ความเที่ยงตรง (Precision)

ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) ค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) และการประเมินค่าความไม่แน่นอนของวิธีวิเคราะห์ (Uncertainty in Analytical Measurements) พร้อมทั้งยืนยันความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ โดยการประเมินผลการทดสอบความถูกต้อง (Trueness) จากวัสดุอ้างอิง รับรอง (Certified reference material, CRM) และการเข้าร่วมทดสอบความชำนาญระดับสากล (Proficiency Testing, PT)

ตัวแปรควบคุม ปริมาณฟริก, วิธีการวิเคราะห์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้วิธีมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด คือ คลอไพริฟอส โพรไทโอฟอส โพรฟีโนฟอส และอีไทออน ได้อย่างถูกต้องแม่นยำเป็นที่ยอมรับ และน่าเชื่อถือในระดับสากล

1.4.2 ทราบแนวโน้มปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 4 ชนิดในฟริกแต่ละชนิด ที่จำหน่ายในเขตพื้นที่ ลาดกระบัง หนองจอก และมีนบุรี

1.4.3 นำแนวทางวิธีมาตรฐานที่ได้ ไปขยายขอบข่ายในการตรวจวิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืช และผักผลไม้ชนิดอื่นๆเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พริก

พริกมีความสำคัญต่อวิถีคนไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องปรุงอาหารประจำบ้าน และครัวไทย มีคุณค่าสูงทั้งในมิติที่เป็นอาหาร และเป็นยา แม้ว่าพริกจะเป็นพืชที่มีความอ่อนแอไม่ทน โรคและแมลง แต่คนไทยก็ยังจำเป็นต้องผลิตเพื่อสนองความต้องการของทั้งตลาดครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรม และต่างประเทศ (วีระ ภาคอุทัย และเขาวรัตน์ ศรีวรานันท์. 2557) พริกมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด และหลายสี เช่น พริกชี้ฟ้าสีเหลือง สีส้ม และสีแดง มีสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ที่สำคัญ คือสารเบตาแคโรทีน (Beta-carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอที่บำรุงสายตา ลดอัตราการกลายพันธุ์ และทำลายเซลล์มะเร็ง มีวิตามินซีที่ช่วยขยายเส้นเลือดในลำไส้ และกระเพาะอาหาร นอกจากนี้พริกยังมีสารแอนติออกซิแดนท์ ที่เรียกว่าสารแคปไซซิน (Capsaicin) สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และฤทธิ์การทำลายของอนุมูลอิสระ ซึ่งทำให้ร่างกายเสื่อมสภาพ และเกิดโรคหลายชนิด เช่น โรคหัวใจ และโรคหลอดเลือด ช่วยลดการปวดศีรษะไมเกรน ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดี (Low-Density Lipoprotein, LDL) และเพิ่มปริมาณคอเลสเตอรอลชนิดดี (High-Density Lipoprotein, HDL) มีการสกัดเป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ผลิตภัณฑ์ Cayenne ที่ใช้มาเชื่อมแบคทีเรียในกระเพาะอาหาร นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมของยาทาภายนอกบรรเทาปวด และรักษาโรคผิวหนัง สำหรับประเทศไทยเชื่อกันว่าชาวโปรตุเกสเป็นผู้นำพริกเข้ามาในประเทศไทยเป็นเวลาหลายร้อยปีมาแล้ว และเป็นที่นิยมใช้ในการปรุงอาหารอย่างแพร่หลายมาโดยตลอด (สุชีลา เตชะวงค์เสถียร. 2549)

2.2 พันธุ์พริกที่นิยมปลูกในประเทศไทย

พันธุ์พริกที่นิยมปลูกในประเทศไทย สามารถจำแนกได้โดยอาศัยหลักเกณฑ์จากลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ระดับความเผ็ด และขนาดของผล

2.2.1 จำแนกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แยกได้ดังต่อไปนี้ โดยแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ *Capsicum baccatum* *C. pubescens* R. and P. ซึ่งแยกออกจากกันได้ชัดเจนโดยลักษณะทางพฤกษศาสตร์และอีกกลุ่มหนึ่งที่รวมๆกันอยู่ ปัจจุบันยอมรับให้แยกเป็นอีก 3 ชนิด (Species) ด้วยกัน ได้แก่ *C. annum* L., *C. frutescens* L. และ *C. chinense* Jacq. (Pickersgill. 1988)

2.2.1.1 *Capsicum annum* L. เป็นพริกที่นิยมปลูกมากที่สุด แหล่งดั้งเดิมอยู่ในประเทศ

อเมริกากลาง ได้แก่ เม็กซิโก ดินมีขนค่อนข้างมาก ดอกเรียวยาว กลีบดอกสีขาว หรือสีขาวนวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก่สีแดง หรือเหลือง หรือน้ำตาล มีทั้งรสชาติเผ็ด และไม่เผ็ด มีหลายชนิด ได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกชี้ฟ้าใหญ่ พริกจินดา พริกแฟนซี พริกกระเหรียง พริกขึ้นก พริกกันซี่ พริกหวาน พริกยักษ์ พริกหยวก พริกมัน พริกเดือยไก่ พริกนิ้วนาง พริกขาว และพริกขี้หนูคง

2.2.1.2 *Capsicum frutescens* L. แหล่งกำเนิดแถบทวีปอเมริกาใต้ นิยมปลูกในเขตร้อน และเขตอบอุ่น ต้นมีขนาดเล็กน้อย ดอกเรียวยาว กลีบดอกสีเหลืองอมเขียว หรือขาวอมเขียว ผลแก่สีแดง เหลือง หรือน้ำตาล มีรสชาติเผ็ดถึงเผ็ดจัด ได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกเกษตร และพริกขาว

2.2.1.3 *Capsicum chinense* Jacq. ลักษณะคล้ายคลึงกับ *Capsicum frutescens* L. นิยมปลูกตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้ และอินเดียตะวันตก มีก้านดอกสั้น หนา และโน้มลง ได้แก่ พริกขี้หนู พริกเล็บมือนาง พริกขี้หนูหอม พริกสวน และพริกใหญ่

2.2.2 จำแนกตามความเผ็ด

เป็นการจำแนกกลุ่มตามปริมาณสารแคปไซซิน (Capsaicin) ซึ่งมีอยู่ในรกพริก และเป็นสารที่ทำให้ความเผ็ดของพริก มีหน่วยเป็นสโควิลล์ (Scoville Heat Unit) พริกที่มีสารแคปไซซิน 1% ของน้ำหนักจะเทียบเป็นความเผ็ด 100% หรือมีความเผ็ด 175,000 สโควิลล์

2.2.2.1 กลุ่มที่เผ็ดมาก มีความเผ็ดระหว่าง 70,000 – 175,000 สโควิลล์ มีผลขนาดเล็ก มักใช้สกัดน้ำมันหอมระเหย เนื่องจากมีความเผ็ดสูง เป็นพริกที่ปลูกมากในประเทศเม็กซิโก อินเดีย ส่วนใหญ่เป็นพริกกลุ่ม *Capsicum frutescens* L. และ *Capsicum baccatum* L. เช่น พริกขี้หนูสวน พริกกระเหรียง และพริกหัวเรือ

2.2.2.2 กลุ่มที่เผ็ดปานกลาง มีความเผ็ดระหว่าง 35,000 – 70,000 สโควิลล์ ใช้ผสมเครื่องเทศชนิดอื่นปรุงอาหาร มักใช้แปรรูปเป็นพริกแห้ง และซอสพริก ส่วนใหญ่เป็นพริกในกลุ่ม *Capsicum annuum* L. เช่น พริกเหลือง

2.2.2.3 กลุ่มที่เผ็ดน้อยหรือไม่เผ็ด มีความเผ็ดต่ำกว่า 35,000 สโควิลล์ ผลมีขนาดใหญ่ นิยมใช้แต่งสี และปรุงอาหาร เช่น พริกหยวก พริกหวาน และพริกยักษ์

2.2.3 จำแนกตามขนาดผล

2.2.3.1 พริกใหญ่ ขนาดผลยาวกว่า 5 เซนติเมตร มี 2 กลุ่มย่อย คือ พริกใหญ่ขนาดใหญ่มีความยาวผลมากกว่า 10 เซนติเมตร ได้แก่ พริกหนุ่ม พริกสิงคโปร์ และพริกใหญ่ขนาดเล็ก มีความยาวผลตั้งแต่ 5 - 10 เซนติเมตร ได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกเหลือง พริกมัน พริกบางช้าง เป็นต้น

2.2.3.2 พริกขี้หนูหรือพริกเล็ก ผลยาวไม่เกิน 5 เซนติเมตร มี 2 กลุ่ม คือ พริกขี้หนูผลใหญ่มีขนาดผล 2 - 5 เซนติเมตร ได้แก่ พริกหัวเรือ พริกจินดา และพริกหัวเรือ พริกขี้หนูผลเล็กมีขนาดผลสั้นกว่า 2 เซนติเมตร ได้แก่ พริกขี้หนูสวน พริกขี้หนูหอม พริกกระเหรียง และพริกขึ้นก พริกขี้หนูเป็นพริกที่นิยมปลูกมากที่สุด

2.3 คุณค่าทางอาหารของพริก

พริกเป็นแหล่งที่ให้วิตามิน C วิตามิน A และวิตามินอื่นๆดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของพริกชนิดต่างๆ จากส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ส่วนประกอบ ต่อ 100 กรัม	พริกชี้ฟ้า		พริกชี้หนู		พริก หนุ่ม	พริก เหลือง	พริก หยวก	พริกหวาน, พริกยักษ์
	เขียว	แดง	จ.อุบล	เม็ดเล็ก				
พลังงาน	53	72	62	76	16	106	32	82
ความชื้น	85.2	84	85.8	81.9	95.9	76.6	91.7	80.3
โปรตีน	1.5	2.8	0.4	3.4	0.4	4.0	1.5	3.2
ไขมัน	0.5	2.3	1.2	1.4	0.2	3.6	0.2	1.6
คาร์โบไฮเดรต	10.6	10.1	12.3	12.4	3.2	14.3	6	13.8
เส้นใย (Crude)	2.2	3.5	4.5	5.2	1.3	5.9	1.2	6.9
เถ้า	2.2	0.8	0.3	0.9	0.3	1.5	0.6	1.1
แคลเซียม	-	3	6	4	3	10	11	35
ฟอสฟอรัส	27	18	64	14	21	6	47	88
เหล็ก	0.5	1.3	0.3	1.2	0.7	1.2	0.1	-
เรตินอล	-	-	-	-	-	-	-	-
เบต้าแคโรทีน	-	-	1266	-	-	-	-	-
วิตามินเอ	192	-	211	242	103	483	9	85
วิตามินอี	-	-	-	-	-	-	-	-
โทเคมีน	0.07	0.16	0.13	0.29	0.36	0.22	0.41	0.58
ไรโบฟลาวิน	0.01	0.24	0.15	0.11	0.01	0.09	0.08	0.08
ไนอาซีน	0.1	3.5	1.8	1.5	0.5	3	1.3	0.4
วิตามินซี	204	168	37	44	188	106	78	218

ที่มา : ดัดแปลงจาก กองโภชนาการ (2544)

2.4 แมลงและศัตรูพืชที่สำคัญ

เนื่องจากพริกเป็นพืชที่อ่อนแอต่อโรค แมลง และศัตรูพืชต่างๆมากมาย จึงเป็นสาเหตุให้เกษตรกรผู้ปลูกพริก มีการใช้สารเคมีในการกำจัดโรคพืช แมลง และศัตรูพืชกันอย่างแพร่หลาย แมลง และศัตรูพืชที่สำคัญแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แมลงและศัตรูพืชที่สำคัญ

แมลงและศัตรูพืช	ลักษณะอาการ	สารเคมีที่ใช้
1. เพลี้ยไฟพริก (Scirothrips dorsalis Hoods)	1.1 ใบอ่อน หรือยอดอ่อนหงิก และม้วนห่อขึ้นด้านบนทั้งสองข้าง 1.2 รอยค้ำสีน้ำตาล 1.3 ดอกร่วง ผลมีรูปทรงบิดงอ	1.1 คาร์บาริล, เมทิลโอคาร์บ, คาร์โบซัลแฟน, อิมิดาโคลพิด, โพรฟีโนฟอส, อีไทออน และ ฟิโปรนิล
2. เพลี้ยอ่อน (Aphids)	2.1 ต้นแคระแกร็น 2.2 ใบส่วนยอดจะเรียวเล็ก หงิก 2.3 เนื้อใบเป็นคลื่นและม้วนงอ	2.1 โดกุโซออน, โพรไทโอฟอส, มีวินฟอส, ฟิริมอร์, โพรฟีโนฟอส, อีไทออน และ ฟอสตริล
3. ไรขาวพริก (Mites)	3.1 ใบอ่อนที่ยอดจะหงิก เล็กเรียว แหลม ยอดค้ำเป็นฝอย ก้านใบ ขาวเปราะ ใบจะม้วนงอลงด้านล่าง 3.2 ใบอ่อน ดอกร่วง 3.3 ต้นแคระแกร็น	3.1 กำมะถันผง, ฟอสฟาโลน, อามีทราซ, ไคโคลฟอส, เคลเทน, อีไทออน, และ คลอโรเบนซิลเลท
4. หนอนเจาะสมอฝ้าย หรือหนอนอเมริกัน (American bollworm)	4.1 หนอนเจาะเข้าไปกินไส้ในฝัก พริก	4.1 เมทโทมิล, โมโนโครโตฟอส, แลนด้าไซฮาโลทริล, โพรฟีโนฟอส, คลอร์ไพริฟอส, เคลต้าเมทริน, และ ไบเฟนทริน
5. แมลงวันพริก (Bactrocera latifrons)	5.1 ตัวเต็มวัยวางไข่ โดยเจาะผ่าน ผิวพริก เมื่อฟักตัวจะกัดกินภายใน ผลพริก 5.2 ไส้พริกเป็นสีดำ ผลเน่า	5.1 ยีสต์, สารสกัดโปรตีน ไฮโดรไลสิส หรือ ยีสต์ออคโตไลเซท โดยผสมสาร ป้องกันกำจัดแมลงพ่น
6. หนอนผีเสื้อหรือ หนอนกระทู้ (Common cutworm)	6.1 หนอนกัดกินบริเวณขั้วผล แล้วเข้าไปอยู่ภายในผล 6.2 พริกเล็ก หรือพริกขี้นหนูจะทำ ให้ผลร่วง พริกผลใหญ่ทำให้พริก เน่า หรือแมลงวันไปวางไข่ต่อ	6.1 คาร์บาริล, คลอไพริฟอส และ ไดอะซินอน
7. หนอนแมลงวันทอง (Fruit fly)	7.1 ตัวเมียวางไข่ไว้ใต้เปลือกพริก เมื่อหนอนโตกัดกินไส้ผลพริก ผล เน่า	7.1 ไดอะซินอน และ เมทโทมิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

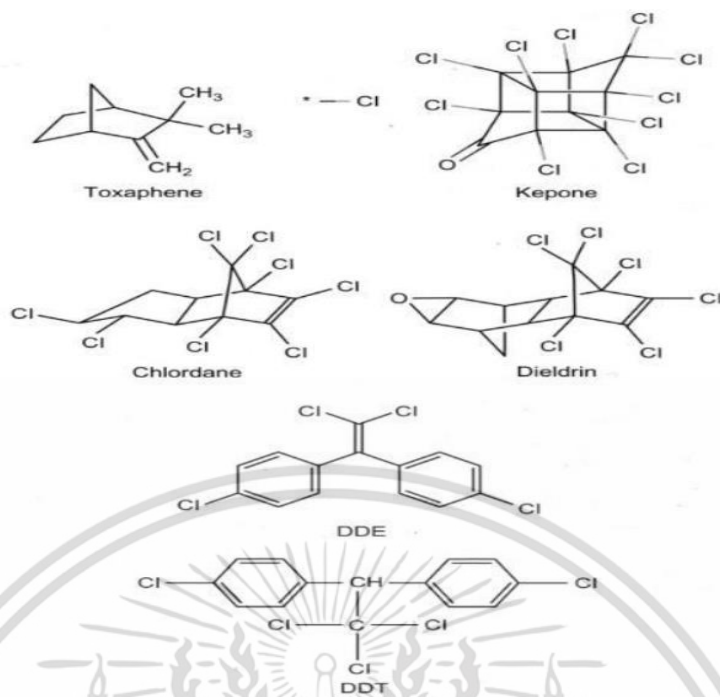
2.5 ประเภทของสารกำจัดศัตรูพืช

แบ่งตามสูตรโครงสร้างทางเคมี แบ่งได้ดังนี้ (ลักขณา อมรสิน. 2544)

2.5.1 สารประกอบอนินทรีย์ (inorganic compounds) สารกำจัดแมลงอนินทรีย์เป็นสารประกอบของแร่ธาตุที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ไม่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ สารประกอบอนินทรีย์เป็นสารที่คงทน สลายตัวยาก และไม่ระเหย สารกำจัดแมลงในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารประกอบของสารหนู (arsenic, As) ไซยาไนด์ (cyanid, -CN)ปรอท (mercury, Hg) ทองแดง (copper, Cu) กำมะถัน (Sulphur, S) และทลเลียม (thallium, TI) เป็นต้น สารกำจัดแมลงอนินทรีย์ เป็นสารพิษที่มีการสะสมในสิ่งมีชีวิต และตกค้างนาน มีพิษสูงต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ในปัจจุบันสารกำจัดแมลง ที่เป็นสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่มีการใช้อีกแล้ว

2.5.2 สารประกอบอินทรีย์ (organic compounds) สารกำจัดแมลงประเภทสารประกอบอินทรีย์ เป็นสารที่ได้จากการสังเคราะห์ มีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ คาร์บอน (carbon, C) และไฮโดรเจน (hydrogen, H) และอาจมีสารอื่นๆเป็นองค์ประกอบอีกหนึ่งชนิด หรือมากกว่าหนึ่งชนิด เช่น คลอรีน (chlorine, Cl) ออกซิเจน (oxygen, O) กำมะถัน (sulphur, S) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) และไนโตรเจน (nitrogen, N) เป็นองค์ประกอบร่วม สารกำจัดแมลงประเภทสารประกอบอินทรีย์ แบ่งเป็น 4 กลุ่มคือ

2.5.2.1 สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine group) มีธาตุไฮโดรเจน คาร์บอน และคลอรีนรวมอยู่ในสูตร (ภาพที่ 2.1) สารเคมีกลุ่มนี้สามารถละลายได้ดีในไขมัน จึงดูดซึมผ่านผิวหนังได้ดี ทำให้สะสมในร่างกายสิ่งมีชีวิต และมนุษย์ได้ยาวนาน เช่น สะสมในอวัยวะที่มีส่วนประกอบไขมันสูง ได้แก่ ตับ ไต ระบบประสาท มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ เมื่อถูกดูดซึมผ่านผิวหนัง แต่พิษเฉียบพลันของดีดีที จะทำให้ผู้ได้รับมีอาการชัก ตัวเขียวคล้ำ จากการขาดออกซิเจน ระบบหายใจอาจล้มเหลว และตายได้ พิษเรื้อรังจะมีผลต่อทางเดินอาหาร เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน น้ำหนักลด พิษเรื้อรังอาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ สลายตัวได้ยาก และสะสมในสิ่งแวดล้อมสูง เช่น ดีดีที และอนุพันธ์ของดีดีที ในปัจจุบันห้ามมีการใช้อย่างเด็ดขาด ตัวอย่างของสารเคมีในกลุ่มนี้ หากจำแนก ตามระดับความรุนแรงในการเกิดพิษแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน

ที่มา : Gupta (2012)

ตารางที่ 2.3 การจำแนกระดับความรุนแรงในการเกิดพิษจากการศึกษาในมนุษย์ของสารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน

กลุ่มที่มีความเป็นพิษรุนแรง	กลุ่มที่มีความเป็นพิษปานกลาง
อัลดริน (Aldrin)	คลอร์ดาน (Chlordane)
ดิลดริน (Dieldrin)	ดีดีที (DDT)
เอนโดซัลฟาน (Endosulfan)	เฮปตะคลอร์ (Heptachlor)
เอนดริน (Endrin)	คีโปน (Kepone)
	ลินเดน (Lindane)
	ไมเร็กซ์ (Mirex)
	ท็อกซาเฟน (Toxaphene)

ที่มา : ดัดแปลงจาก สารกำจัดศัตรูพืช, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่า LD₅₀ ของสารพิษกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในสัตว์ทดลอง

สารพิษ	LD ₅₀ ในหนู (มก./กก.)	LD ₅₀ ในกระต่าย (มก./กก.)
ลินเดน	76-190	500
อัลดริน	39-60	65
ดิลดริน	40	65
เอนดริน	3	12
คลอร์เดน	283-1100	580
เอน โดซัลฟาน	18-76	74
ไมเร็กซ์	235->3,000	800
คีโปน	95-125	345
ทีออกซาฟิน	40-127	600

ที่มา : ดัดแปลงจาก Gupta (2012)

2.5.2.2 สารกำจัดแมลงกลุ่มไพรีทริน (Pyrethrins) และกลุ่มไพรีทรอยด์ (Pyrethroid)

สารกำจัดแมลงในกลุ่มไพรีทริน เป็นสารที่สกัดจากพืชธรรมชาติ เมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย เป็นสารที่ไม่มีความเป็นพิษ ขณะที่สารกลุ่มไพรีทรอยด์ เป็นสารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติเหมือนสารกลุ่มไพรีทริน แต่มีความคงตัวมากกว่า แบ่งย่อยเป็น 2 ชนิด คือ ไพรีทรอยด์ กลุ่มที่ 1 (Type I pyrethroid) และไพรีทรอยด์ กลุ่มที่ 2 (Type II pyrethroid) สารทั้งสองกลุ่มมีกลไกการเกิดพิษที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของโซเดียมชาแนล (sodium channel) โดยรบกวนกระบวนการเปิดและปิด มีผลให้การเปิดและปิดของโซเดียมชาแนลเกิดขึ้นช้าลง ทำให้ระบบประสาทของเซลล์ถูกกระตุ้น (hyperexcitability) สารไพรีทรอยด์ทั้งสองกลุ่มมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยสารไพรีทรอยด์ กลุ่มที่ 2 จะมีไซยาไนด์ อยู่ในสูตรโครงสร้าง ทำให้สารกลุ่มที่ 2 นี้มีความเป็นพิษสูงกว่าสารกลุ่มที่ 1 (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 ค่า LD₅₀ ของสารพิษไพรีทรอยด์ กลุ่มที่ 1 และไพรีทรอยด์ กลุ่มที่ 2

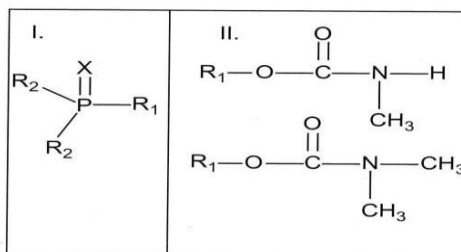
สารพิษ	LD ₅₀ ในกระต่าย (มก./กก)
กลุ่ม 1	
ไพรีทริน 1 (Pyrethrin I)	900
อัลเลทริน (Allethrin)	680
เตตระเมทริน (Tetramethrin)	4,640
เรสมเมทริน (Resmethrin)	100
เพอร์เมทริน (Permethrin)	2,000
กลุ่ม 2	
ไซเพอร์เมทริน (Cypermethrin)	500
เดลตาเมทริน (Deltamethrin)	31
เฟนวาลีเรท (Fenvalerate)	450
ฟลูวาลิเนต (Fluvalinate)	1,000

ที่มา : ดัดแปลงจาก Gupta (2012)

2.5.2.3 สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท (Organophosphate and carbamate)

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และกลุ่มคาร์บาเมทมีสูตรโครงสร้าง คุณสมบัติ กลไกการออกฤทธิ์ รวมถึงความเป็นพิษที่คล้ายคลึงกัน (ภาพที่ 2.2) สารในกลุ่มนี้จะออกฤทธิ์โดยการเป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) ของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส (cholinesterase) ทำให้เกิดการสะสมของอะเซทิล โคลีน (acetylcholine) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทที่มีหน้าที่ควบคุมการนำส่งกระแสประสาท (nerve impulse) ที่รอยต่อระหว่างเซลล์ บริเวณรอยต่อระหว่างปลายประสาทกับเซลล์กล้ามเนื้อลาย (neuromuscular junction) ทำให้เกิดการกระตุ้นที่ตัวรับมาสคารินิก (muscarinic) แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ ตัวรับชนิด M1 พบในระบบประสาทส่วนกลาง มีฤทธิ์ในการกระตุ้น และตัวรับ ชนิด M2 พบที่กล้ามเนื้อหัวใจ มีฤทธิ์ยับยั้ง ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย ควบคุมความเฉื่อยฉวยลด กระบวนการเรียนรู้ ความจำ และความตื่นตัว การรับรู้ ตัวรับนิโคตินิก (Nicotinic) พบที่ปมประสาทอัตโนมัติ รอยต่อเส้นประสาทกับกล้ามเนื้อ (Neuromuscular junction) ทำให้เกิดการตอบสนองแบบกระตุ้น การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสโดยสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) ขณะที่การยับยั้งโดยสารกลุ่มคาร์บาเมทจะเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ (reversible)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทั่วไปของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส(I) และสารกลุ่มคาร์บาเมท (II)

ที่มา : Gupta (2012)

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เป็นสารประกอบเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid esters) มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญ สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้ทุกตัว เป็นพิษต่อระบบประสาท ทั้งต่อแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

คุณสมบัติทางเคมี เป็นของเหลวสีเหลืองหรือสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นเหม็น สามารถระเหยได้เล็กน้อย และสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูง ละลายได้ดีในน้ำมัน หรือแอลกอฮอล์และละลายได้เล็กน้อยในน้ำ เมื่อได้รับสารกลุ่มนี้ในปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้คนหรือสัตว์ที่ได้รับเสียชีวิตจากระบบการหายใจที่ล้มเหลว ซึ่งเป็นภาวะการเกิดพิษเฉียบพลันอันเป็นผลจากกล้ามเนื้อหัวใจเป็นอัมพาต หลอดลมบีบตัว และศูนย์การควบคุมการหายใจในสมองหยุดทำงาน กลไกการออกฤทธิ์ และผลของสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และคาร์บาเมท ดังภาพที่ 2.3

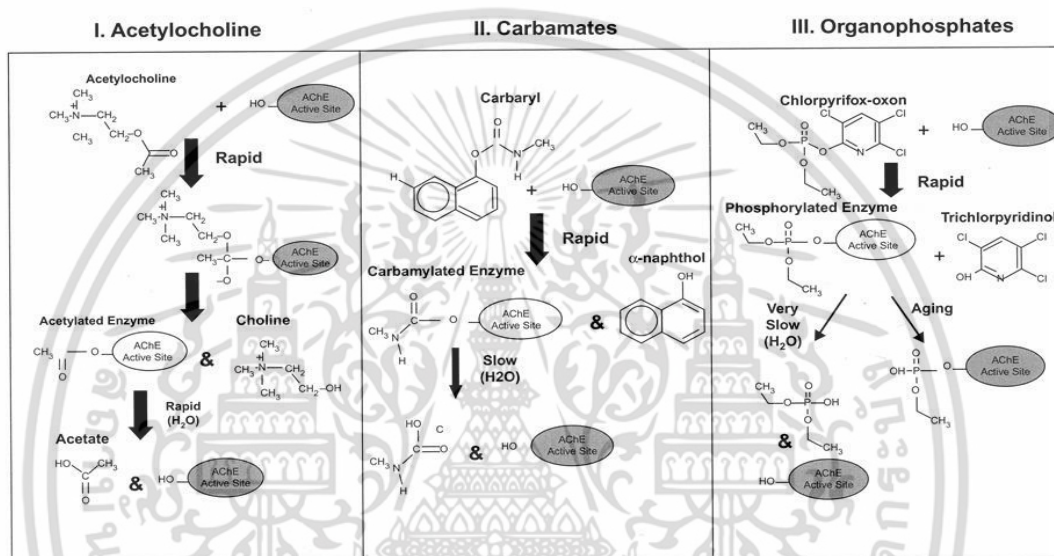


ภาพที่ 2.3 กลไกการออกฤทธิ์ และผลของสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และคาร์บาเมท

ที่มา : ดัดแปลงจาก Gupta (2012)

พิษจลนศาสตร์ สารกลุ่มนี้จะถูกดูดซึมได้ดีทั้งทางผิวหนัง เชื้อบุตา ทางเดินหายใจ และทางเดินอาหาร จากนั้นจะเกิดการกระจายตัวไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ พบการสะสมหลักที่เนื้อเยื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมัน เมตาบอลิซึมเกิดขึ้นที่ตับ การขับสารในรูปเมตาบอลิท์ออกจากร่างกาย ผ่านทางปัสสาวะ เป็นหลัก สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเกิดการเปลี่ยนรูปโดยเอนไซม์ที่ตับ ไปเป็นสารประกอบกลุ่มออกซอน (oxon) ซึ่งออกซอนจะจับกับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส เกิดปฏิกิริยาการยับยั้งแบบไม่ผันกลับทำให้ความเป็นพิษ และระยะเวลาในการเกิดพิษเพิ่มมากขึ้น ขณะที่สารกลุ่มคาร์บาเมทจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส จากการเกิดกระบวนการคาร์บาไมเลชัน (carbamylation) ในส่วนของเอนไซม์เอสเตอร์ (enzyme ester) ทำให้การเกิดปฏิกิริยาการยับยั้งเอนไซม์เป็นแบบผันกลับได้ และไม่ยาวนาน (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาการจับ ของอะเซทิลโคลีน (I), คาร์บาเมท (II) และออร์กาโนฟอสเฟต (III) ที่มา : Gupta (2012)

การจำแนกตามระดับความรุนแรงในการเกิดพิษ จากการศึกษาในมนุษย์ของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตรายละเอียดดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ชนิด และประเภทของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต จำแนกตามระดับความรุนแรง ในการเกิดพิษจากการศึกษาในมนุษย์

กลุ่มของสารออร์กาโนฟอสเฟตจำแนกตามระดับความรุนแรง			
	กลุ่ม Ib (LD ₅₀ < 5 มก./ กก.)	กลุ่ม II (LD ₅₀ 50-500 มก./ กก.)	กลุ่ม III (LD ₅₀ > 500 มก./กก.)
คลอร์เฟนวินฟอส (Chlorfevinphos)	อะซีนฟอส-เอทิล (Azinphos-ethyl)	คลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos)	อะซีเฟต (Acephate)
อีพีเอ็น (EPN)	อะซีนฟอส-เมทิล Azinphos-methyl	ไดอะซีนอน (Diazinon)	อะซามิฟอส (Azamethiphos)
ไดซันโฟตัน (Disulfoton)	โบรมฟอส-เอทิล (Bromophos-ethyl)	ไดเมทโทเอท (Dimethoate)	โบรมฟอส (Bromophos)
โฟโนฟอส (Fonofos)	คาร์โบฟีโนไทออน (Carbophenothion)	อีไทออน (Ethion)	มาลาไทออน (Malathion)
มีฟอสโฟแลน (Mephosfolan)	ไดคลอรวอส (Dichlorvos)	อีทริมฟอส (Etrimfos)	ไพริมิฟอส-เมทิล (Pirimiphos-methyl)
มีวินฟอส (Mevinphos)	ไดโคร ไดฟอส (Dicrotophos)	เฟนนิโตรไทออน (Fenitrothion)	เตตราไดฟอน (Tetradifon)
พาราไทออน (Parathion)	เฟนไทออน (Fenthion)	ฟอร์มอไทออน (Formothion)	ไตรคลอर्फอน (Trichlorfon)
พาราไทออน-เมทิล (Parathion-methyl)	ไอซาโซฟอส (Isazofos)	เมทาคริฟอส (Methacrifos)	
ฟอกซิม (Phoxim)	ไอโซเฟนฟอส (Isofenphos)	นาเลด (Naled)	
ซัลโฟเตป (Sulfotep)	มีทามิโดฟอส (Mithamidophos)	เฟนโทเอท (Phenthoate)	
	โมนโครโทฟอส (Monocrotophos)	โฟซาลอน (Phosalone)	
	โอเมทโทเอท (Omethoate)	ฟอสเมท (Phosmet)	
	ออกไซด์มีตอน-เมทิล (Oxydemeton-methyl)	โพรฟีโนฟอส (Profenophos)	
	ไทโอมิตอน (Thiometon)	โพรไทโอฟอส (Prothiofos)	
	ไตรโซฟอ (Triazophos)	ควินนัฟอส (Quinalphos)	
	วามิโดไทออน (Vamidothion)	ซัลโพรฟอส (Sulprofos)	

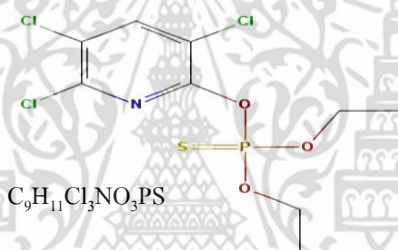
ที่มา : ดัดแปลงจาก สารกำจัดศัตรูพืช, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้มี 4 ชนิด คือ คลอร์ไพริฟอส โพรพิโนฟอส โพรไทโอฟอส และอีไทออน

2.6.1 คลอร์ไพริฟอส

สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต รูปแบบส่วนใหญ่ของสารในกลุ่มนี้ เป็นสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (ภาพที่ 2.5) มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์โคลีนิเนสเทอร์เอสแบบถาวร พิษตกค้างของคลอร์ไพริฟอสมีค่า LD₅₀ เท่ากับ 97-276 ซึ่งความเป็นพิษจัดอยู่ในระดับ 2 เมื่อได้รับทั้งทางปาก ผิวหนัง และสูดดม จะมีอาการคลื่นไส้ วิงเวียนอ่อนเพลีย กล้ามเนื้อหดตัวเป็นหย่อมๆ แน่นหน้าอก อาเจียน ท้องเดิน ตาพร่า น้ำลายออกมากกว่าปกติ อาการพิษรุนแรง หมดสติ น้ำลายฟูมปาก ออจาระะ ปัสสาวะราด หายใจลำบาก และหยุดหายใจ



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างคลอร์ไพริฟอส

ที่มา : Pubchem (2018)

2.6.1.1 ชื่อทางการค้าของคลอร์ไพริฟอส

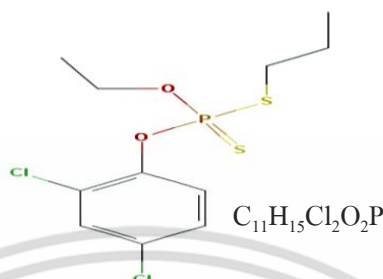
คลอร์ไพริฟอส มีชื่อทางการค้าตามที่ได้ขึ้นทะเบียนกับกลุ่มควบคุมวัตถุอันตราย กรมวิชาการเกษตรปี พ.ศ. 2561 มีรายชื่อดังนี้ อาโซครอน, เดก้า, วันเดส, แพ็ค 40 สิงห์ฟอส, ไพรีเน็กซ์ 40 อีซี (pyrinex 40 EC) และชื่ออื่นๆ ตามภาคผนวก ก

2.6.2 โพรไทโอฟอส

ความเป็นพิษ มีพิษเฉียบพลัน ทางปากในหนู 925 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทางผิวหนังในหนูมากกว่า 1,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ประโยชน์ใช้กำจัดหนอนผีเสื้อที่กัดกินใบพืช เช่น หนอนกระทู้หอม หนอนใยผัก หนอนกระทู้ผัก แมลงศัตรูพืชอื่นๆ เช่น เพลี้ยอ่อน เพลี้ยแป้ง เพลี้ยไฟ แมลงศัตรูในบ้านเรือน เช่น ยุงและแมลงวัน พืชที่ใช้รองุ่น ส้ม ยาสูบ ชา ข้าวโพด มันฝรั่ง ผักตระกูลกะหล่ำและผักทั่วไป พริก มะเขือ ถั่วเขียว ถั่วฝักยาว ไม้ดอก และไม้ประดับ อาการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชจะมีอาการมีนง ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ม่านตาหรี่ คลื่นไส้ อาเจียน แน่นหน้าอก ปวดท้อง
เกร็ง น้ำตาและน้ำลายไหล เหงื่อออกมาก กล้ามเนื้อกระดูกตัวเขียวคล้ำเพราะขาดออกซิเจน
มีสูตรโครงสร้างแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของโพรไทโอฟอส

ที่มา : Pubchem (2018)

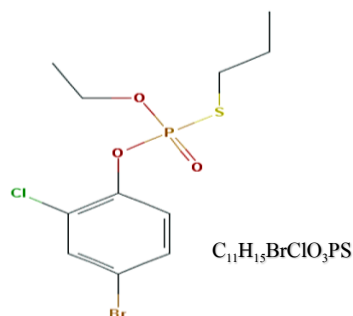
2.6.2.1 ชื่อทางการค้าของโพรไทโอฟอส

โพรไทโอฟอส มีชื่อทางการค้าตามที่ได้ขึ้นทะเบียนกับกลุ่มควบคุมวัตถุอันตราย
กรมวิชาการเกษตรปี พ.ศ. 2561 มีรายชื่อดังต่อไปนี้ Prothiofos 50 EC, Pin-tung และ Tokuthion
500 EC

2.6.3 โพรฟิโนฟอส

โพรฟิโนฟอส เป็นสารกำจัดแมลงประเภทไม่ดูดซึม ออกฤทธิ์ในทางสัมผัส และกินตาย
ประโยชน์กำจัดศัตรูพืชได้หลายชนิด เช่น หนอนใยผัก หนอนเจาะสมอฝ้าย หนอน เพลี้ยอ่อน
เพลี้ยไฟ เพลี้ยกระโดด เป็นต้น ใช้กับฝ้าย อ้อย มันฝรั่ง ยาสูบ ถั่วเหลือง หอม พริก ผักตระกูล
กะหล่ำอู่น ข้าวโพด และพืชอื่น

ความเป็นพิษมีพิษเฉียบพลันทางปากในหนู 358 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทางผิวหนังใน
กระต่าย 472 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาการเกิดพิษจะมีอาการมีนง ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ม่านตาหรี่
ตาพร่า คลื่นไส้ อาเจียน เหงื่อ และน้ำลายไหลมาก ปวดท้องเกร็ง ท้องเสีย กล้ามเนื้อกระดูก
พุดไม่ชัด หายใจขัด หัวใจเต้นช้า ชักเกร็ง และอาจหมดสติ มีสูตรโครงสร้างแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของโพรฟีโนฟอส

ที่มา : Pubchem (2018)

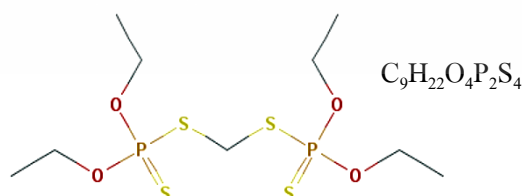
2.6.3.1 ชื่อทางการค้าของโพรฟีโนฟอส

โพรฟีโนฟอส มีชื่อทางการค้า ตามที่ได้ขึ้นทะเบียนกับกลุ่มควบคุมวัตถุอันตราย กรมวิชาการเกษตรปี พ.ศ. 2561 มีรายชื่อดังนี้ การูก้า, เมเจอร์ฟอส (Majorfos), โพรฟีโนฟอส เทคโนโลยี (Profenofos Tech.), ปาเกียวฟิวส์ และ ชื่ออื่นๆ ตามภาคผนวก ก

2.6.4 อีไทออน

เป็นสารกำจัดแมลงประเภทไม่ดูดซึม มีพิษเฉียบพลันทางปากในหนู 208 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ประโยชน์ใช้กำจัดศัตรูสัตว์เลี้ยง คือ เห็บ เหา สำหรับในต่างประเทศใช้กำจัดศัตรูพืชคือ เพลี้ยอ่อน ไรชนิดต่างๆ เพลี้ยไฟ เพลี้ยกระโดด เพลี้ยจักจั่น หนอนม้วนใบ หนอนชอนใบ และอื่นๆ

อาการเกิดพิษจะมีอาการปวดศีรษะ เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อ่อนเพลีย มึนงง ม่านตาหรี่ ตาพร่ามัว ปวดเกร็งในช่องท้อง ท้องเดิน น้ำลาย และน้ำตาไหล เหงื่อออกมาก หายใจหอบถี่ แน่นหน้าอก จีวรเด่นชัด ปลายมือ และเท้ากระตุก กล้ามเนื้อรัดเกร็ง ชัก และหมดสติ และอาจตายเนื่องจากหัวใจไม่ทำงาน มีสูตรโครงสร้างแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของอีไทออน

ที่มา : Pubchem (2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4.1 ชื่อทางการค้าของอีไทอน

อีไทอน มีชื่อทางการค้าตามที่ได้ขึ้นทะเบียนกับกลุ่มควบคุมวัตถุอันตราย กรมวิชาการเกษตรปี พ.ศ. 2561 มีรายชื่อดังนี้ Ethion Tech., อีโรก้า, เจทีออน, แฟร์มอง, บราเซีย และชื่ออื่นๆ ตามภาคผนวก ก

2.7 การจัดแบ่งกลุ่มความรุนแรงของการเกิดพิษ ของสารป้องกัน และกำจัดศัตรูพืช

องค์การอนามัยโลกได้จัดกลุ่ม ของสารกำจัดศัตรูพืชตามลักษณะอันตรายไว้ 5 ระดับ ดังตารางที่ 2.7 โดยสารพิษที่ต้องการศึกษาทั้ง 4 ชนิดจัดอยู่ในกลุ่ม II ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายปานกลางต่อสุขภาพ

ตารางที่ 2.7 การจัดแบ่งกลุ่มความรุนแรง ของการเกิดพิษของสารป้องกัน และกำจัดศัตรูพืช

Class		LD ₅₀ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/น้ำหนักตัว)	
		ทางปาก	ทางผิวหนัง
Ia	Extremely Hazardous	< 5	< 50
Ib	Highly Hazardous	5 - 50	50 - 200
II	Moderately Hazardous	50 - 2,000	200 - 2,000
III	Slightly Hazardous	Over 2,000	Over 2,000
U	Unlikely to present acute hazard	5,000 or higher	5,000 or higher

LD₅₀ (Lethal dose) หมายถึง ปริมาณสารที่ทำให้สัตว์ทดลองที่กินตายลงครึ่งหนึ่ง

ที่มา : ดัดแปลงจาก WHO (2009)

2.8 การควบคุมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและผลทางการเกษตร

2.8.1 การควบคุมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและผลทางการเกษตรของประเทศไทย

2.8.1.1 พระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2556

เหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติฉบับนี้คือ เนื่องจากประเทศไทยกำลังเร่งรัดพัฒนาสินค้าเกษตรให้ได้มาตรฐาน และในปัจจุบันสินค้าเกษตรหลายชนิด ทั้งที่ผลิตขึ้นในประเทศ และนำเข้าจากต่างประเทศ ยังไม่มีมาตรฐานใช้บังคับ เป็นเหตุให้สินค้าเกษตรด้อยคุณภาพ และไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ประชาชนขาดความเชื่อถือ และส่งผลกระทบต่อการประกอบกิจการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสินค้านำเข้าเกษตรของไทย ทำให้ไม่สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ อันก่อให้เกิดความเสียหายแก่เศรษฐกิจของประเทศโดยรวม สมควรมีกลไกในการกำหนดมาตรฐาน และการตรวจสอบและรับรองมาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตรขึ้น เพื่อป้องกันความเสียหาย อันอาจจะเกิดแก่ประชาชน หรือแก่กิจการการค้าสินค้านำเข้าเกษตร หรือเศรษฐกิจของประเทศ และเพื่อให้สอดคล้องกับพันธกรณีระหว่างประเทศ

2.8.1.2 การควบคุมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและผลทางการเกษตรด้านมาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตร เรื่อง พริก (มกษ. 1502 - 2560)

ตามที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้ประกาศมาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตรที่ มกษ. 1502-2547 เรื่อง พริก เมื่อวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2547 ในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เมื่อวันที่ 7 มิถุนายน พ.ศ. 2547 เพื่อให้มาตรฐานมีความเหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบัน ประกอบกับการกำหนดมาตรฐานพริก ระหว่างประเทศและภูมิภาค คณะกรรมการมาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตรจึงเห็นสมควรให้ปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานฉบับเดิม เพื่อให้พริกของไทยเป็นที่ยอมรับทั้งด้านคุณภาพและความปลอดภัย โดยกำหนดข้อ 8 เรื่องสารพิษตกค้างดังนี้ ปริมาณสารพิษตกค้างในพริกให้เป็นไปตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และ มกษ. 9002 มาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตร เรื่อง สารพิษตกค้าง: ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด และ มกษ. 9003 มาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตร เรื่อง สารพิษตกค้าง: ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้

2.8.1.3 มาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตร สารพิษตกค้าง: ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (มกษ. 9002-2559)

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยคณะกรรมการมาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ได้ออกประกาศ กำหนดมาตรฐานสินค้านำเข้าเกษตร และอาหารแห่งชาติ เรื่องสารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (มกษ. 9002-2556) เมื่อวันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2556 และประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ปัจจุบันนี้กฎระเบียบ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการกำหนดมาตรฐานฉบับนี้ ได้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และเพื่อให้มาตรฐานมีการครอบคลุมสารพิษตกค้างที่สำคัญ ที่เกี่ยวข้องกับสินค้านำเข้าเกษตร และอาหารมากขึ้น จึงปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานโดยประกาศยกเลิกมาตรฐานฉบับเดิม (มกษ. 9002-2556) และประกาศฉบับใหม่ (มกษ. 9002-2559) ที่ครอบคลุมชนิดสารพิษตกค้างมากขึ้น ค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในมาตรฐานนี้ ครอบคลุมสารพิษตกค้างจากวัตถุอันตรายทางการเกษตร 56 ชนิด โดยพริกสด กำหนดรายการวัตถุอันตรายทางการเกษตร และปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRL) มีลิสทรีมต็อกิโกลกรัม ดังนี้ อะบาเมคติน (Abamectin) MRL เท่ากับ 0.005 มิลลิกรัมต็อกิโกลกรัม เดลตามาเมทริน (Deltamethrin), มาลาไทออน (Malathion) MRL เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต็อกิโกลกรัม แลมบ์ดา-ไซฮาโลทริน (Lambda-cyhalothrin) MRL เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต็อกิโกลกรัม คาร์บาริล (Carbaryl), คาร์โบซัลแฟน (Carbosulfan), โฟซาลอน (Phosalone) MRL เท่ากับ 0.5 คาร์เบนดาซิม/เบนโนมิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Carbendazim/Benomyl), ไซเพอร์เมทริน (Cypermethrin) MRL เท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos), ไดไทโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamates), โพรไทโอฟอส (Prothiofos), โพรฟีโนฟอส (Profenofos) และ อีไทออน (Ethion) MRL เท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.8.2 การควบคุมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและผลทางการเกษตร ด้านกฎระเบียบต่างประเทศ

2.8.2.1 ASEN Standard for Chilli Peppers (ASEAN Stan 21:2011)

กำหนดเรื่อง สารตกค้างให้เป็นไปตามปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดตามมาตรฐาน CODEX

2.8.2.2 ASEN Standard for Sweet Peppers (ASEAN Stan 24:2011)

กำหนดเรื่องสารตกค้างให้เป็นไปตามมาตรฐาน CODEX

2.8.2.3 กฎระเบียบการนำเข้าสินค้าเกษตร ของสหภาพยุโรป EC Regulation 669/2009

กฎระเบียบการนำเข้าสินค้าเกษตร ของสหภาพยุโรป EC Regulation 669/2009 ที่ได้ปรับใช้แล้ว ตั้งแต่วันที่ 25 มกราคม 2553 สำหรับส่วนที่ปรับปรุงมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับประเทศไทยดังนี้

- 1 EU ให้คงมาตรการตรวจเข้มเพื่อหาสารฆ่าแมลงตกค้างที่ระดับ 50% ในผัก 3 ประเภท คือ ผักในกลุ่มมะเขือ กลุ่มกะหล่ำ และถั่วฝักยาว ทั้งในรูปของผักสด แช่เย็นและแช่แข็ง
- 2 EU ให้คงมาตรการตรวจเข้มเพื่อหาสารฆ่าแมลงตกค้างที่ระดับ 20% ในผัก 2 ประเภท คือ ผักชี และกะเพรา-โหระพา ในรูปของผักสด
- 3 EU ให้คงมาตรการตรวจเข้มเพื่อหาเชื้อ *Salmonella* spp. ที่ระดับ 10% ในผัก 3 ประเภท คือ ผักชี กะเพรา-โหระพา และสะระแหน่ ในรูปของผักสด
- 4 EU ให้คงมาตรการตรวจเข้มเพื่อหาสารฆ่าแมลงตกค้างที่ ระดับ 10% ในพริกสด

2.8.2.4 มาตรการควบคุมพิเศษระบบบัญชีรายชื่อโรงคัดบรรจุ (Establishment List, EL)

พืชภายใต้มาตรฐานการควบคุมพิเศษ สำหรับการส่งออกผัก และผลไม้สดไปสหภาพยุโรป นอร์เวย์ และสมาพันธรัฐสวิส ผู้ส่งออกต้องได้รับการรับรองจากกรมวิชาการเกษตร ว่าผ่านมาตรการควบคุมพิเศษแล้วเท่านั้น จึงจะสามารถส่งออกพืชผักสดที่กำหนดได้ (กรมวิชาการเกษตร. 2555)

2.9 การตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช

การตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ นั้น มักใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC) ที่มี flame photometric detector (FPD) หรือสารบางชนิดที่มีทั้งฟอสฟอรัส และคลอรีนเป็นองค์ประกอบ อาจตรวจวิเคราะห์ได้โดยใช้ electron capture detector (ECD) ในบาง

กรณีมีการใช้ mass spectrometry detector (MSD) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเลือก (selectivity) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวิธีการวิเคราะห์สารพิษตกค้างโดยทั่วไป ที่เป็นมาตรฐานตามคำแนะนำของโคเด็กซ์เป็นดัง ตารางที่ 2.8 หรือใช้วิธีการวิเคราะห์โดยทั่วไป ที่เป็นมาตรฐานตามเอกสาร Manual of Method of Analysis of Food Pesticide Residues, Food Safety and Standard Authority of India Ministry of Health and Family Welfare Government of India New Delhi 2015 ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.8 วิธีการวิเคราะห์สารพิษตกค้างโดยทั่วไปที่เป็นมาตรฐานตามคำแนะนำของโคเด็กซ์

		Phase 1 - Screening							
		GC with capillary column – ECD, NPD, FPD, PFPD	GC-MS	LC-MS	LC-DAD or scanning UV	LC-UV/VIS (single wavelength)	LC-fluorescence	GC with packed column – ECD, NPD, FPD	TLC – enzyme -, fungal growth or chloroplast inhibition
Phase 2, confirmation	GC – capillary column – ECD, NPD, FPD, PFPD	X ¹	X ¹	X	X	X	X	X	X
	GC-MS	X	X ²	X	X	X	X	X	X
	LC-MS	X	X	X	X	X	X	X	X
	Full scan techniques	X	X	X	X	X	X	X	X
	(MS) ^a , HRMS, - alternative ionisation techniques	X	X	X	X	X	X	X	X
	LC-DAD or scanning UV	X	X	X	X	X	X	X	X
	LC-UV/VIS (single wavelength)	X	X			X	X	X	X
	LC-fluorescence	X	X		X	X		X	X
	TLC – enzyme, fungal growth or chloroplast inhibition	X	X	X	X	X	X	X	X ² ³
	Derivatisation	X	X	X	X	X	X	X	X
	Specific isomers profile	X	X	X	X	X	X	X	

1-Either the column of different polarity, which results in different elution order of the residues and contaminants eluting in the vicinity to the peak of interest, or another specific detector shall be used.

2-The same GC- MS technique can be used for the phase 2 (confirmation) if different ions are selected or tolerance intervals are established based on matrix matched solutions.

3- Mobile or stationary phase of different polarity shall be used.

ที่มา : CODEX (CAC/GL 56-2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 Method for determination of Pesticides

รายการทดสอบ	วิธีการวิเคราะห์
1. Multi Residues Method for Determination of Chlorinated Pesticides	- GC/ECD (for Organochlorine & pyrethroid) - GC/FPD (for Organophosphorus)
2. Multi Residues Method for Determination of Organophosphorus Pesticides	- GC/FPD (Flame photo detector) - Gas chromatograph NPD / TID (nitrogen-specific detector)
3. Multi Residues Gas Chromatography Method for Synthetic Pyrethroid	- GC/ECD (Electron capture detector)
4. Multi Residues Method for Determination of N-Methylcarbamate Insecticides In Food Commodities	- GC/ECD
5. Multi Residues Method for Fumigants	- GC/ECD
6. Thiamethoxam	- HPLC (High performance Liquid Chromatographic system)
7. Thiodicarb/Methomyl	- GC/FPD
8. Cymoxanil	- Gas chromatograph NPD / TID
9. Multi Residues Gas Chromatography Method for the Determination of Organochlorine and pyrethroid Pesticides in Milk, Fish and Eggs	- GC/ECD
10. Acetamiprid	- GC/ECD
11. Imidacloprid	- HPLC
12. Pretilachlor	- GC/ECD
13. Isoprothiolane	- GC/ECD
14. Fosetyl Aluminium	- GC/FPD
15. Propiconazole	- Gas chromatograph NPD / TID
16. Dithiocarbamates	- Spectrophotometric Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 Method for determination of Pesticides (ต่อ)

รายการทดสอบ	วิธีการวิเคราะห์
17. Ethylene Thiourea and Ethylene Urea	- HPLC (UV detector)
18. Tricyclazole	- GC/FPD
19. Triadimifon and Triadiminol	- GC TID
20. Metal Axyl	- GC AFID (Alkali-flame ionization detector)
21. Trizole Fungicides	- GC NPD
22. Chlorsulfuron and Metsulfuron	- HPLC -LC-ESI-MS/Ms
23. Anilophos	- GC NPD
24. Diclofop-Methyl	- GC/ECD
25. Glufosinate	- GC/FPD
26. Linuron	- GC/ECD
27. Diquat and Paraquat	- GC
28. Atrazine and Simazine	- GLC Method (Gas Liquid chromatographic)
29. Metribuzin	- GC
30. 2, 4-D	- GLC Method
31. Pendimethalin	GLC Method ECD
32. Organo Chlorine Pesticides in Water By Gas chromatographic Method	- GC/ECD
33. N-Methyl Carbamoyloximes and N-Methyl Carbamates in Finished Drinking Water	- HPLC Method
34. Determination of Alachlor, Atrazine and Butachlor in Water	- GC NPD
35. Determination of 2, 4-D in Drinking Water By Liquid – LiquidMicroextractio, Derivetization, and Fast Gas Chromatography with Electron Capture Detectio	- GC/ECD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 Method for determination of Pesticides (ต่อ)

รายการทดสอบ	วิธีการวิเคราะห์
36. Determination of Isoproturon in Water by Solid-Phase extraction and Liquid Chromatography	- LC
37. Nitrogen – And Phosphorus – Containing Pesticides in Finished Drinking water	- GC NPD

ที่มา : ดัดแปลงจาก Manual of Method of Analysis of Food Pesticide Residues, Food Safety and Standard Authority of India Ministry of Health and Family Welfare Government of India New Delhi (2015)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ในผักและผลไม้

ในปี ค.ศ. 2003 Anastassiedes และคณะ นำเสนอวิธีการสกัดที่ให้ชื่อว่า QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) โดยอาศัยหลักการ การกระจายเฟสของแข็งในสารละลายสกัดตัวอย่าง วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่าย ใช้ปริมาณตัวอย่าง และปริมาณสารอินทรีย์น้อย ทำในภาชนะปิดขนาดเล็ก 1-50 มิลลิลิตร ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่ยุ่งยาก มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานสูง วิธีการจึงเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป และขยายตัวสู่ห้องปฏิบัติการ การตรวจวิเคราะห์ ในปี ค.ศ. 2007 Lehotay ทำการทดสอบวิธีการ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างห้องปฏิบัติการหลายประเทศ พบว่าผลที่ได้มีความเที่ยง และความแม่นยำเป็นที่ยอมรับ และพัฒนาเป็นวิธีมาตรฐาน AOAC (Association of Official Analytical Chemists) ในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช ผัก ผลไม้ในปีเดียวกันนั่นเอง (อุไรรัตน์ ก่อสุขวิวัฒน์. 2555) ปี พ.ศ. 2550 จิตรา คล้ายมนต์ และคณะ (2550) ทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และกลุ่มไพรีทรอยด์ในผลไม้โดยวิธี QuEChERS ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี พิสูจน์ความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ ด้วยเทคนิคการเติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง (fortified sample) วัตถุมีพิษ 33 ชนิด ในตัวอย่าง ผลการทดสอบ มีค่าความเป็นเส้นตรง (linearity) R^2 0.9957 - 0.9994 วิเคราะห์สารอยู่ในช่วง (range) 0.02 - 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปีต่อมา ลักษมี เดชานุกฤษณ์กุล และคณะ (2551) ทำการทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ เพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์สารพิษตกค้างที่มีความถูกต้องแม่นยำ เหมาะสม และรวดเร็ว โดยใช้วิธีวิเคราะห์ QuEChERS ทำการสกัดตัวอย่าง โดยการเขย่าด้วยอะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile, MeCN) และอะซิติกแอซิด (1% acetic acid, HAc),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียมซัลเฟตแอนไฮไดรต์ (anhydrous $MgSO_4$) และ โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate, NaAC) โดยใช้ ไพรมารีซัคกันคาร์เอมีน (PSA) และแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ในการขจัดสิ่งปนเปื้อน (cleanup) นำวิธีมาพิสูจน์ความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ ด้วยเทคนิคการเติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง โดยเติมวัตถุที่มีพิษจำนวน 33 ชนิดในตัวอย่างสาธิตและแดงโม และตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี จากผลการทดสอบพบว่าวัตถุที่มีพิษจำนวน 25 ชนิดมีความเหมาะสมในการทดสอบ โดยสามารถตรวจวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง และมีความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.04 – 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่า LOD เท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและ LOQ เท่ากับ 0.04 - 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีเพียงวัตถุที่มีพิษจำนวน 8 ชนิดที่ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ มีค่า LOQ > 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม วิธีวิเคราะห์นี้สามารถตรวจสอบสารพิษในผลไม้ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง ที่ทำเป็นงานประจำ และต้องการผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำ ต่อมาทองสุข ปายะนันท์ และคณะ (2558) ทำการศึกษาสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลส้ม จากการตรวจวิเคราะห์สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชทั้ง 4 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มออร์กาโนคลอรีน กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส กลุ่มคาร์บาเมต และกลุ่มสารสังเคราะห์ไพรีทรอยด์ ในตัวอย่างผลส้มนั้น สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส และกลุ่มสารสังเคราะห์ไพรีทรอยด์ เตรียมตัวอย่างโดยเทคนิค QuEChERS ตาม AOAC 2007.01 โดยใช้สารละลายอินทรีย์กับบัฟเฟอร์ปริมาณน้อย สำหรับการวิเคราะห์ในเฟสอินทรีย์ และใช้การสกัดแบบการกระจายตัวในเฟสของแข็ง (dispersive solid-phase extraction, d-SPE) สำหรับกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (clean up) สามารถเตรียมตัวอย่างยาฆ่าแมลงได้อย่างง่าย รวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายน้อย และมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีค่าการกลับคืนที่ดี (good recovery) ตรวจยืนยันชนิดสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี ทำให้ผลการตรวจวิเคราะห์มีคุณภาพน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น

ในต่างประเทศ Ashutosh และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาสารพิษกลุ่มออการ์โนฟอสเฟต 17 ชนิด ในมะม่วง โดยใช้วิธีการสกัด QuEChERS และวิเคราะห์ผลด้วย GC-NPD/GC-MS จากวิธีการดังกล่าวค่า r เท่ากับ 0.997, เปอร์เซ็นต์การกลับคืนอยู่ระหว่างร้อยละ 70.20 – 93.5 และ RSD < 10% ค่า LOD และ LOQ ของสารตกค้างทั้ง 17 ชนิดอยู่ในช่วง 0.001 - 0.010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.007 – 0.033 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าค่า MRL วิธีการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สารตกค้างกลุ่มออการ์โนฟอสเฟตทั้ง 17 ชนิดได้ ในปีถัดมา Sharma และ Kapadnis (2015) ได้ทำการพัฒนาวิธีการหาสารตกค้างกำจัดศัตรูพืชจากพริกและกระเจี๊ยบเขียว โดยใช้เครื่อง HPLC และ GC-MS ในขั้นตอนของการสกัดใช้วิธี QuEChERS ซึ่งเชื่อว่าจะให้ผลในการสกัดดีที่สุด ทั้งในเชิงคุณภาพ และปริมาณ สำหรับการวิเคราะห์สารตกค้างด้วยเครื่อง HPLC และ GC-MS การ

ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ในผักผลไม้ยังคงศึกษา
อย่างต่อเนื่องดังตารางที่ 2.10

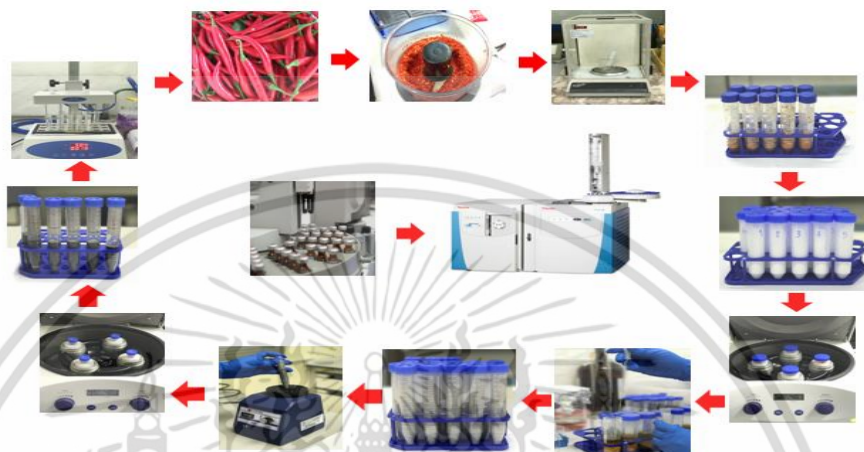
ตารางที่ 2.10 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารตกค้างในผักผลไม้

ตัวอย่าง	วิธีการสกัด	เครื่องมือ	LOD (มก./กก.)	LOQ (มก./กก.)	% Recovery	อ้างอิง
มะเขือเทศ	เอทิลอะซิเตท	GC-NPD	0.002-0.8 (สารละลาย) 0.0007- 0.0061 (ตัวอย่าง)	0.0066-0.62 (สารละลาย) 0.0007- 0.006 (ตัวอย่าง)	87-326 (สารละลาย) 88-118 (ตัวอย่าง)	Gobo และคณะ (2004)
มะเขือเทศ แอปเปิล ถั่วเขียว แซ่แข็ง	เอทิลอะซิเตท	GC-ECD GC-NPD	0.01 0.005	-	86-98	Aysal และ คณะ (2007)
มะม่วง มะเฟือง	เอทิลอะซิเตท	GC-ECD	-	0.02-0.5	81.0-117.4 82.2-129.2	Ngrn และคณะ (2013)
แอปเปิล องุ่น ส้ม มะเขือเทศ กระหล่ำดอก มะเขือเปราะ กระหล่ำปลี	เอทิลอะซิเตท	GC-ECD	0.005-0.01	0.01-0.02	80.36- 110.25	Kumar และคณะ (2015)
ชาขามมาเต้	ไมโครเวฟ อะซิโตนไน ไต้ล	GC-FPD	0.2	-	70-120	Pareja และคณะ (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การสกัดด้วยชุด QuChERS

อาศัยหลักการการกระจายเฟสของแข็งในสารละลายในการสกัดตัวอย่าง เป็นวิธีการที่ง่ายใช้ปริมาณตัวอย่างและปริมาณสารอินทรีย์น้อย ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่ยุ่งยาก มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานสูง ขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี QuChERS แสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี QuChERS

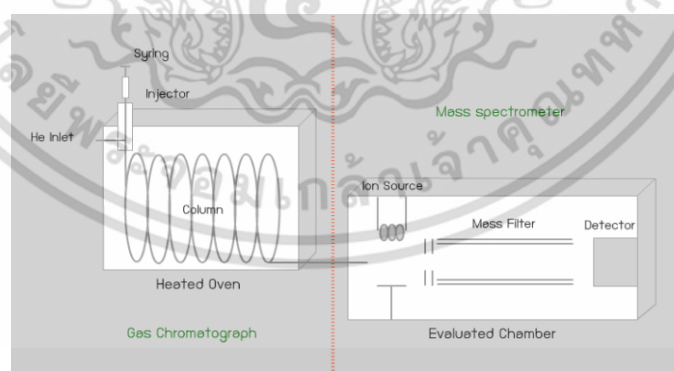
2.12 เครื่อง Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)

แก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี หรือเรียกย่อว่า GC/MS เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณสารเป็นเทคนิคที่รวมข้อดี 2 ประการไว้ด้วยกัน คือประการแรก มีความสามารถในการแยกสารผสมซึ่งกลายเป็นไอได้ง่ายให้ออกเป็นองค์ประกอบเดี่ยวๆ ประการที่ 2 องค์ประกอบของสารแต่ละชนิด ที่ผ่านการแยกแล้วจะถูกตรวจวัดด้วยวิธีแมสสเปกโตรเมตรี ที่มีความจำเพาะ (specificity) ต่อการตรวจวัดมีสภาพไว (sensitivity) ในการตรวจวัดสูง และให้ข้อมูลแมสสเปกตรัม (mass spectrum) ของสาร ที่สามารถใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์สาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.12.1 หลักการแก๊สโครมาโทกราฟี

แก๊สโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคหนึ่งในโครมาโทกราฟี ที่ใช้แก๊สเฉื่อยทำหน้าที่เป็นแก๊สพา (carrier gas) เป็นตัวพาเคลื่อนที่ เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้สารที่ระเหยง่าย (volatility) และทนความร้อน (thermal stability) ในเทคนิคนี้ ตัวอย่างจะถูกนำเข้าสู่ระบบ และเกิดการระเหยเป็นไอที่จุดฉีดสาร (injector) เป็นตัวพาเคลื่อนที่ในเทคนิค GC ซึ่งมักนิยมเรียกว่า “แก๊สพา” เป็นแก๊สเฉื่อย (inert gas) ที่มีความบริสุทธิ์สูงได้แก่ ไนโตรเจน ฮีเลียม หรือไฮโดรเจน โดยทั่วไปนิยมใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา แก๊สพาใน GC ทำหน้าที่ผสมกับตัวอย่างที่กลายเป็นไอที่จุดฉีด และพาองค์ประกอบของตัวอย่างเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ที่ใช้แยกสารที่มีลักษณะเป็นท่อบรรจุด้วยอนุภาคเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

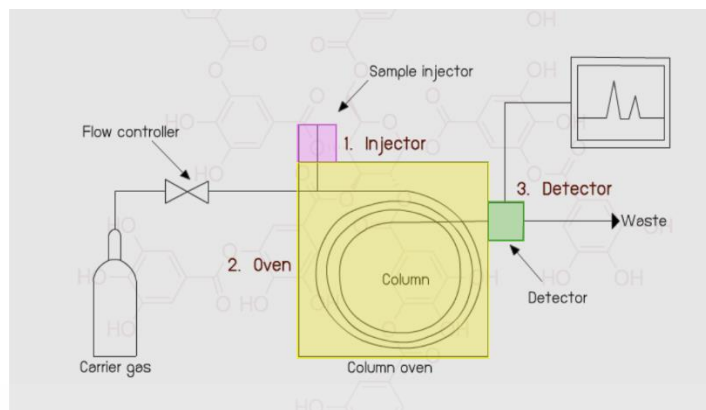
ของวัฏภาคหนึ่ง ในกรณีที่เป็นคอลัมน์ชนิดบรรจุ (pack column) หรืออาจเป็นคอลัมน์แคปิลลารี (capillary) ซึ่งเป็นท่อปลายเปิดที่ผนังด้านในเคลือบ หรือเกิดพันธะทางเคมีกับวัฏภาคหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปเป็นวัฏภาคของของเหลว (liquid phase) ที่สามารถทนอุณหภูมิของเตาคอลัมน์ (column oven) ได้สูง องค์ประกอบต่างๆในตัวอย่าง โดยทั่วไปจะถูกแยกออกจากคอลัมน์ ตามลำดับของจุดเดือดและ/หรือความมีขั้วของสาร และถูกตรวจวัดโดยดีเทคเตอร์ที่เหมาะสม ผลที่ได้จากการแยกและการตรวจวัดสารที่ออกมาจากคอลัมน์ ในเทคนิคโครมาโทกราฟีเรียกว่า “โครมาโทแกรม” (chromatogram) ซึ่งให้ข้อมูลที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ เวลาที่สารแต่ละชนิดถูกเหนี่ยวรั้งอยู่ในคอลัมน์ เรียกว่า “รีเทนชันไทม์” (retention time) เป็นข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพ หรือบ่งบอกชนิดสาร ข้อมูลสำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ ความสูงหรือพื้นที่ของพีค (peak) การที่ผลการแยกของสารในเทคนิค GC ปรากฏให้เห็นเป็นพีคในโครมาโทแกรม เป็นผลเนื่องจากการกระจายตัวขององค์ประกอบ แต่ละชนิดในคอลัมน์ภายหลังการแยก หากการแยกเป็นไปตามอุดมคติ จะได้พีคของสารแต่ละชนิดที่มีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ ที่สมมาตร (symmetric peak) โดยการปรับสภาวะการแยกต่างๆให้เหมาะสมกับการแยกได้แก่ อัตราการไหลของแก๊สพา การเลือกคอลัมน์ ชนิดของวัฏภาคหนึ่ง ความหนาของฟิล์ม (film thickness) ความยาวของคอลัมน์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ ปริมาณของตัวอย่าง ตลอดจนโปรแกรมอุณหภูมิของคอลัมน์ ผลการปรับสภาวะต่างๆที่เหมาะสมจะทำให้สามารถแยกองค์ประกอบต่างๆของตัวอย่าง ให้ออกจากกันได้ นั่นคือ สารแต่ละชนิดจะมีรีเทนชันไทม์ที่แตกต่างกัน เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสาร (แม้ น อมรสิทธิ์ และคณะ. 2553) ส่วนประกอบ และรายละเอียดของ GC แสดงดังภาพที่ 2.10 – 2.13



ภาพที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี

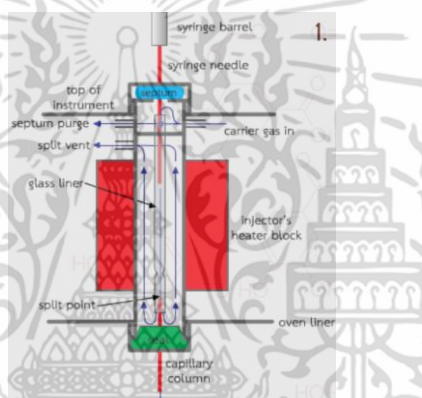
ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)



ภาพที่ 2.12 ส่วนของ Injector

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)



ภาพที่ 2.13 รายละเอียดของ Oven ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 ส่วนของ Detector

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)

2.12.2 หลักการของแมสสเปกโตรเมตรี

แมสสเปกโตรเมตรี เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ ที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารประกอบ ที่ไม่ทราบชนิด (unknown compound) และใช้ในการศึกษาโครงสร้างของโมเลกุล โดยอาศัยหลักการ การเคลื่อนที่ของมวลที่มีประจุ (charged particle) ซึ่งหมายถึงไอออนในสนามไฟฟ้า หรือสนามแม่เหล็ก พฤติกรรมเคลื่อนที่ดังกล่าว ขึ้นอยู่กับค่ามวลต่อประจุ (mass to charge ratio) ของไอออน การทราบประจุของไอออน จะทำให้สามารถทราบค่ามวลของไอออนนั้นๆได้ กระบวนการที่เกิดขึ้นในส่วนของแมสสเปกโตรเมตรี เริ่มต้นโดยไอออนถูกผลิตขึ้นจากโมเลกุลของสารที่ถูกนำเข้ามาที่แหล่งกำเนิดไอออน ไอออนที่เกิดขึ้นถูกแยกโดยหน่วยวิเคราะห์มวลและถูกนับจำนวน โดยดีเทกเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 2.14 วิธีการแตกตัวเป็นไอออน (ionization method) ที่สำคัญได้แก่ การแตกตัวของโมเลกุลเป็นไอออนโดยอิเล็กตรอน (electron ionization, EI) และการแตกตัวของโมเลกุลเป็นไอออนโดยวิธีทางเคมี (chemical ionization, CI) ซึ่งรูปแบบการแตกตัวเป็นการกำหนดชนิด และความอุดม (abundance) ของไอออนที่เกิดขึ้น ไอออนเหล่านี้อาจอยู่ใน 2 รูปแบบหลักๆด้วยกันคือ

2.12.2.1 ไอออน โมเลกุล (molecular ion)

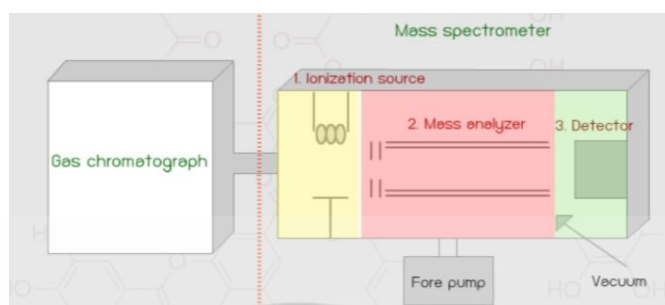
คือ ไอออนที่มีมวลเท่ากับโมเลกุลของสาร ในสภาพเริ่มต้น หรือทำให้ทราบมวลโมเลกุลสาร เช่น เกิดจากโมเลกุลสูญเสียอิเล็กตรอนจำนวน 1 ตัวทำให้ได้ไอออนโมเลกุลที่เกิดขึ้นมีประจุเป็นบวก

2.12.2.2 ไอออนย่อย (fragment ion)

เกิดจากการแตกหัก ของโครงสร้าง หรือเป็นไอออนที่มีมวลมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารในสภาพเริ่มต้น กับแก๊สที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนทางเคมี ผลจากการวิเคราะห์มวลสาร โดยเทคนิคแมสสเปกโตรเมตรี คือ แมสสเปกตรัม (mass spectrum) ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลต่อประจุ (mass-to-charge ratio) เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m/z กับความอุดมของไอออน (ion abundance) เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการทราบมวลโมเลกุล โครงสร้างโมเลกุลของสาร และปริมาณวิเคราะห์ (แมน อมรสิทธิ์ และคณะ. 2553)



ภาพที่ 2.15 ส่วนการทำงานของแมสสเปกโตรเมตรี

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)

2.13 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Method validation) คือ กระบวนการพิสูจน์ว่าวิธีวิเคราะห์ ที่ห้องปฏิบัติการนำมาใช้ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ มีความเหมาะสมเป็นไปตามข้อกำหนด ISO/IEC 17025 เพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำ ใกล้เคียงค่าที่แท้จริงมากที่สุด มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ห้องปฏิบัติการจะต้องทำเอกสารหลักฐานยืนยันตามวัตถุประสงค์ของการทดสอบ เพื่อเป็นการประกันคุณภาพของห้องปฏิบัติการ (EURACHEM. 2014)

2.13.1 วิธีการวิเคราะห์ที่ต้องตรวจสอบความถูกต้องของวิธี

วิธีวิเคราะห์ที่ต้องดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของวิธี มีหลายประเภท (สถาบันอาหาร. 2547) ได้แก่

2.13.1.1 วิธีการทดสอบที่ไม่ใช่วิธีมาตรฐาน (non-standard method) เป็นวิธีการที่คิดค้นขึ้นมาใหม่ ยังไม่ได้เป็นที่ยอมรับทั่วไป หรือยังไม่ได้ตีพิมพ์ และนำมาใช้ยังห้องปฏิบัติการต่างๆ จึงจำเป็นต้องมีการพิสูจน์ความถูกต้องของวิธีการทดสอบ และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวิธีการทดสอบ

2.13.1.2 วิธีทดสอบที่ใช้อยู่นอกขอบเขตวิธีมาตรฐาน เช่น การทดสอบกับตัวอย่างที่ไม่มีอยู่ในขอบข่ายของวิธีมาตรฐาน หรือการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงจากวิธีการมาตรฐาน เป็นต้น

2.13.1.3 การนำวิธีการไปใช้ในห้องปฏิบัติการอื่นๆ หรือเครื่องมือตัวอื่นๆ

2.13.1.4 การพิสูจน์ให้เห็นว่าวิธีทดสอบ 2 วิธีไม่ต่างกัน เช่น การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีมาตรฐาน กับวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ เป็นต้น อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิธีที่นำมาใช้ทดสอบนั้นจะเป็นวิธีมาตรฐานแล้วก็ตาม ก็ควรตรวจสอบความถูกต้องของวิธีทดสอบเพื่อเป็นการทวนสอบวิธีวิเคราะห์ ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด ว่าให้ผลการทดสอบที่ไม่แตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 คุณลักษณะเฉพาะที่แสดงคุณสมบัติของวิธีวิเคราะห์ (Method Performance Characteristics)

คุณลักษณะเฉพาะที่แสดงถึงคุณสมบัติของวิธีวิเคราะห์ตาม EURACHEM (2014) ได้กำหนดแนวทางไว้ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

Performance characteristic	Type of analytical application			
	Identification test	Quantitative test for impurity	Limit test for impurity	Quantification of main component
Selectivity	x	x	x	x
Limit of detection			x	
Limit of Quantification		x		
Working range including linearity		x		x
Trueness (bias)		x		x
Precision (repeatability and intermediate precision)		x		x

ที่มา : Eurachem (2014)

2.14.1 ความแม่นยำ (Accuracy)

เป็นความใกล้เคียงกันของค่าที่วัดได้ กับค่าจริงหรือค่าอ้างอิง ความแม่นยำของการวัดไม่ใช่ปริมาณที่เป็นตัวเลข สามารถหาความแม่นยำจากความคลาดเคลื่อนของการวัด หากความคลาดเคลื่อนน้อยแสดงว่ามีความแม่นยำมาก ความแม่นยำเป็นคุณสมบัติหลักที่สำคัญของการวิเคราะห์ ที่ขึ้นอยู่กับ ความเที่ยง ความคงทนและสภาพไวของกระบวนการวัด การทดสอบความแม่นยำต้องมีค่าจริงหรือค่าอ้างอิง ในการเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อน ซึ่งค่าอ้างอิงที่มีความน่าเชื่อถือต้องมีความสอบกลับได้ ถึงมาตรฐานการวัดหน่วยเอสไอ (SI Unit) การทดสอบความแม่นยำทำได้ 2 วิธีคือ

2.14.1.1 ทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุอ้างอิง (Reference Material, RM) หรือ วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material, CRM) ซึ่งสามารถสอบกลับไปยังระบบมาตรฐานสากล SI unit ได้ และอีกวิธีโดยการทดสอบตัวอย่างเทียบกับวิธีอื่นที่อ้างอิงได้ และเปรียบเทียบผลโดยใช้หลักทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.1.2 การตรวจสอบค่าการกลับคืน (recovery test) กรณีไม่มีวัสดุอ้างอิงการตรวจสอบความแม่นยำให้ทำโดยการเติมสารมาตรฐาน และทราบค่าที่แน่นอน ปริมาณน้อยๆลงในตัวอย่าง (spike /fortified sample) นำไปทดสอบและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน (% recovery) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1 จัดเตรียมตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ (matrix blank) โดยตัวอย่างนี้จะต้องไม่ปนเปื้อน หรือเจือปนสารที่ต้องการวิเคราะห์

2 นำตัวอย่าง (matrix blank) เติมสารมาตรฐานที่ต้องการวิเคราะห์ (fortified sample) ที่มีความเข้มข้นภายใต้ช่วงของการทดสอบอย่างน้อย 3 ความเข้มข้น ความเข้มข้นละอย่างน้อย 7 ซ้ำ แล้วจึงวิเคราะห์ตามขั้นตอนทั้งหมด

3 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืนดังสมการที่ 2.1 การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืน ใช้เกณฑ์การยอมรับตาม AOAC (2016) ตามตารางที่ 2.12

ค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืน = $\frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้} - \text{ค่าจากตัวอย่าง (matrix blank)}}{\text{ค่าที่เติมลงในตัวอย่าง}}$ สมการที่ 2.1

ตารางที่ 2.12 เกณฑ์กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืนในระดับความเข้มข้นต่างๆ

Analyte, %	Mass fraction (C)	Unit	Mean recovery, %
100	1	100%	98-102
10	10 ⁻¹	10%	
1	10 ⁻²	1%	97-103
0.1	10 ⁻³	0.1%	95-105
0.001	10 ⁻⁴	100 ppm (mg/kg)	90-107
0.0001	10 ⁻⁵	10 ppm (mg/kg)	80-110
0.00001	10 ⁻⁶	1 ppm (mg/kg)	
0.000001	10 ⁻⁷	100 ppb (µg/kg)	
0.0000001	10 ⁻⁸	10 ppb (µg/kg)	60-115
0.00000001	10 ⁻⁹	1 ppb (µg/kg)	40-120

ที่มา : AOAC (2016)

2.14.2 ความเที่ยงตรง (Precision)

เป็นการแสดงความใกล้เคียงกัน ของผลการวัดที่วัดตัวอย่างเดียวกันซ้ำ ภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด ความเที่ยงของการวัด แสดงด้วยตัวเลขของการวัดความไม่เที่ยง เช่น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ความแปรปรวน (Variance, s^2) สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation, RSD) และพิสัย (range, R) การทดลองทางห้องปฏิบัติการเพื่อหาความเที่ยงของวิธี ใช้ในการวัดสภาวะในการวัดตัวอย่าง 3 สภาวะดังนี้

2.14.2.1 การวัดภายใต้สภาวะเดิมทั้งหมด (Repeatability condition) ได้แก่ ตัวอย่าง เครื่องมือ สารเคมี วิธีทดสอบ ผู้ทดสอบ และช่วงเวลาในการทดสอบสั้นที่สุดเท่าที่ทำได้

2.14.2.2 การวัดภายใต้สภาวะในห้องปฏิบัติการเดิม ในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจเปลี่ยนสภาวะการวัดบางอย่าง (Intermediate precision condition) ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้ในสภาวะการทำงานจริง เช่น ผู้ทดสอบ เครื่องมือ สารเคมี และสภาวะของห้องทดสอบ

2.14.2.3 การวัดในสถานที่ต่างห้องปฏิบัติการ (Reproducibility condition) เป็นการทดสอบความเที่ยงที่ใช้เป็นตัวแทนของวิธีทดสอบ โดยใช้ผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการ

เกณฑ์การยอมรับความเที่ยง ประเมินจากการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จาก Horwitz's equation และ HORRAT (Horwitz ration) ตามที่ระบุใน AOAC (AOAC, 2016) ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 เกณฑ์กำหนด Repeatability (RSD_r) และ Reproducibility (RSD_R) ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Analyte, %	Mass fraction (C)	Unit	RSD_r , %	RSD_R , %
100	1	100%	1.3	2
10	10^{-1}	10%	1.9	3
1	10^{-2}	1%	2.7	4
0.1	10^{-3}	0.1%	3.7	6
0.001	10^{-4}	100 ppm (mg/kg)	5.3	8
0.0001	10^{-5}	10 ppm (mg/kg)	7.3	11
0.00001	10^{-6}	1 ppm (mg/kg)	11	16
0.000001	10^{-7}	100 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	15	22
0.0000001	10^{-8}	10 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	21	32
0.00000001	10^{-9}	1 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	30	45

ที่มา : AOAC (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection , LOD)

ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ แต่ไม่สามารถแสดงปริมาณได้อย่างมีความแม่นยำ ในกรณีทดสอบสารปริมาณน้อย มีรายงานผลว่า ตรวจไม่พบ จำเป็นต้องรายงานค่าขีดจำกัดในการตรวจพบด้วย ขีดจำกัดในการตรวจพบเป็นสมบัติของการวัดที่แสดงความสามารถของวิธีในการตรวจวัดมีความมั่นใจร้อยละ 99 ว่าสัญญาณที่ตรวจพบเป็นสัญญาณที่มาจากสารที่วัด

2.14.4 ขีดจำกัดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ)

ปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดเชิงปริมาณได้อย่างมีความแม่นยำและความเที่ยง มีค่าความไม่แน่นอนของการวัดอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ ขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณเป็นคุณสมบัติของการวัดที่แสดงความสามารถของวิธีในการรายงานปริมาณที่ตรวจวัดได้โดยมีความมั่นใจว่า มีความเที่ยง ความแม่นยำและค่าความไม่แน่นอนของการวัดอยู่ในเกณฑ์ยอมรับโดยทั่วไป LOQ จะมีค่าเป็น 3 เท่าของ LOD หรือประมาณ 10 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.14.5 ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linearity)

เป็นคุณสมบัติของวิธี แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นสัดส่วนโดยตรง ระหว่างปริมาณที่ทราบค่ากับปริมาณจากการวัด จำเป็นต้องตรวจสอบสำหรับวิธีวิเคราะห์ ที่ใช้ในการทดสอบสารที่สนใจมีความเข้มข้น หรือปริมาณเป็นช่วงกว้าง ในการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ ต้องตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น 2 กรณี ดังนี้

2.14.5.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของเครื่องมือ (instrument linearity) ต้องทำในกรณีที่ใช้เครื่องมือวัด โดยใช้กราฟมาตรฐานในการหาปริมาณ โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและสัญญาณจากเครื่องมือตามทฤษฎีเป็นเส้นตรง

2.14.5.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของวิธีวิเคราะห์ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารมาตรฐานที่วัด ทดสอบโดยใช้วัดสควอ์อิง/วัดคู่อิงรับรองที่มีเนื้อสารเดียว หรือใกล้เคียงกับตัวอย่าง ความสัมพันธ์เชิงเส้นไม่ใช่คุณสมบัติเชิงปริมาณ หากผลการทดสอบมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง (non linearity) อาจสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้สมการชนิดอื่นหรือกำหนดช่วงการวัดที่แคบลง ที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

2.14.6 ช่วงการใช้งาน (Working Range)

ช่วงการวัด หรือช่วงใช้งาน เป็นคุณสมบัติของวิธีที่แสดงถึงความสามารถในการวัดตัวอย่างในช่วงความเข้มข้น หรือปริมาณสารสนใจได้ โดยมีความถูกต้อง ความเที่ยง และค่าความไม่แน่นอนของการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยห้องปฏิบัติการต้องดำเนินการตรวจสอบความแม่นยำและความเที่ยงอย่างน้อย 3 ความเข้มข้น และครอบคลุมช่วงการใช้งาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.14.6.1 กำหนดช่วงความเข้มข้นของสารที่ต้องการทดสอบ

2.14.6.2 วิเคราะห์สารที่ทดสอบ ในช่วงที่ทดสอบอย่างน้อย 5 ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.6.3 นำผลที่วิเคราะห์ได้มาพลอตกราฟเส้นตรง ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ และพื้นที่ใต้กราฟจากนั้นพิจารณาช่วงที่เป็นเส้นตรง โดยต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มากกว่า 0.995 (AOAC. 2016)

2.14.7 สภาพไว (Sensitivity)

เป็นคุณสมบัติของวิธี ที่แสดงถึงความสามารถในการตรวจวัดสารที่วิเคราะห์ใน 2 ลักษณะ คือปริมาณต่ำสุดที่วัดได้ (LOD) และขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) และความสามารถในการแยกสารที่วิเคราะห์ ที่มีปริมาณแตกต่างกันน้อยๆ ได้

2.14.8 ความจำเพาะ (Selectivity & Specificity)

ความสามารถของวิธีในการวัดตัวอย่างที่มีสารอื่นเจือปน ที่ยังคงให้ความแม่นยำ ความเที่ยง และค่าความไม่แน่นอนของการวัดอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ หากวิธีสามารถวัดได้โดยที่ไม่มีการรบกวนจากสารเจือปนทุกระดับ แสดงว่าวิธีนั้นมีความจำเพาะ (specificity) ตัวอย่างการอธิบายเกี่ยวกับความสามารถในการเลือกของวิธีคือ วิธีที่วิเคราะห์สารสนใจตัวเดียวกันในตัวอย่างที่มีเนื้อสารต่างกัน ย่อมให้ผลแตกต่างกัน เช่นวิธีหนึ่งเหมาะสมกับการวิเคราะห์ยาฆ่าแมลงในตัวยาน แต่ไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ยาฆ่าแมลงในดิน

2.14.9 ความคงทนต่อวิธีการวิเคราะห์ (Robustness /Ruggedness)

เป็นความคงทนของวิธีวิเคราะห์ ต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยที่อาจเกิดขึ้นในสภาวะการวิเคราะห์ปกติ เช่น ปริมาณ เวลา อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด – ด่าง เป็นต้น เพื่อกำหนดช่วงของการทดสอบที่มีผลต่อการทดสอบในขณะที่ปฏิบัติงาน ความคงทนเป็นคุณสมบัติของการวิเคราะห์ที่ช่วยให้ผลการวัดมีคุณภาพ เนื่องจากสามารถป้องกันหรือจัดการต่อปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวอย่างเหมาะสม

2.15 การชี้แจงความเฉพาะเจาะจงของสารที่ต้องการตรวจวัด

เมื่อพิจารณาจากแมสสเปกตรัมจะบ่งบอกถึงลักษณะการแตกตัวของโมเลกุลของไอออนได้ การแตกตัวของโมเลกุล (fragmentation pattern) เป็นลักษณะเฉพาะของสารประกอบแต่ละชนิด รูปแบบการแตกตัวนี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับสารแต่ละชนิดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ โครงสร้างของโมเลกุล เวลาระหว่างการเกิด และการตรวจพบไอออน แมสสเปกตรัมจึงเป็นรูปแบบการแตกตัวของสารที่อยู่ในสภาวะมีพลังงาน และช่วงเวลาที่กำหนด จำนวนไอออนที่ใช้ในการยืนยันชนิดสารตามคำแนะนำของ SATE/11813/2017 (ตารางที่ 2.14)

ตารางที่ 2.14 การยืนยันไอออนของชนิดสารที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยแมสสเปกโทรเมตรีชนิดต่างๆ

MS detector/Characteristics		Acquisition	Requirements for identification	
Resolution	Typical systems (examples)		Minimum number of ions	other
Unit mass resolution	Single MS quadrupole, ion trap, TOF	Full scan, limited m/z range, SIM	3 ions	S/N $\geq 3^d$ Analyte peaks from both product ions in the extracted ion chromatograms must fully overlap.
	MS/MS Triple quadrupole, ion trap, Q-trap, Q-TOF, Q-Orbitrap	Selected or multiple reaction monitoring (SRM, MRM), mass resolution for precursor-ion isolation equal to or better than unit mass resolution	2 product ions	Sion ratio from sample extracts should be within $\pm 30\%$ (relative) of average of calibration standards from same sequence
Accurate mass measurement	High resolution MS: (Q-)TOF (Q-) Orbitrap FT-ICR-MS Sector MS	Full scan, limited m/z range, SIM, fragmentation with or without precursor-ion selection, or combinations thereof	2 ion with mass accuracy ≤ 5 ppm ^{a,b,c}	S/N $\geq 3^d$ Analyte peaks from precursor and/or product ion (s) in the extracted ion chromatograms must fully overlap.

^{a)} preferably including the molecular ion, (de)protonated molecule or adduct ion

^{b)} including at least one fragment ion

^{c)} < 1 mDa for $m/z < 200$

^{d)} in case noise is absent, a signal should be present in at least 5 subsequent scans

ที่มา : คัดแปลงจาก SANTE (2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 ปริมาณตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการเตรียมตัวอย่างจากปริมาณ 1 กิโลกรัม โดยการปั่นให้ละเอียด ตามข้อแนะนำของ COMMISSION DIRECTIVE 2002/63/EC, 2002 (ภาคผนวก ง)

2.17 การเก็บรักษาสภาพตัวอย่าง

ในกรณีที่ห้องปฏิบัติการไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันที ให้เก็บรักษาสภาพเพื่อป้องกันการสลายตัวของสารดังนี้ (SANTE, 2017)

2.17.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สดให้เก็บรักษาในสภาพแช่เย็นในตู้เย็น ห้ามเกิน 5 วัน

2.17.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้งให้เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

2.17.3 ในกรณีที่คาดว่า การวิเคราะห์จะนานเกิน 2 สัปดาห์ สามารถเตรียมตัวอย่างแล้วเก็บรักษาสภาพไว้ในตู้แช่แข็ง (≤ -20 องศาเซลเซียส)

2.18 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของวิธีวิเคราะห์ (Uncertainty in Analytical Measurement)

เป็นพารามิเตอร์ ที่แสดงลักษณะการกระจายของค่าที่วัด ซึ่งสามารถบอกค่าของสิ่งที่ถูกวัดอย่างสมเหตุสมผล พารามิเตอร์ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือผลคูณของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือช่วงความเชื่อมั่น ความไม่แน่นอนของการวัดเป็นพารามิเตอร์ ที่ต้องรายงานพร้อมกับผลการวัด เพื่อแสดงถึงช่วงของปริมาณที่วัด และมีเหตุผลที่เชื่อได้ว่าปริมาณของสิ่งที่ถูกวัดอยู่ภายใต้ค่าที่ประเมิน ด้วยความเชื่อมั่นที่แสดงไว้ โดยทั่วไปแสดงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าความไม่แน่นอนของการวัดยังแสดงถึงความสามารถของห้องปฏิบัติการ ดังนั้นห้องปฏิบัติการต้องประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดอย่างครบถ้วนตามหลักวิชาการ

2.19 แหล่งของความไม่แน่นอน

แหล่งของความไม่แน่นอนแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (Eurachem, 2012)

2.19.1 ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error)

เป็นแหล่งของความไม่แน่นอน ที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างกัน ของค่าที่ได้จากการวัดแต่ละครั้ง เป็นเหตุให้ข้อมูลเกิดการกระจายตัวรอบ ๆ ค่าเฉลี่ย โดยไม่สามารถควบคุมได้ และหลีกเลี่ยงไม่ได้ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม คือ ผลสะท้อนของการวัดซ้ำ ซึ่งแสดงในรูปแบบ precision หรือ repeatability ซึ่งสามารถทำให้ลดลงได้ จากการวัดซ้ำ (จัดเป็นความไม่แน่นอน type A)

2.19.2 ความคลาดเคลื่อนของระบบ (systematic error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแหล่งความไม่แน่นอนที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ในการวัด มีขนาดเท่าเดิมเมื่อทำด้วยวิธีการเดิม ไม่สามารถทำให้ปริมาณลดลงได้ด้วยการวัดซ้ำ (จัดเป็นความไม่แน่นอน type B)

2.20 แนวทางการประเมินค่าความไม่แน่นอน

แนวทางการประเมินค่าความไม่แน่นอนพิจารณาเลือกตามความเหมาะสมคำนึงถึงความไม่แน่นอนทุกแหล่งย่อย รายละเอียดตาม Eurachem/Citac, 2012 ดังภาพที่ 2.19



2.20.1 การระบุสิ่งที่ต้องวัด (Specification of the Measurand)

คือ การระบุว่าสิ่งที่ต้องการวัด/ทดสอบคืออะไร เช่น หน่วยของการวัด

2.20.1.1 เขียนแผนภูมิ หรือขั้นตอนการทดสอบอย่างย่อ ที่แสดงให้เห็นปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการวัดค่า

2.20.1.2 กำหนดสูตรในการคำนวณสิ่งที่ต้องการวัด หรือสมการสุดท้ายที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ หรือสูตรที่วิธีการกำหนดไว้เฉพาะ

2.20.2 หาที่มาของแหล่งความไม่แน่นอนของการวัด (Identifying uncertainty sources)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพิจารณาจากแหล่งความไม่แน่นอนในสูตรการคำนวณ ให้ครอบคลุมทุกแหล่งเช่น เครื่องมือ อุปกรณ์ ความบริสุทธิ์ของสาร แล้วจัดทำแผนภูมิแก๊งปลา (Cause and effect diagram) จากสูตร โดยเขียนผลลัพธ์เป็นแกน ส่วนพารามิเตอร์ต่างๆในสูตรเป็นแก๊งปลาหลัก และหาแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องในแต่ละแก๊งปลาหลัก แยกออกเป็นแก๊งปลาย่อย

2.20.3 หาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละแหล่ง (Quantifying uncertainty)

โดยหาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละแก๊งปลาย่อย ในแก๊งปลาหลัก และรวมค่าความไม่แน่นอนรวมของแต่ละแก๊งปลาหลัก และแปลงค่าความไม่แน่นอนแต่ละแหล่ง เป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard uncertainty, U_{std}) โดยนำค่าความไม่แน่นอนที่ได้ หารด้วยตัวหาร (divisor, d) ซึ่งขึ้นอยู่กับแบบของการกระจายตัว (distribution) และค่าความเชื่อมั่น (confidence) ของการวัด ดังตารางที่ 2.16 กรณีไม่ระบุช่วงความเชื่อมั่น และไม่ทราบรูปแบบการกระจายตัว ให้ถือเป็นการกระจายตัวแบบสี่เหลี่ยม คือทุกค่ามีโอกาสเกิดได้เท่ากันตลอดช่วง หารด้วยตัวหารที่มีค่าใหญ่คือ $\sqrt{3}$ (ตารางที่ 2.15)

ตารางที่ 2.15 ตัวหาร (divisor, d) ที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ

แหล่งของความไม่แน่นอน	ระดับความเชื่อมั่น, % Distribution	ตัวหาร (divisor)
- การสอบเทียบเครื่องมือและอุปกรณ์ทั่วไป	ที่ระบุความเชื่อมั่นที่ 99	3
- การตรวจสอบเครื่องมือ (performance test)	ที่ระบุความเชื่อมั่นที่ 95	2
- การสอบเทียบเครื่องมือและอุปกรณ์ทั่วไป	ที่ไม่ระบุระดับความเชื่อมั่น	$\sqrt{3}$
- ความบริสุทธิ์ของสารมาตรฐานที่ระบุเป็นช่วง	ให้ถือเป็นการกระจายตัวแบบสี่เหลี่ยม คือ ทุกค่ามีโอกาสเกิดได้เท่ากันตลอดช่วง	
- ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิ		
- ความไม่แน่นอนจากสเกลเครื่องมือวัดทั่วไป (resolution)		
- Tolerance ของเครื่องแก้ว		
- Resolution ของเครื่องแก้ว	กระจายตัวแบบสามเหลี่ยม	$\sqrt{6}$
- การวัด/ทดสอบซ้ำเพื่อหาความเที่ยง	ไม่ระบุระดับความเชื่อมั่น	1
- การตรวจสอบเครื่องมือ (performance test)		

2.20.4 รวมค่าความไม่แน่นอนจากแต่ละแหล่ง (Calculating the combined Uncertainty)

2.20.4.1 กรณีค่าความไม่แน่นอนในแต่ละแหล่งมีหน่วยเดียวกัน ให้นำ Standard

uncertainty มารวมกัน โดยใช้สูตรดังสมการที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_c = \sqrt{u_{a1}^2 + u_{a2}^2 + u_{b1}^2 + u_{b2}^2 + \dots + u_{bn}^2} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.3}$$

2.20.4.2 กรณีหน่วยต่างกัน ให้เปลี่ยนเป็นความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Uncertainty, U_{rsu}) โดยนำค่า Standard Uncertainty หาด้วยปริมาณ (quantity) ของ parameter นั้นก่อน แล้วจึงนำมารวมกันดังสมการที่ 2.4

$$\frac{\mu_c(P_{op})}{P_{op}} = \sqrt{u_{rsu1}^2 + u_{rsu2}^2 + \dots + u_{rsun}^2} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.4}$$

2.20.4.3 นำค่าความไม่แน่นอนจากแต่ละแหล่ง มาเขียนกราฟแท่ง (Histogram) โดยให้ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนอยู่บนแกน y และ Relative Standard Uncertainty อยู่บนแกน x เพื่อใช้ในการพิจารณาปรับปรุง ค่าความไม่แน่นอนให้เล็กลง หรือใช้ในการตัดค่าที่มีขนาดเล็กมากออกไป การเขียนกราฟจะทำให้เห็นภาพความไม่แน่นอนที่ชัดเจน ทำให้ชี้บ่งองค์ประกอบของความไม่แน่นอนได้ องค์ประกอบที่มีค่าน้อยกว่า 1/5 ถึง 1/3 ของความไม่แน่นอนรวม จะไม่มีผลกระทบต่อความไม่แน่นอนรวม

2.20.5 ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty, μ)

เพื่อความเชื่อมั่น การขยายค่าความไม่แน่นอนรวม โดยคูณด้วยค่า coverage factor (k) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ให้ใช้ค่า $k = 2$ แต่ถ้าในการทดสอบทำซ้ำน้อยกว่า 7 ซ้ำให้ใช้ค่า k ตามตารางที่ T-Distribution table (t-table) (ตารางที่ 2.16) สูตรคำนวณดังสมการที่ 2.5

$$U_{exp} = 2 \times u(U_c) \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2.5}$$

เมื่อ	U_c	=	ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม
	u	=	ความไม่แน่นอนมาตรฐานของแต่ละปัจจัย
	U_{expand}	=	ความไม่แน่นอนขยาย
	k	=	coverage factor

ตารางที่ 2.16 Student's *t* for 95% confidence (2-tailed)

Degrees of freedom <i>v</i>	<i>t</i> -test
1	12.7
2	4.3
3	3.2
4	2.8
5	2.6
6	2.4
8	2.3
10	2.2
14	2.1
28	2

ที่มา : <https://people.richland.edu/james/lecture/m170/tbl-t.html>.

2.20.6 การรายงานค่าความไม่แน่นอนของผลการวิเคราะห์ทดสอบ (Reporting Uncertainty)

ตามข้อกำหนดของ ISO/IEC17025 : 2005 ข้อ 5.10.3.1 (c) ระบุว่า ควรรายงานค่าความไม่แน่นอน เมื่อค่าความไม่แน่นอนมีผลเกี่ยวข้องกับความต้องการ ต้องใช้ได้ หรือการนำผลการทดสอบไปใช้ ความต้องการของลูกค้า หรือเมื่อค่าความไม่แน่นอนมีผลต่อการตัดสินใจ ว่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ ในการรายงานค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบมีหลักเกณฑ์ดังนี้

2.20.6.1 เมื่อผลการทดสอบรายงานค่าเป็นตัวเลข ให้รายงานค่าความไม่แน่นอนในรูปแบบค่าความไม่แน่นอนขยาย ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยประมาณ

2.20.6.2 การรายงานค่าความไม่แน่นอน ควรหลีกเลี่ยงการใช้จำนวนทศนิยมที่มากเกินไป ส่วนใหญ่เลขหลังจุดทศนิยม (นอกจากค่าศูนย์) นิยมรายงานตัวเลขไม่เกิน 2 ตัว เช่น ± 0.018 , ± 0.0028 เป็นต้น

2.20.6.3 หากผลการทดสอบไม่ได้แสดงค่าเป็นตัวเลข เช่น ตรวจพบ ไม่พบ ไม่ต้องประเมินค่าความไม่แน่นอน

2.20.6.4 ผลการทดสอบที่มีค่าความเข้มข้น ที่น้อยกว่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ไม่ต้องประเมินค่าความไม่แน่นอน

บทที่ 3

เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 พริกชี้ฟ้าสดปริมาณ 2 กิโลกรัมที่ไม่พบสารตกค้างกำจัดศัตรูพืช คลอร์ไพริฟอส โพรไทโอฟอส โพรพิโนฟอส และอีไทออน (Matrix blank)

3.1.2 พริกชี้ฟ้าเขียว พริกชี้ฟ้าแดง พริกจินดาเขียว พริกจินดาแดง พริกหนุ่ม และ พริกขี้หนูสวน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์หลักสำหรับการวิเคราะห์

3.2.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี (Trace 1310, Thermouest, USA)

3.2.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (MS204TS, Mettler Toledo, Switzerland)

3.2.3 เครื่องหมุนเหวี่ยงตัวอย่าง (5702, Eppendorf, Germany)

3.2.4 เครื่องระเหยแห้ง (MD200, China)

3.2.5 เครื่องบดตัวอย่าง (GM200, Retsch, Germany)

3.2.6 ไมโครปีเปตขนาด 10 - 100 ไมโครลิตร (CU54095, BIOHIT Proline, Finland)

3.2.7 ไมโครปีเปตขนาด 100 - 1000 ไมโครลิตร (CU54133, BIOHIT Proline, Finland)

3.2.8 ไมโครปีเปตขนาด 1000 - 5000 ไมโครลิตร (CU77274, BIOHIT Proline, Finland)

3.3 สารเคมีและรีเอเจนท์

3.3.1 Acetic acid (Glacial, Reagent aldehyde Free, J.T.Baker, USA)

3.3.2 Acetonitrile (LC-MS, J.T.Baker, USA)

3.3.4 Ethyl Acetate (Ultra Resi-Analyzed, J.T.Baker, USA)

3.3.3 Hexane (95% n-hexane HPLC&UHPLC&Spectrophotometry, J.T.Baker, USA)

3.3.4 Methanol (Ultra Resi-Analyzed, J.T.Baker, USA)

3.3.5 Costom Pesticide Standard 100 µg/ml in methanol 4 Components (Scientific, USA)

3.3.5.1 Chlopyrifos Cas No.2921-88-2

3.3.5.2 Profenofos Cas No.41198-08-7

3.3.5.3 Prothiofos Cas No.34643-46-4

3.3.5.4 Ethion Cas No.563-12-2

3.3.6 Single Pesticide Standard (Scientific, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.1 Profenofos Cas No. 41198-08-7 Purity% (GC/MS) 99.2 Prepared concentration (µg/ml) 100.8 Certified analyte concentration (µg/ml) 100.0

3.3.6.2 Tokuthion Cas No. 34643-46-4 Purity% (GC/MS) 99.1 Prepared concentration (µg/ml) 100.8 Certified analyte concentration (µg/ml) 99.9

3.3.6.3 Ethion Cas No. 563-12-2 Purity% (GC/MS) 98.4 Prepared concentration (µg/ml) 100.3 Certified analyte concentration (µg/ml) 98.7

3.3.6.4 Dursban Cas No. 2921-88-2 Purity% (GC/MS) 99.9 Prepared concentration (µg/ml) 100.1 Certified analyte concentration (µg/ml) 100.0

3.3.7 QuEChERS (Scientific, USA)

3.3.7.1 50 ml PP Cent tubes w/6g MgSO₄, 1.5g Sodium Acetate, 25. Pk250

3.3.7.2 15CT w1200 MgSO₄ 400 PSA 400 C18 400 GCB 50pk. PK50

3.3.8 CRM Code TRM-S-5019 Lot No.250914-4 (NIMT, Thailand)

3.3.9 Triphenylphosphate (Germany)

3.4 วิธีการวิเคราะห์

3.4.1 กำหนดสภาวะเครื่อง GC/MS

3.4.1.1 Inlet: spit less at 250°C

3.4.1.2 Oven: Initial temp. 70°C hold 14 min post-run 2 min bat 260°C

3.4.1.3 Analytical column: DB-35 ms, 30 m x 0.32 mm i.d. x 0.25 µm plus gap 5 m

3.4.1.4 Column flow: constant pressure at 11.0 psi

3.4.1.5 Detector: MS (single quadrupole) with Scelected

3.4.2 รายการประเมินการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 รายการประเมินการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช
กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด

รายการ	วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์การยอมรับ
Specificity	เวลาที่สารแต่ละชนิดใช้ผ่านคอลัมน์ (RT), แมสสเปกตรัมหลักและแมสสเปกตรัม ยืนยัน 2 ไอออน	แมสสเปกตรัมหลัก และแมสสเปกตรัมยืนยัน รวม 3 ไอออน
Blank	วิเคราะห์ Method Blank วิเคราะห์ Sample Blank	ไม่พบพีคบริเวณของ คลอร์ไพริฟอส, โพรไทโอฟอส, โพรฟิโน ฟอส และอีไทออน
Linearity	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	$R^2 \geq 0.995$
Working range		
Limit of detection (LOD)	เติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง : วิเคราะห์ % RSD	% RSD _r < 15 HORRAT < 2
Limit of quantitation (LOQ)	Matrix-Matched Calibration Curve : วิเคราะห์ % RSD วิเคราะห์ % Recovery	% RSD _r < 15 % Recovery 80-110 HORRAT < 2
Accuracy	เติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง	% Recovery 80-110%
Precision	เติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง	% RSD _r < 15 HORRAT < 2
Trueness (CRM)	วิเคราะห์ CRM ทดสอบความชำนาญ (PT)	% Recovery 80-110 Z-score ± 2
Robustness & Ruggedness (RSD _R)	เติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง : วิเคราะห์ % RSD _R	% RSD _R < 22 HORRAT < 2
Uncertainty (U)	EURACHEM 2012	

3.4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Intermediate standard solution mixed

การเตรียม Intermediate standard solution mixed 4 ชนิด ความเข้มข้น 5.0, และ 10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จาก Stock standard solution ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เจือจางสารละลายมาตรฐาน Stock standard solution ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ด้วยเมทานอล ความบริสุทธิ์ 99.8 % ให้ได้ความเข้มข้นต่างๆดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Intermediate standard solution mixed

สารละลายมาตรฐานที่ต้องการเตรียม		สารละลาย Stock standard solution mixed		สารละลายที่ใช้ปรับปริมาตร
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาตร (ไมโครลิตร)	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาตร (ไมโครลิตร)	
5	1000	100	50	เมธานอลความบริสุทธิ์ 99.8 %
10	1000	100	100	

3.4.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Standard solution mixed

เตรียม Standard solution mixed ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจาก Intermediate standard solution ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เจือจางสารละลายมาตรฐาน ด้วยสารสกัดตัวอย่าง blank ให้ได้ความเข้มข้นต่างๆดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Standard solution mixed

สารละลายมาตรฐานที่ต้องการเตรียม		สารละลาย Intermediate standard solution mixed		สารละลายที่ใช้ปรับปริมาตร
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาตร (ไมโครลิตร)	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาตร (ไมโครลิตร)	
0.1	1000	5	20	สารสกัดตัวอย่าง blank
0.2	1000	5	40	
0.3	1000	5	60	
0.5	1000	5	100	
1.0	1000	5	200	
2.0	1000	5	400	
5.0	1000	10	500	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Spiked standard solution mixed

เตรียม Spiked standard solution mixed ความเข้มข้น 0.1, 0.3, และ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจาก Intermediate standard solution ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เจือจางสารละลายมาตรฐานด้วยเมธานอลความบริสุทธิ์ 99.8 % ให้ได้ความเข้มข้นต่างๆดังตารางที่ 3.4

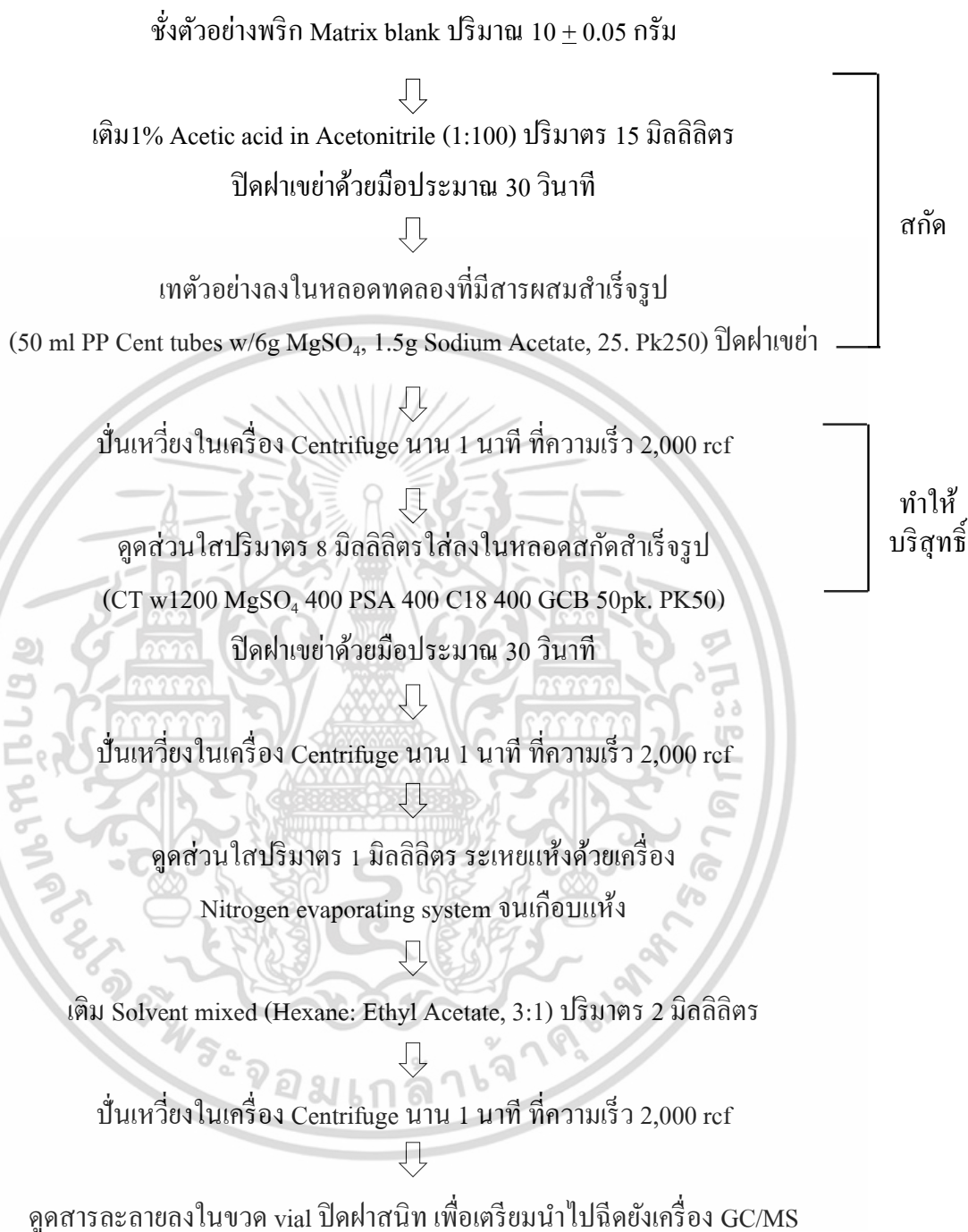
ตารางที่ 3.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Spiked standard solution mixed

สารละลายมาตรฐานที่ต้องการเตรียม		สารละลาย Spike standard solution mixed		สารละลายที่ใช้ปรับปริมาตร
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาตร (ไมโครลิตร)	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาตร (ไมโครลิตร)	
0.1	1000	5	20	เมธานอลความบริสุทธิ์ 99.8 %
0.3	1000	5	60	
0.5	1000	5	100	

3.4.6 ความจำเพาะของวิธีทดสอบ (Specificity)

วิเคราะห์สารมาตรฐานผสม ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ด้วยเครื่อง GC/MS วิเคราะห์พีคของสารที่ได้ ควบคุมกับข้อมูลแมสสเปกตรัมของสาร ที่มีอยู่ในตัวเครื่อง (mass spectrum library database) คัดเลือกแมสสเปกตรัมที่ให้ค่าชัดเจน เพื่อใช้เป็นไอออนสำหรับการยืนยันชนิดสารแต่ละสาร (mass confirm) (ภาคผนวก จ)

3.4.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างพริก



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ Matrix Blank, สารสกัดตัวอย่าง Blank และตัวอย่างพริก

3.4.8 วิเคราะห์ Method blank

Method blank สกัดตามวิธีการสกัดตัวอย่างข้อ 3.4.7 แต่ไม่มีตัวอย่าง นำสารละลายที่ได้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS การวิเคราะห์ Method blank หรือ Reagent blank เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณทั้งหมดที่เกิดขึ้น เป็นสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ ไม่ใช่จาก reagent หรือจากสิ่งอื่นๆที่ใช้ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ ประโยชน์ของรีเอเจนต์เบลนค์ หรือเบลนค์ของวิธีทดสอบ เพื่อชี้บ่ง และแก้ไขความคลาดเคลื่อนจากระบบ (systematic error) ที่มาจากความไม่บริสุทธิ์ของรีเอเจนต์ การปนเปื้อนจากเครื่องแก้ว หรือเครื่องมือ

3.4.9 วิเคราะห์ Matrix blank

สกัดตัวอย่างตามวิธีการสกัดข้อ 3.4.7 จำนวน 10 ซ้ำโดยใช้พริกจากข้อ 3.1.1 ที่ปั่นละเอียดแล้ว นำสารละลายที่ได้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC /MS การวิเคราะห์ Matrix blank สำหรับใช้สร้างกราฟมาตรฐาน

3.4.10 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

เตรียม Standard solution mixed ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.4 นำไปทดสอบตามวิธีการข้อ 3.4.7 นำผลไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆตามข้อกำหนดดังนี้ (ตารางที่ 3.5)

ตารางที่ 3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจวัด	ความเข้มข้นที่ต้องการ	จำนวน (ซ้ำ)
1. Matrix-Matched Calibration Curve	0.1	7
	0.2	7
	0.3	7
	0.5	7
	1.0	7
	2.0	7
	5.0	7
	2. ปริมาณต่ำสุดที่วิธีทดสอบสามารถตรวจพบได้เชิงคุณภาพ (LOD)	0.03
3. ปริมาณต่ำสุดที่วิธีทดสอบสามารถตรวจพบได้เชิงปริมาณ (LOQ)	0.1	7
	0.3	7
	0.5	7
4. Trueness	0.1	10
5. Robusness & Ruggedness	0.2	7
		(2 วัน)

3.4.11 การสร้างกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ (Matrix-Matched Calibration Curve) ทดสอบช่วงของการใช้งานและความเป็นเส้นตรง Linearity and Working range

ทดสอบ Standard solution mixed ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.4 ตามวิธีการข้อ 3.4.7 ระดับละ 7 ซ้ำ นำผลการวิเคราะห์ มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น และพื้นที่ใต้กราฟ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2)

3.4.12 หาขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) และหาขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) จากความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3.4.12.1 นำข้อมูลการวิเคราะห์จากข้อ 3.4.11 สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เพื่อหาค่าจุดตัดแกน Y (y-intercept) และคำนวณค่า LOD จากสมการที่ 3.1

$$\text{LOD} = \text{y-intercept} \times 3 \dots\dots\dots \text{สมการ 3.1}$$

3.4.12.2 คำนวณค่า LOQ จากสมการที่ 3.2

$$\text{LOQ} = \text{y-intercept} \times 10 \dots\dots\dots \text{สมการ 3.2}$$

3.4.13 การยืนยันค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) ของคลอโรไพริฟอส โพรไทโอฟอส โพรพิโนฟอส และอีไทออน

Spike standard solution mixed ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3, และ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.5 ปริมาตร 1000 ไมโครลิตร ลงใน Matrix blank ที่มีปริมาณ 10.0 ± 0.05 กรัม ความเข้มข้นละ 7 ซ้ำ นำค่าที่ได้มายืนยันความแม่นยำ และความเที่ยง โดยคำนวณจากค่าเปอร์เซ็นต์ของการกลับคืน และ HORRAT value

3.4.14 การทดสอบความแม่นยำและความเที่ยง (Accuracy and Precision)

นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของการคืนกลับ (% Recovery) และค่า HORRAT value

3.4.14.1 ค่าความแม่นยำ (Accuracy) คำนวณจากค่าเปอร์เซ็นต์ของการคืนกลับ (% Recovery) จากการทดสอบ Fortification sample ดังสมการที่ 3.3

$$\% \text{Recovery} = \left(\frac{C_d - C_o}{C_a} \right) \cdot 100 \dots\dots\dots \text{สมการ 3.3}$$

- เมื่อ C_d = ค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จาก fortification sample
มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- C_o = ค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จาก matrix blank มิลลิกรัม
ต่อกิโลกรัม
- C_a = ค่าความเข้มข้นของ fortification solution มิลลิกรัมต่อ
กิโลกรัม

3.4.14.2 ความเที่ยง คำนวณจากสมการ HORRAT (Horwitz'Ratio) (สมการที่ 3.4)

$$\text{HORRAT (HR)} = \frac{\text{Experimental RSD}}{\text{Predicted RSD}} \dots\dots\dots \text{สมการ 3.4}$$

เมื่อ Experimental RSD ได้จากการทดสอบ

Predicted RSD ได้สมการ Horwitz's Ratio

$$\text{RSD}_{\text{pre}} = 0.66 \cdot 2C^{(-0.1505)}$$

C = concentration ratio เช่น 1%, C = 1/100 = 10⁻² 1ppm, C = 1/10⁶ = 10⁻⁶

3.4.15 การทดสอบ Trueness

ทดสอบ Trueness และความเที่ยงของวิธีโดยการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material, CRM) ทำการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิง (TRM-S-5019, Lot No. 250914-4) ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 10 ซ้ำ ด้วยวิธีที่สร้างขึ้นและคำนวณค่าความแม่นยำและความเที่ยง โดยคำนวณจากค่าเปอร์เซ็นต์ของการกลับคืน (%Recovery) และ HORRAT value จากสมการที่ 3.3 และสมการที่ 3.4

3.4.16 การประเมินความคงทนต่อวิธีการวิเคราะห์ (Robustness /Ruggedness)

โดยการเติมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงใน matrix blank ที่มีปริมาณ 10.0 กรัม จำนวน 7 ซ้ำ วิเคราะห์ 2 วัน คำนวณเปอร์เซ็นต์ RSD_R และ ค่า HORRAT จากสมการที่ 3.4

3.4.17 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวิเคราะห์ (Uncertainty in Analytical Measurement)

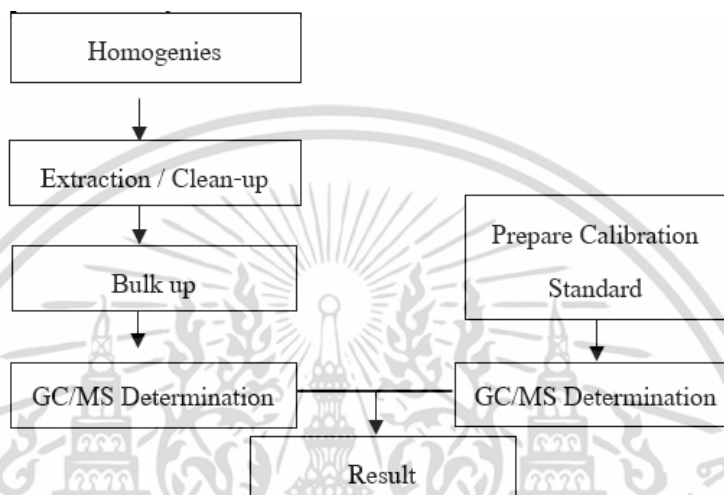
เพื่อศึกษาแหล่งที่มาและใช้เป็นขั้นตอนการประมาณค่าความไม่แน่นอนของวิธี

วิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิดคือ คลอร์ไพริฟอส โพรไทโอฟอส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรฟีนอซ และอีโทอน ในตัวอย่างพริกสด (พริกชี้ฟ้าเขียว, พริกชี้ฟ้าแดง, พริกจินดาเขียว, พริกจินดาแดง, พริกหนุ่ม, และพริกชี้หนูสวน)

3.4.17.1 การระบุสิ่งที่ต้องวัด (Specification of the Measurand)

1 เขียนแผนภูมิหรือขั้นตอนการทดสอบอย่างย่อ ที่แสดงให้เห็นปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการวัดค่า (ภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืชออร์กาโนฟอสเฟต 4 ชนิด

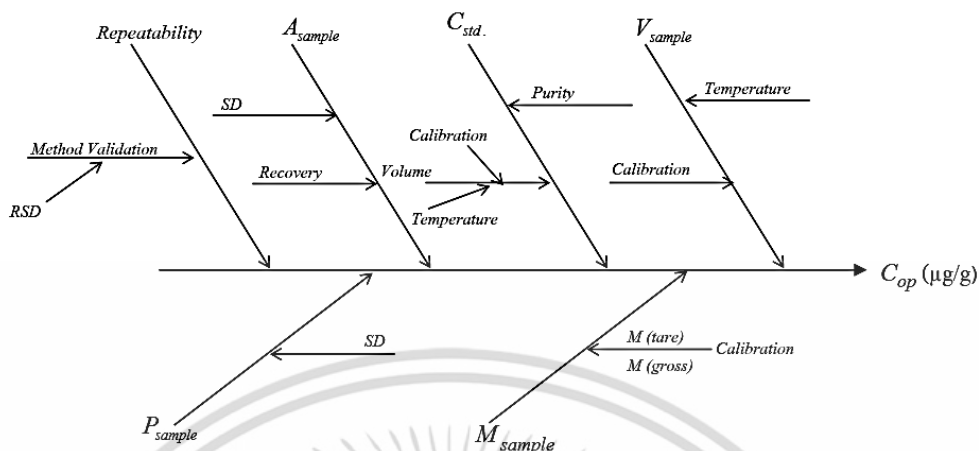
3.4.17.2 กำหนดสูตรในการคำนวณสิ่งที่ต้องการวัดดังสมการที่ 3.5

$$C_{op} = \frac{A_{sample} \times C_{std} \times V_{final}}{A_{std} \times M_{sample}} \dots\dots\dots \text{สมการ 3.5}$$

- เมื่อ
- C_{op} ปริมาณของสารออร์กาโนฟอสเฟตในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
 - C_{std} ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
 - M_{sample} น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
 - V_{final} ปริมาตรสุดท้ายของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 - A_{sample} พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง (counts x min)
 - A_{std} พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐาน (counts x min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.17.3 หาที่มาของแหล่งความไม่แน่นอนของการวัด (Identifying uncertainty sources)



ภาพที่ 3.3 แหล่งความไม่แน่นอนของการวัด (Identifying uncertainty sources)

เมื่อ C_{op}	ปริมาณของสารออร์กาโนฟอสเฟสในตัวอย่าง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
V_{sample}	การใช้ปริมาตรระหว่างการวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)
$C_{Std.}$	ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
A_{sample}	ความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ (เปอร์เซ็นต์)
Repeatability	ค่าจาก Method Validation
M_{sample}	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
P_{sample}	ค่าความเที่ยงของผลการวิเคราะห์
Temperature	ความไม่แน่นอนจากการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิห้อง
Calibration	ค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบ
Purity	ค่าความบริสุทธิ์ของสารเคมี
Volume	ค่าจากการปรับปริมาตร

3.4.17.4 หาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละแหล่ง (Quantifying uncertainty components)

โดยหาความไม่แน่นอนของแต่ละก้างปลาย่อยในก้างปลาหลักและรวมค่าความไม่แน่นอนรวมของแต่ละก้างปลาหลักเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard uncertainty, U_{std}) โดยนำค่าความไม่แน่นอนที่ได้หารด้วยตัวหาร (divisor, d) ซึ่งขึ้นอยู่กับแบบของการกระจายตัว (distribution) และค่าความเชื่อมั่น (confidence) ของการวัดดังตารางที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.17.5 รวมค่าความไม่แน่นอนจากแต่ละแหล่ง (Calculation the combined Standard Uncertainty) ดังสมการ 2.4

3.4.17.6 การขยายความไม่แน่นอนเพื่อความเชื่อมั่น (Expanded Uncertainty, U) โดยการคูณด้วยค่า coverage factor (k) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 90 % ($k=2$) ดังสมการ 2.5

3.4.17.7 ค่าความไม่แน่นอนจากแต่ละแหล่งมาเขียนกราฟแท่ง (Histogram) โดยให้ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนอยู่บนแกน y และ Relative Standard Uncertainty อยู่บนแกน x เพื่อใช้ในการพิจารณาปรับปรุงค่าความไม่แน่นอนให้เล็กลง หรือใช้ในการตัดค่าที่มีขนาดเล็กมากออกไป

3.4.17.8 การรายงานค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบ (Reporting Uncertainty) การรายงานค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบ ใช้หลักเกณฑ์ตามข้อกำหนดของ ISO/IEC17025 : 2005 ข้อ 5.10.3.1 (c) ตามข้อ 2.26.6 จะได้ค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นดังนี้ $X \pm U$

3.5 ทดสอบตัวอย่างพริกจากสถานที่ต่างๆ

3.5.1 สํารวจการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในพริกชี้ฟ้า พริกจินดา พริกหนุ่ม และพริกชี้หนูสวน โดยผู้เก็บตัวอย่าง พริกชี้ฟ้า พริกจินดา พริกชี้หนูสวน และพริกหนุ่มจากสถานที่ต่างๆ ปริมาณ แห่งละ 1 กิโลกรัม จำนวนทั้งหมด 240 ตัวอย่าง ในช่วงระยะเวลา 4 เดือน คือ ระหว่างเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2560 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2560 โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงดังนี้

3.5.1.1 ช่วงที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ.2560 ถึงวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ.2560 เก็บเฉพาะพริกชี้ฟ้าเขียวและพริกชี้ฟ้าแดงจากร้านค้าปลีก (Modern trade) 4 แห่ง ในเขตหนองจอก จำนวนแห่งละ 11 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างรวมเท่ากับ 44 ตัวอย่าง และวัตถุดิบในการผลิตสินค้าของโรงงาน A จำนวน 28 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมดที่เก็บในรอบแรกเท่ากับ 72 ตัวอย่าง แบ่งเป็นพริกชี้ฟ้าเขียว 32 ตัวอย่าง พริกชี้ฟ้าแดง 40 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 3.6

3.5.1.2 ช่วงที่ 2 เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2560 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2560 เก็บตัวอย่าง พริกชี้ฟ้าเขียว, พริกชี้ฟ้าแดง, พริกจินดาแดง, พริกจินดาเขียว, พริกหนุ่ม และพริกชี้หนูสวน จำนวนรวม 168 ตัวอย่าง แบ่งเป็นพริกชี้ฟ้าเขียว 28 ตัวอย่าง พริกชี้ฟ้าแดง 28 ตัวอย่าง พริกจินดาเขียว 28 ตัวอย่าง พริกจินดาแดง 28 ตัวอย่าง พริกชี้หนูสวน 28 ตัวอย่าง และพริกหนุ่ม 28 ตัวอย่าง รายละเอียดตัวอย่างพริกดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างพริกช่วงที่ 1 ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2560

เดือนที่เก็บตัวอย่าง	สถานที่เก็บ ตัวอย่าง	ชนิดพริก / จำนวน	
		พริกชี้ฟ้าเขียว	พริกชี้ฟ้าแดง
พฤษภาคม 2560	โรงงาน A	3	3
	ร้านค้าปลีก A	2	2
	ร้านค้าปลีก B	2	2
	ร้านค้าปลีก C	2	2
	ร้านค้าปลีก D	2	2
มิถุนายน 2560	โรงงาน A	6	6
	ร้านค้าปลีก A	3	3
	ร้านค้าปลีก B	3	3
	ร้านค้าปลีก C	2	4
	ร้านค้าปลีก D	2	4
กรกฎาคม 2560	โรงงาน A	1	1
	ร้านค้าปลีก A	-	1
	ร้านค้าปลีก B	-	1
	ร้านค้าปลีก C	-	1
	ร้านค้าปลีก D	-	1
สิงหาคม 2560	โรงงาน A	4	4
	ร้านค้าปลีก A	-	-
	ร้านค้าปลีก B	-	-
	ร้านค้าปลีก C	-	-
	ร้านค้าปลีก D	-	-
รวม		32	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างพริกช่วงที่ 2 ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2560

เดือน ที่เก็บตัวอย่าง	สถานที่เก็บ ตัวอย่าง	ชนิดพริก / จำนวน					
		พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริกขี้หนู สวน	พริกหนุ่ม
		เขียว	แดง	เขียว	แดง		
กรกฎาคม 2560	ร้านค้าปลีก A	1	1	1	1	1	1
	ร้านค้าปลีก B	1	1	1	1	1	1
	ร้านค้าปลีก C	1	1	1	1	1	1
	ร้านค้าปลีก D	1	1	1	1	1	1
	ตลาด A	1	1	1	1	1	1
	ตลาด B	1	1	1	1	1	1
	ตลาด C	1	1	1	1	1	1
สิงหาคม 2560	ร้านค้าปลีก A	3	3	3	3	3	3
	ร้านค้าปลีก B	3	3	3	3	3	3
	ร้านค้าปลีก C	3	3	3	3	3	3
	ร้านค้าปลีก D	3	3	3	3	3	3
	ตลาด A	3	3	3	3	3	3
	ตลาด B	3	3	3	3	3	3
	ตลาด C	3	3	3	3	3	3
รวม		28	28	28	28	28	28

3.5.1.3 นำตัวอย่างพริกมาบดละเอียด และนำไปทดสอบตามวิธีการข้อ 3.4.7 นำผลวิเคราะห์ที่ได้มารายงานสถานการณ์ การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 4 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

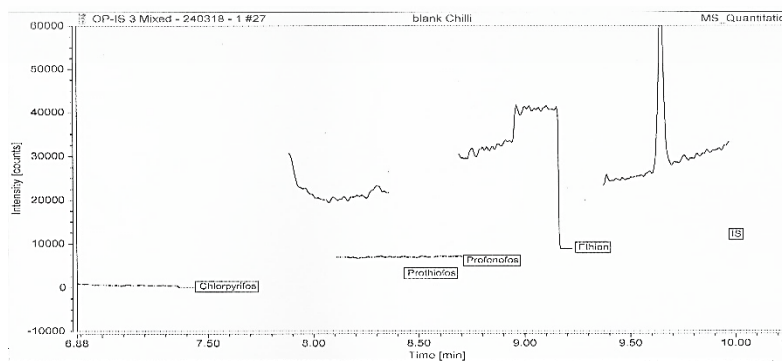
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืช กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพริกสดโดยวิธี QuEChERS ร่วมกับ GC/MS

การพิสูจน์ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืช กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (คลอร์ไพริฟอส, โพรไทโอฟอส, โพรฟีโนฟอส และอีไทออน) ในพริกสดโดยวิธี QuEChERS ร่วมกับ GC/MS ตามวิธีมาตรฐาน AOAC 2007.01 (2016) มีการกำหนดพารามิเตอร์ที่จะต้องตรวจสอบตามคำแนะนำของ EURACHEM (2014) ได้แก่ ความจำเพาะของวิธีทดสอบ (Specificity) หาได้จาก Retention time ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ และการกำหนด สเปกตรัมแมสไอออนสำหรับการยืนยันค่ามวลต่อประจุหลักที่ต้องการวิเคราะห์ (mass confirm) ด้วยแมสสเปกตรัมของสาร (Mass Spectrum) อย่างน้อยรวมกัน 3 ไอออน (SANCO. 2013), ความเป็นเส้นตรงและช่วงการวิเคราะห์ (Linearity and working range), ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD), ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ), ความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision), การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ (Uncertainty in analytical Measurement) พารามิเตอร์ต่างๆ ได้จากวิธีการปฏิบัติโดยการเติมสารมาตรฐานลงใน matrix blank (Fortified sample) แล้วนำไปวิเคราะห์ตามวิธีการ และนำผลที่ได้มาคำนวณค่าต่างๆ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

4.2 ผลวิเคราะห์ Method blank และ Matrix blank

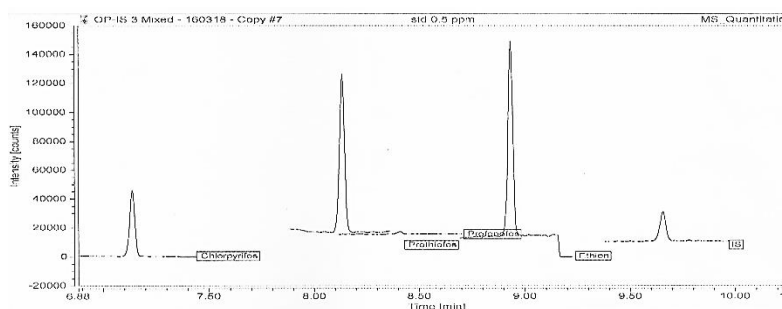
ผลวิเคราะห์ Method blank และ Matrix blank อย่างละ 10 ซ้ำ ไม่พบสารรบกวนที่ทำให้พีคตรงหรือใกล้เคียงกับสารมาตรฐานที่อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการรายงานผลการวิเคราะห์ภาพที่ 4.1



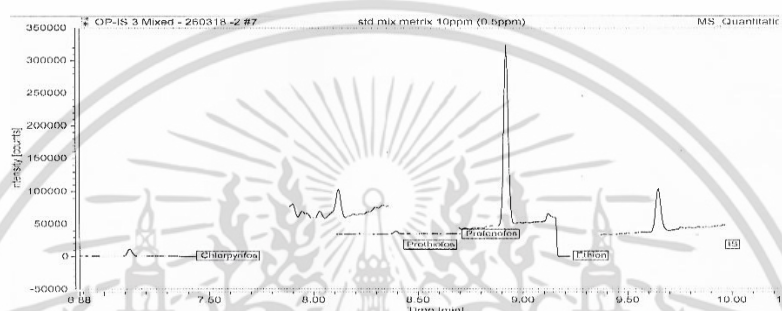
ภาพที่ 4.1 โครมาโทแกรมของตัวอย่างพริกที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐานผสม (Matrix blank) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการตรวจสอบความจำเพาะของวิธีวิเคราะห์

วิเคราะห์สารมาตรฐานผสม (Standard mixed) ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมระหว่างการเจือจางสารละลายมาตรฐานด้วยสารละลายเมธานอลความบริสุทธิ์ 99.8 % และเจือจางสารละลายมาตรฐานด้วยสารสกัด blank วิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง GC/MS วิเคราะห์พีค (peak) ของสารที่ได้ควบคุมกับข้อมูลแมสสเปกตรัมของสาร ที่มีอยู่ในตัวเครื่อง GC/MS (mass spectrum library database) ได้แมสสเปกตรัมของพีคสำหรับยืนยันชนิดสารคิงนี้คลอรัไพรฟอสไอออนหลักเชิงปริมาณ (Quantified ion) เท่ากับ 314 ไอออนสำหรับใช้ยืนยันไอออนหลัก (Qconfirm ion) ทั้ง 2 ตัว ได้แก่ 197 และ 97 โพรโทไอฟอสไอออนหลักเท่ากับ 113 คอนเฟิร์ม ไอออน ได้แก่ 267 และ 309 โพรฟีโนฟอสไอออนหลักเท่ากับ 139 คอนเฟิร์ม ไอออน ได้แก่ 208 และ 97 สำหรับอีไทออน ไอออนหลักเท่ากับ 231 คอนเฟิร์ม ไอออน ได้แก่ 153 และ 97 (ตารางที่ 4.1) เวลาที่สารแต่ละชนิดใช้ผ่านคอลัมน์จากจุด เริ่มต้นถึงจุดสูงสุดของพีค (Retention time, RT) มีค่าตั้งแต่ 7.21 – 9.01 นาที โดยเรียงลำดับการออกของสารตาม RT จากน้อยไปหามากเป็นดังนี้ คลอรัไพรฟอส, โพรโทไอฟอส, โพรฟีโนฟอส และอีไทออน (ตารางที่ 4.1) พบพีคของสารแต่ละชนิดมีการแยกออกจากกัน อย่างชัดเจนไม่พบพีคที่ซ้อนทับกันแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการแยกสารทั้ง 4 ชนิดออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ ดังภาพที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมกับโครมาโทแกรมของตัวอย่างพริกที่เติมสารมาตรฐานผสมทั้ง 4 ชนิด (ภาพที่ 4.3) พบว่า มี RT ที่ตำแหน่งเดียวกัน และค่าความเข้มข้นที่ทดสอบเปอร์เซ็นต์ของการกลับคืน (% Recovery) อยู่ในช่วงการยอมรับ คือมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 99.20 – 100.50 (ตารางที่ 4.1) ซึ่ง AOAC (2016) กำหนดไว้ที่ 80 – 110 % เมื่อตรวจสอบข้อมูลแมสสเปกตรัมของไอออนที่ใช้ในการยืนยันชนิดสารอีก 2 ไอออนตามที่ได้กำหนดไว้ (ตารางที่ 4.1) ผลปรากฏว่ามีพีคที่ถูกต้องตรงกันทุกพีคโดยไอออนที่ใช้ในการยืนยันชนิดสารคัดเลือกจากแมสสเปกตรัมที่ให้ค่าชัดเจนที่สุดทุกครั้งที่ได้จากการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบในตัวอย่างพริกไม่มีผลต่อการแยกและการซ้อนทับของพีค รวมถึงไม่มีพีคอื่นรบกวน บ่งชี้ว่าการเลือกสารในขั้นตอนของการสกัด (QuEChERS) มีความเหมาะสม วิธีมีความจำเพาะสูง สามารถแยกสารรบกวนอื่นๆออกได้ และเมื่อพิจารณาโครมาโทแกรมของ blank (ภาพที่ 4.3) พบว่า baseline ไม่มีพีครบกวนในช่วงเวลาออกของสารทั้ง 4 ชนิด วิธีการวิเคราะห์นี้จึงมีความจำเพาะต่อวิธีทดสอบและสามารถให้ผลวิเคราะห์เชิงปริมาณในตัวอย่างพริกได้



ภาพที่ 4.2 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 4 ชนิด, ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 4.3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 4 ชนิดในสารละลายตัวอย่างพริกความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดง Retention time (RT), Quantified ion, Confirm ion, และ % Recovery

Compound name	Time (min)	Quantified ion (m/z)	Confirm ion (m/z)	Confir m ion (m/z)	Results standard 0.5 (ppm)		% Recovery (80-110%)	
					solvent	Matrix	solvent	Matrix
Chlorpyrifos	7.21	314	197	97	0.4960	0.4968	99.36	99.20
Prothiofos	8.20	113	309	267	0.5021	0.4993	99.86	100.42
Profenofos	8.48	139	208	97	0.4992	0.4980	99.60	99.84
Ethion	9.01	231	153	97	0.5025	0.4956	99.12	100.50

4.4 ผลการสร้างกราฟมาตรฐาน (Matrix-Matched Calibration Curve) ความเป็นเส้นตรงและช่วงการวิเคราะห์ (Linearity and working range)

4.3.1 สร้างกราฟมาตรฐาน (Matrix-Matched Calibration Curve, MMC) ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นละ 7 ซ้ำ สร้างกราฟระหว่างความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(X) กับพื้นที่ใต้กราฟ (Y) เพื่อหาสมการเส้นตรง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ในแต่ละสมการของสารละลายมาตรฐานผสมทั้ง 4 ชนิดมีค่ามากกว่า 0.995 ตามที่ AOAC (2016) ได้กำหนดไว้มากกว่า 0.995 โดยคลอรีไพริฟอส มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9959, โพรไทโอฟอสมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9952, โพรฟีโนฟอส มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9981 และอีไทออนมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9971 แสดงให้เห็นว่าสารรบกวนจากตัวอย่างพริกไม่มีผลต่อการทดสอบความเป็นเส้นตรงและช่วงของสารละลายมาตรฐานผสมที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่มีความเหมาะสม รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์, R^2

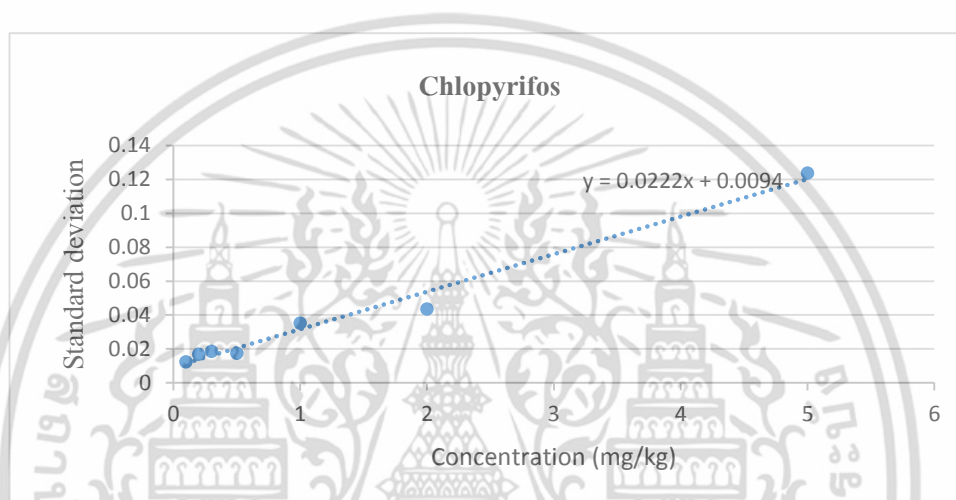
ชนิดสารกำจัดศัตรูพืช	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)
คลอรีไพริฟอส	0.9959
โพรไทโอฟอส	0.9952
โพรฟีโนฟอส	0.9981
อีไทออน	0.9971

4.5 ผลการหาขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) และการหาขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

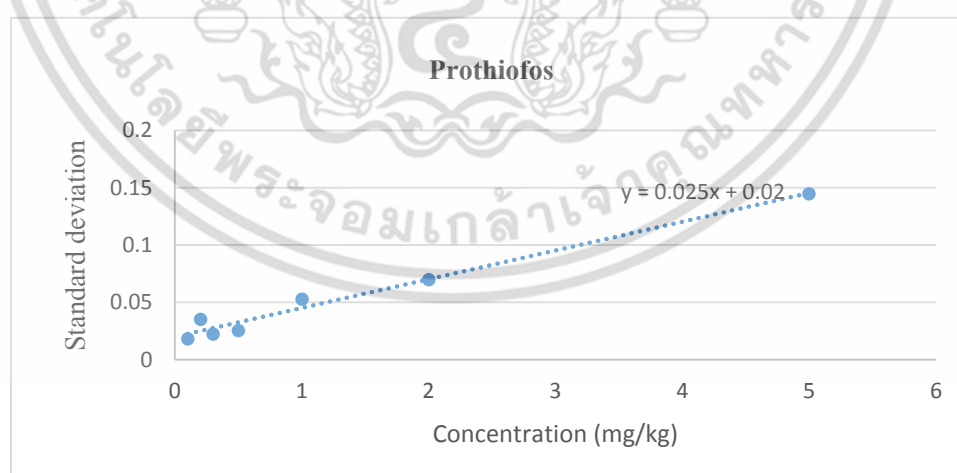
4.5.1 นำผลจากการทดสอบข้อ 4.3.1 ที่ได้จากการสร้างกราฟระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เพื่อหาค่าจุดตัดแกน Y (Y-Intercept) ผลของการศึกษาพบว่าค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ของ คลอรีไพริฟอสค่าจุดตัดแกน Y เท่ากับ 0.0094 ค่า LOD เท่ากับ 0.028 ค่า LOQ เท่ากับ 0.09, โพรไทโอฟอส มีค่าจุดตัดแกน Y เท่ากับ 0.02 ค่า LOD เท่ากับ 0.06 ค่า LOQ เท่ากับ 0.2, โพรฟีโนฟอสมีค่าจุดตัดแกน Y เท่ากับ 0.0095 ค่า LOD เท่ากับ 0.029 ค่า LOQ เท่ากับ 0.1 และอีไทออนมีค่าจุดตัดแกน Y เท่ากับ 0.0091 ค่า LOD เท่ากับ 0.028 ค่า LOQ เท่ากับ 0.09 รายละเอียดดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 – 4.7

ตารางที่ 4.3 การรายงานค่าขีดจำกัดการตรวจพบ(LOD) และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

	คลอริไพริฟอส	โพรไทโอฟอส	โพรพิโนฟอส	อีไทออน
Y-Intercept	0.0094	0.02	0.0095	0.0091
LOD (Intercept x 3)	0.028	0.06	0.029	0.028
LOQ (Intercept x 10)	0.09	0.2	0.1	0.09

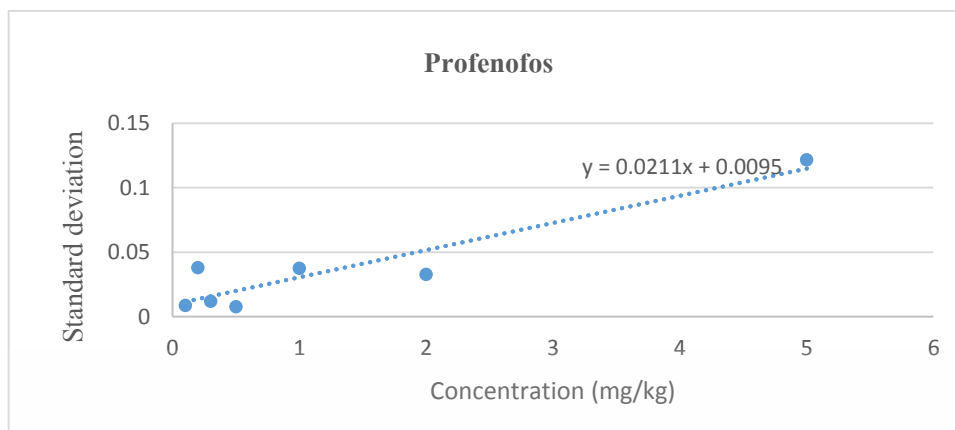


ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของคลอริไพริฟอส

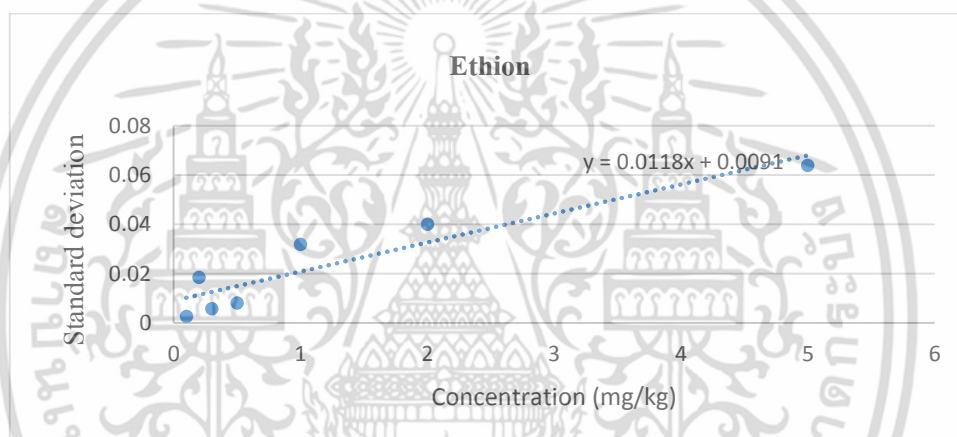


ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของโพรไทโอฟอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของโพรฟีโนฟอส



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของอีไธออน

4.6 ผลการทบทวนค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ

จากสมการที่คำนวณได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบของสารทั้ง 4 ชนิดอยู่ในช่วง 0.03 - 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.3) ทดลองเติมสารมาตรฐาน (Standard Solution Mixed) ที่ความเข้มข้น 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาตร 1000 ไมโครลิตรลงใน matrix blank ที่มีปริมาณ 10.0 ± 0.05 กรัม จำนวน 10 ซ้ำ ได้ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้ คลอร์ไพริฟอสมีค่า %RSD เท่ากับ 0.0205, HORRAT มีค่าเท่ากับ 0.0007 โพรไทโอฟอสมีค่า %RSD เท่ากับ 0.0236, HORRAT มีค่าเท่ากับ 0.0008, โพรฟีโนฟอสมีค่า %RSD เท่ากับ 0.0212, HORRAT มีค่าเท่ากับ 0.0008 และอีไธออนมีค่า %RSD เท่ากับ 0.0045, HORRAT มีค่าเท่ากับ 0.0002 แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณ 0.03 มีค่าจริงเท่ากับ 0.03×0.2 (ค่า Concentration factor จากขั้นตอนการสกัด) เท่ากับ 0.006 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นค่าปริมาณต่ำสุดที่วิธีทดสอบสามารถตรวจพบได้ในเชิงคุณภาพ ตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทบทวนค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD)

ชื่อสารตกค้าง	ความเข้มข้น (มก./กก.)	% RSD _r (< 15)	HORRAT (< 2)
คลอไพริฟอส	0.03	0.0205	0.0007
โพรไทโอฟอส	0.03	0.0236	0.0008
โพรฟิโนฟอส	0.03	0.0212	0.0008
อีโทออน	0.03	0.0045	0.0002

4.7 ผลการยืนยันค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ในเชิงปริมาณ จากการคำนวณค่า 10 เท่าจุดตัดแกน Y (Y-Intercept) ของปริมาณสารตกค้างสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 4 ชนิด มีค่าดังนี้ คลอไพริฟอส และโพรฟิโนฟอสมีค่าเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพรไทโอฟอสมีค่าเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และอีโทออนมีค่า 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทดสอบโดยการเติมสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาตร 1000 ไมโครลิตรลงใน matrix blank ที่มีปริมาณ 10 ± 0.05 กรัม ความเข้มข้นละ 7 ชั่วโมง เพื่อให้ครอบคลุมค่าเชิงปริมาณจากการคำนวณผลการวิเคราะห์ที่ได้นำมาคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการกลับคืน และ HORRAT ได้ผลดังนี้คลอไพริฟอส มีค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 97 – 110 % และค่า HORRAT อยู่ในช่วง 0.14-0.16, โพรไทโอฟอส ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 99 – 107 % และ HORRAT มีค่าอยู่ในช่วง 0.11 – 0.15, โพรฟิโน ฟอส ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 98 – 110% และ HORRAT มีค่าอยู่ในช่วง 0.11 – 0.20 สำหรับอีโทออน ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 98 – 109 % และ HORRAT มีค่าอยู่ในช่วง 0.11 – 0.19 ซึ่งทุกค่าเป็นไปตามเกณฑ์ของ AOAC, 2016 จึงสรุปได้ว่าค่า LOQ ของสารตกค้างกำจัดศัตรูพืชทั้ง 4 ชนิด มีค่าเท่ากับ 0.1×0.2 (ค่า Concentration factor จากขั้นตอนการสกัด) เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องตามการทดสอบของ ลักขมีและคณะ (2550) ที่ทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบสารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และกลุ่มไพริทรอยด์ ในผลไม้โดยวิธี QuEChERS และ GC/MS ค่า LOD เท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่า LOQ อยู่ในช่วง 0.04-0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ Luci'a Pareja และคณะ (2015) เปรียบเทียบวิธีการสกัด 2 วิธี ระหว่างการสกัดด้วยไมโครเวฟและการสกัดด้วย QuEChERS โดยทดสอบสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ในซาเยอร์บามาเต้ และวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง GC/FPD ได้ค่า LOD อยู่ในช่วง 0.05-0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่า LOQ อยู่ในช่วง 0.01-0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบความชำนาญค่าคลอไพริฟอสที่ได้เท่ากับ -0.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าอยู่ในช่วง ± 2 Z-score แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์นี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างกำจัดศัตรูพืชทั้ง 4 ชนิดในเชิงปริมาณได้ รายละเอียดข้อมูลดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 Fortification level Limit of quantitation (LOQ)

Name	Fortification level(ug/ml)	Amount (mg/kg)	%Recovery (80-110)	Average	SD	RSD _(r) (<15)	PRSD	HORR AT (<2)
Chlopyrifos	0.1	0.1100	110	0.11	0.0026	2.38	14.65	0.16
	0.3	0.2935	98	0.30	0.0062	2.07	12.58	0.16
	0.5	0.5015	100	0.50	0.0082	1.63	11.62	0.14
Prothionfos	0.1	0.1021	102	0.10	0.0022	2.08	14.73	0.14
	0.3	0.3017	101	0.30	0.0059	1.93	12.54	0.15
	0.5	0.5027	101	0.50	0.0064	1.27	11.62	0.11
Profenofos	0.1	0.1066	107	0.11	0.0017	1.57	14.65	0.11
	0.3	0.3100	103	0.31	0.0076	2.45	12.50	0.20
	0.5	0.5050	101	0.50	0.0103	2.04	11.62	0.18
Ethion	0.1	0.1050	105	0.11	0.0029	2.75	14.70	0.19
	0.3	0.3086	103	0.31	0.0042	1.36	12.48	0.11
	0.5	0.5088	102	0.5	0.0082	1.63	11.36	0.14

4.8 ผลการทดสอบ Trueness

การทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำของวิธี โดยการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material, CRM) วิเคราะห์วัสดุอ้างอิง TRM-S-5019 (Lot No. 250914-4) ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นละ 10 ซ้ำ วิเคราะห์ด้วยวิธีที่สร้างขึ้น

4.8.1 จำนวนความแม่นยำและความเที่ยงของ CRM ทำการวิเคราะห์ 10 ซ้ำที่ผลการวิเคราะห์ โพรฟีนอเฟอส (CRM) เป็นดังนี้ค่า HORRT มีค่า 0.13 และ %Recovery มีค่าเท่ากับ 104.70 - 109.80 ซึ่งผลการวิเคราะห์ผ่านตามเกณฑ์ของ AOAC แสดงว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความถูกต้องแม่นยำ นำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณได้

4.9 ผลการประเมินความคงทนของวิธีการวิเคราะห์ (Robustness /Ruggedness)

ทดสอบตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานผสมความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทดสอบซ้ำ 2 วัน วันละ 7 ซ้ำ จากพนักงาน 2 คน คำนวณค่า RSD_R ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 13.37-13.40 และค่า HORRAT มีค่าระหว่าง 0.09-0.24 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์การยอมรับของ AOAC (2016) และ CODEX ดังตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินความคงทนของวิธีการวิเคราะห์

ชื่อสารตกค้าง	ความเข้มข้น (มก./กก.)	% RSD_R (< 22)	HORRAT (< 2)
คลอไพริฟอส	0.2	13.37	0.18
โพรไทโอฟอส	0.2	13.39	0.24
โพรฟิโนฟอส	0.2	13.40	0.09
อีโทอน	0.2	13.39	0.14

4.10 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอน

การประมาณค่าความไม่แน่นอนของอีโทอนที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลดัง
ตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความไม่แน่นอน

สัญลักษณ์	รายละเอียด	Value X	Standard uncertainty $\mu(X)$	Relative standard uncertainty $\mu(X)/X$
C_{op}	1. ความเข้มข้นของตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
M_{sample}	1.1 น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	10 กรัม	0.0289 กรัม	0.00289
	1.2 ค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบเครื่องชั่ง	10 กรัม	8.95×10^{-5} กรัม	8.95×10^{-6}
V_{sample}	1.3 การใช้ปริมาตรระหว่างการวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)			
	1.3.1 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่าง -ไมโครปิเปตขนาด 1000-5000 ไมโครลิตร	15 มิลลิลิตร	0.0289 มิลลิลิตร	0.00193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความไม่แน่นอน (ต่อ)

สัญลักษณ์	รายละเอียด	Value X	Standard uncertainty $\mu(X)$	Relative standard uncertainty $\mu(X)/X$
	-ค่าการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิในระหว่างการ วิเคราะห์ 1.3.4 การปรับปริมาตร สุดท้าย	15 มิลลิลิตร	0.026 มิลลิลิตร	0.0017
	-ไมโครปิเปตขนาด 1000-5000 ไมโครลิตร	2 มิลลิลิตร	0.0289 มิลลิลิตร	0.01445
	-ค่าการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิในระหว่างการ วิเคราะห์	2 มิลลิลิตร	0.002 มิลลิลิตร	0.001
$C_{Std.}$	2. ความเข้มข้นของสาร มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม) 2.1 ความบริสุทธิ์ของสาร มาตรฐาน			
	-คลอร์ไพริฟอส และ โพธิโนฟอส 100 %	0	0	0
	-อีโทออน	98.4 %	0.4 %	0.0041
	-โพธิโนฟอส	99.2 %	0.2 %	0.0020
	-เมทานอล	99.8 %	0.05 %	0.0050
	2.2 Intermediate standard ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม			
	-ไมโครปิเปตขนาด 1-100 ไมโครลิตร	0.03 มิลลิลิตร	0.00087	0.029
	-ค่าการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิในระหว่างการ วิเคราะห์	0.03 มิลลิลิตร	0.000052	0.0017
	-ไมโครปิเปตขนาด 100- 1000 ไมโครลิตร	0.97 มิลลิลิตร	0.00577	0.00595
	-ค่าการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิในระหว่างการ วิเคราะห์	0.97 มิลลิลิตร	0.0017	0.0018

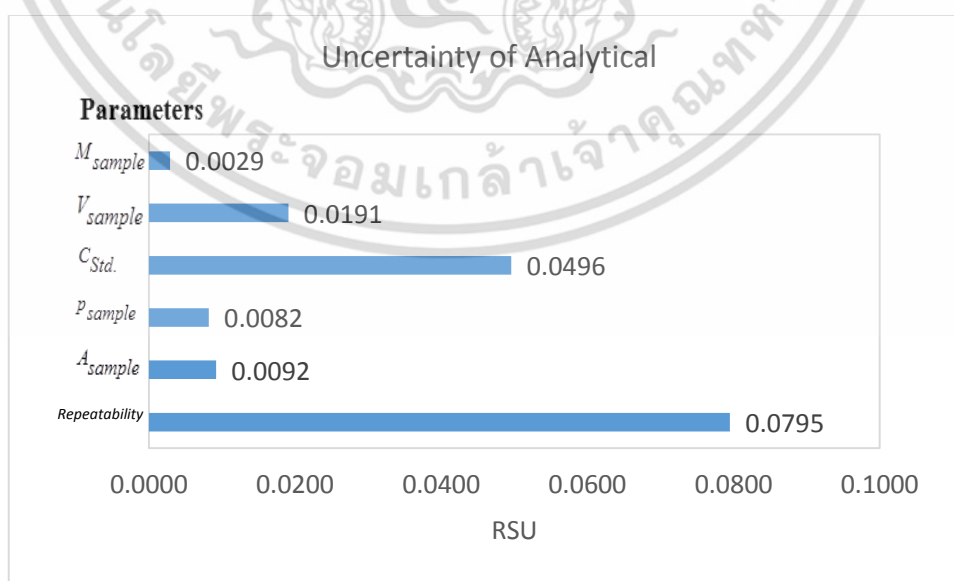
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความไม่แน่นอน (ต่อ)

สัญลักษณ์	รายละเอียด	Value X	Standard uncertainty $\mu(X)$	Relative standard uncertainty $\mu(X)/X$
P_{sample}	ค่าความเที่ยงของผลการวิเคราะห์ (Precision)	0.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.0009 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.0082
A_{sample}	ความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ (Accuracy)	109 %	1 %	0.0092
Repeatability	ค่าจาก Method Validation (ค่าจากการทำซ้ำ)	0.0795	1	0.0795
combined standard uncertainty			0.0873	combined standard uncertainty
Standard uncertainty (U_c)	0.0873×0.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.0096 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม		Standard uncertainty (U_c)
Expanded Uncertainty, (U), $k = 2$ (ช่วงความเชื่อมั่น 95%)			2×0.0096	0.02

รายงานผลการวิเคราะห์คลอรีนไฟรีฟอส เท่ากับ 0.11 ± 0.02

นำค่าความไม่แน่นอนจากแต่ละแหล่งมาเขียนกราฟแท่ง (Histogram) โดยให้ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนอยู่บนแกน y และ Relative Standard Uncertainty อยู่บนแกน x ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กราฟแท่ง (Histogram) แสดงค่าความไม่แน่นอนของวิธีวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Histogram ค่าที่ทำให้ความไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงและสามารถทำให้ลดลงได้ คือ ค่าจากการทำซ้ำ ที่เกิดจาก Method validation ซึ่งอาจเกิดจากจำนวนการทำซ้ำที่ยังไม่มากพอ หรือจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารเคมีมีค่าความไม่แน่นอนที่สูง

4.11 ผลทดสอบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในพริกชนิดต่างๆ

การทดสอบสารตกค้างกำจัดศัตรูพืชในพริกชี้ฟ้า พริกจินดา พริกหนุ่มและพริกชี้หนุสวน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างพริกชี้ฟ้า พริกจินดา พริกหนุ่ม และพริกชี้หนุสวนจากสถานที่ต่างๆ ปริมาณแห้งละ 1 กิโลกรัม ในช่วงระยะเวลา 4 เดือน คือระหว่างเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2560 ถึง สิงหาคม พ.ศ.2560 โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงดังนี้

4.11.1 ช่วงที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 13 พฤษภาคมถึงวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ.2560 เก็บเฉพาะพริกชี้ฟ้าเขียวและพริกชี้ฟ้าแดงจากร้านค้าปลีก 4 แห่ง ในเขตหนองจอก จำนวนแห้งละ 11 ตัวอย่างจำนวนตัวอย่างรวมเท่ากับ 44 ตัวอย่าง และวัตถุดิบในการผลิตสินค้าของโรงงาน A จำนวน 28 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมดที่เก็บในรอบแรกเท่ากับ 72 ตัวอย่าง แบ่งเป็นพริกชี้ฟ้าเขียว 32 ตัวอย่าง พริกชี้ฟ้าแดง 40 ตัวอย่าง ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบพริกชี้ฟ้าเขียวและพริกชี้ฟ้าแดง

ชนิด สารตกค้าง	พริกชี้ฟ้าเขียว/สถานที่/จำนวน					รวม / %	พริกชี้ฟ้าแดง/สถานที่/จำนวน					รวม / %		
	โรงงาน	ร้านค้าปลีก					โรงงาน	ร้านค้าปลีก						
	A	A	B	C	D		A	A	B	C	D			
คลอร์ไพริฟอส	3	1	2	3	0	9	28.13	3	3	0	4	3	13	32.50
โพรไทโอฟอส	0	1	0	0	1	2	6.25	0	0	0	0	1	1	2.5
โพรฟิโนฟอส	0	1	4	3	1	9	28.13	0	3	1	2	4	10	25.0
อีโทอน	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	5.0
รวม	3	3	6	6	2	20	62.5	3	7	2	6	8	26	65.0
%	10.71	27.27	54.55	54.55	18.18	62.50		10.71	63.64	18.18	54.55	72.73	65.0	

ผลการตกค้างจากโรงงาน A พบการตกค้างของสารคลอรีนไฟรีฟอสเพียงชนิดเดียว โดยพบในพริกชี้ฟ้าเขียวและพริกชี้ฟ้าแดงชนิดละ 3 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 9.38 ของแต่ละชนิดพริก ค่าการตกค้างอยู่ระหว่าง 0.0094 – 0.0251 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) และ 1 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก A พบ 3 ตัวอย่างในพริกชี้ฟ้าเขียว และพบ 7 ตัวอย่างในพริกชี้ฟ้าแดง จากทั้งหมด 11 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 27.27 และ 63.64 ตามลำดับ ซึ่งมีการตกค้างอยู่ระหว่าง 0.0075 - 0.0539 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก B พบ 6 ตัวอย่างในพริกชี้ฟ้าเขียว และพบ 2 ตัวอย่างในพริกชี้ฟ้าแดง จากทั้งหมด 11 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 54.55 และ 18.18 ตามลำดับ ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0076 – 0.0103 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าการตรวจพบไม่เกินค่า LOQ ของวิธีทดสอบ (ภาคผนวก ฉ) ผลจากร้านค้าปลีก C พบ 6 ตัวอย่างเท่ากัน ในพริกชี้ฟ้าและพริกชี้ฟ้าแดง จากทั้งหมด 11 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 54.55 ต่อชนิดพริก ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0734 - 0.0519 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 4 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก D พบ 2 ตัวอย่างในพริกชี้ฟ้าเขียว และพบ 8 ตัวอย่างในพริกชี้ฟ้าแดง จากทั้งหมด 11 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 18.18 และ 72.73 ตามลำดับค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0187 – 0.0324 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ (ภาคผนวก จ)

สรุปและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์พริกชี้ฟ้าเขียว 32 ตัวอย่าง พบการตกค้างคลอรีนไฟรีฟอส และโพรฟีนอซชนิดละ 9 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 28.13 ค่าการตกค้างคลอรีนไฟรีฟอสอยู่ระหว่าง 0.0073 - 0.0539 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าการตกค้างโพรฟีนอซอยู่ระหว่าง 0.0237 – 0.4369 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับโพรไทโอฟอสพบตกค้างทั้งหมด 2 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 6.25 มีค่าเท่ากับ 0.014 และ 0.0202 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับอีไทออนไม่พบมีการตกค้างในพริกชี้ฟ้าเขียว การตกค้างรวมในพริกชี้ฟ้าเขียวทั้งหมดเท่ากับ 20 ตัวอย่างจากทั้งหมด 32 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 62.50

พริกชี้ฟ้าแดง 40 ตัวอย่าง พบการตกค้างสารคลอรีนไฟรีฟอสมากที่สุด 13 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 32.50 ค่าปริมาณการตกค้างอยู่ระหว่าง 0.0075 – 0.0519 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือโพรฟีนอซ จำนวน 10 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 24.39 ค่าการตกค้างอยู่ระหว่าง 0.0079 – 0.5274 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับอีไทออนพบการตกค้าง 3 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 7.5 ค่าการตกค้างอยู่ระหว่าง 0.0179 – 0.0343 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพรไทโอฟอสพบตกค้างน้อยที่สุดในพริกชี้ฟ้าแดงคือ 1 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 2.5 ค่าการตกค้างเท่ากับ 0.0023 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาคผนวก ช) การตกค้างรวมในพริกชี้ฟ้าแดงเท่ากับ 27 ตัวอย่างจากทั้งหมด 40 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 67.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบการตกค้างของคลอรีนไฟรฟอสมากที่สุด จำนวนรวม 22 ตัวอย่างจากทั้งหมด 72 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 30.56 รองลงมาคือสารตกค้างโพรฟีนอซ 19 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 26.39 สำหรับอีโทอน และโพรไทโอฟอสพบการตกค้างเท่ากันที่ 3 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 4.17 (ตารางที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลปริมาณการนำเข้าสารกำจัดแมลงของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งสารกำจัดแมลงที่มีการนำเข้าโดยปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด 10 อันดับในปี 2560 คลอรีนไฟรฟอสนำเข้าสูงที่สุดเป็นลำดับแรก รองลงมาคือโพรฟีนอซอยู่ในลำดับที่ 3 และอีโทอนอยู่ในลำดับที่ 7 และพบการตกค้างน้อยที่สุดที่โรงงาน A ซึ่งสอดคล้องกับการปฏิบัติที่โรงงาน A มีขั้นตอนการคัดเลือกและประเมินผู้ขายอย่างเข้มงวด โดยผู้ขายต้องทำการตรวจสอบสารตกค้างในพริกทุกล็อตก่อนนำเข้าโรงงาน โดยผลการทดสอบต้องไม่พบหรือพบน้อยกว่าระดับที่โรงงานกำหนด

4.11.2 ช่วงที่ 2 ระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 27 กรกฎาคม ถึงวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ.2560 โดยตัวอย่างแยกเป็นพริกชี้ฟ้าเขียว พริกชี้ฟ้าแดง พริกจินดาเขียว พริกจินดาแดง พริกขี้หนูสวน และพริกหนุ่ม ชนิดละ 4 ตัวอย่างจาก 7 แหล่ง ได้แก่ร้านค้าปลีก 4 แห่ง ตลาดสด 3 แห่ง ในเขตลาดกระบัง เขตหนองจอกและเขตมีนบุรี รวมตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 168 ตัวอย่าง รายละเอียดผลการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 4.9 - 4.11

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบตัวอย่างพริก 4 ชนิดที่เก็บจากตลาดสด 3 แห่ง

ชนิด สารตกค้าง	ตลาดสด																		รวม (672)
	A / ชนิดพริก / จำนวน						B / ชนิดพริก / จำนวน						C / ชนิดพริก / จำนวน						
	พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริก หนุ่ม	พริก ขี้หนูสวน	พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริก หนุ่ม	พริก ขี้หนูสวน	พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริก หนุ่ม	พริก ขี้หนูสวน	
	เขียว	แดง	เขียว	แดง			เขียว	แดง	เขียว	แดง			เขียว	แดง	เขียว	แดง			
คลอร์ไพริฟอส	2	3	2	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	3	1	1	2	2	29
โพทาโอฟอส	1	0	1	2	0	2	1	0	0	1	1	3	2	1	1	2	1	2	21
โพรพีโนฟอส	1	3	3	2	1	2	4	1	2	3	2	3	2	2	3	4	2	3	43
อีโทอน	0	1	1	1	1	2	0	2	0	1	1	3	1	1	2	2	2	2	23
รวม (28 ตย.)	4	7	7	6	3	7	6	5	3	6	5	12	6	7	7	9	7	9	116
%	14.29	25.0	25.0	21.43	10.71	25.0	21.43	17.86	10.71	21.43	17.86	42.86	21.43	25.0	25	32.14	25.0	32.14	

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบตัวอย่างพริก 4 ชนิดที่เก็บจากร้านค้าปลีก 4 แห่ง

ชนิด สารตกค้าง	ร้านค้าปลีก											
	A / ชนิดพริก / จำนวน					B / ชนิดพริก / จำนวน						
	พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริก หนุ่ม	พริก ขี้หนูสวน	พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริก หนุ่ม	พริก ขี้หนูสวน
	เขียว	แดง	เขียว	แดง			เขียว	แดง	เขียว	แดง		
คลอร์ไพริฟอส	2	2	2	2	2	0	3	0	2	2	1	0
โพรโทโอฟอส	0	1	0	2	1	0	0	0	1	1	0	1
โพรฟีโนฟอส	1	4	2	3	1	2	1	1	1	4	1	2
อีโทอน	0	3	0	0	2	1	0	0	0	1	3	0
รวม (28 ตย.)	3	10	4	7	6	3	4	1	4	8	5	3
%	10.71	35.71	14.29	25.0	21.43	10.71	14.29	3.57	14.29	28.57	17.86	10.71

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบตัวอย่างพริก 4 ชนิดที่เก็บจากร้านค้าปลีก 4 แห่ง (ต่อ)

ชนิด สารตกค้าง	ร้านค้าปลีก											รวม (672)	
	C / ชนิดพริก / จำนวน						D / ชนิดพริก / จำนวน						
	พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริก หนุ่ม	พริก ชี้หนูสวน	พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริก หนุ่ม		พริก ชี้หนูสวน
	เขียว	แดง	เขียว	แดง			เขียว	แดง	เขียว	แดง			
คลอร์ไพริฟอส	3	2	3	2	1	0	2	2	0	2	0	1	36
โพรไทโอฟอส	2	1	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	14
โพรฟีนอซ	3	2	1	2	1	2	1	3	2	3	1	0	44
อีโทออน	0	3	1	2	1	1	2	2	1	1	0	1	25
รวม (28 ตย.)	8	8	5	6	4	3	5	9	3	7	1	2	119
%	28.57	28.57	17.86	21.43	14.29	10.71	17.86	32.14	10.71	25.0	3.57	7.14	

การตกค้างโพรไทโอฟอสจากร้านค้าปลีก A พบ 4 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 16.67 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0173 – 0.0204 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 1 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก B พบ 3 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 12.50 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0180 - 0.0312 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก C พบ 4 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 16.67 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0175 - 0.0218 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก D พบ 3 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 12.50 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0192 - 0.0240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากตลาด A พบ 6 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 25 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0167 – 0.2258 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลตลาด B พบ 6 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 25 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0165 – 0.0037 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 1 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ และผลจากตลาด C พบ 9 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 37.50 มีค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0159 - 0.0237 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 3 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ (ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์พบการปนเปื้อน โพรไทโอฟอสในตัวอย่าง ที่เก็บจาก ตลาด C มากที่สุด ปริมาณการตรวจพบโพรไทโอฟอสทั้งหมดจากทุกสถานที่ไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุด (MRL) ตามที่กฎหมายกำหนด

การตกค้างโพรฟิโนฟอสจากร้านค้าปลีก A พบ 13 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 54.17 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0170 - 0.0782 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ppm) และ 6 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก B พบ 10 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 41.67 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0169 - 0.0647 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 4 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก C พบ 11 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 45.83 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0176-0.0346 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 5 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก D พบ 10 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 41.67 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0172 - 0.0225 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 4 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากตลาด A พบ 12 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 50 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0164 – 0.0808 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 3 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลตลาด B พบ 15 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 62.50 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0171 – 0.2185 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 8 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ และผลจากตลาด C พบ 16 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 66.67 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0171- 0.0774 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 8 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ (ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์พบการตกค้างโพรฟิโนฟอสในตัวอย่าง ที่เก็บจาก ตลาด C มากที่สุด ปริมาณการตรวจพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรฟิโนฟอสทั้งหมดจากทุกสถานที่ไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุด (MRL) ตามที่กฎหมายกำหนด

การตกค้างอีโทอนจากร้านค้าปลีก A เท่ากับ 6 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 25 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0125 - 0.0637 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก B พบ 4 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 16.67 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0126 - 0.0578 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 1 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบผลจากร้านค้าปลีก C พบ 8 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 33.33 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0127 - 0.0592 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากร้านค้าปลีก D พบ 7 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 29.17 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0061- 0.0342 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 1 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลจากตลาด A พบ 6 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 25 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0125 - 0.0356 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 1 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ ผลตลาด B พบ 7 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 29.17 ค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0129 - 0.0298 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ และผลจากตลาด C พบ 10 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 41.67 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0125 - 0.0193 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าการตรวจพบไม่เกินค่า LOQ ของวิธีทดสอบ (ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์พบการตกค้างอีโทอนในตัวอย่างที่เก็บจาก ตลาด C มากที่สุดปริมาณการตรวจพบอีโทอนทั้งหมดจากทุกสถานที่ไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุด (MRL) ตามที่กฎหมายกำหนด

ผลการทดสอบตัวอย่างพริกชี้ฟ้า พริกจินดา พริกขี้หนูสวนและพริกหนุ่มจากตลาดสด 3 แห่ง และจากร้านค้าปลีก 4 แห่ง ในช่วงที่ 2 พบการตกค้างคลอรีไพรีฟอส แยกตามชนิดพริก รายละเอียดเป็นดังนี้

พริกชี้ฟ้าเขียวพบการตกค้าง 14 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 50 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0077- 0.0853 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 7 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ พริกชี้ฟ้าแดงพบการตกค้าง 15 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 53.57 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0061- 0.0454 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 5 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ พริกจินดาแดงพบการตกค้าง 11 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 39.29 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0066 – 0.2186 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 3 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ พริกจินดาแดงพบการตกค้าง 11 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 39.29 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0061- 0.0741 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 5 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ (ภาคผนวก ข)

พริกขี้หนูสวนพบการตกค้าง 7 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 25 ซึ่งมีการตรวจพบอยู่ระหว่าง

0.0072-0.0561 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ (ภาคผนวก ข)

พริกหนุ่มพบการตกค้าง 8 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 28.57 ซึ่งมีค่าการตรวจพบอยู่ระหว่าง 0.0066 - 0.0515 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 3 ตัวอย่างที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าค่า LOQ ของวิธีทดสอบ จากผลการวิเคราะห์พบการตกค้างคลอรีนไพรฟอสมากที่สุดในการพริกชี้ฟ้าแดง (ภาคผนวก ข)

สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบตัวอย่างพริกชี้ฟ้า พริกจินดา พริกชี้ฟ้าสวนและพริกหนุ่ม จากตลาดสด 3 แห่ง และจาก โมเดิร์นเทรด 4 แห่ง ในช่วงที่ 2 พบการตกค้างในตลาด C มากที่สุด จำนวน 45 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 46.88 รองลงมา คือ ตลาด A, B และร้านค้าปลีก C มีจำนวนเท่ากันที่ 34 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 35.42 ลำดับที่ 3 ร้านค้าปลีก A 33 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 34.38 ลำดับที่ 4 ร้านค้าปลีก D 27 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 28.13 และลำดับสุดท้ายร้านค้าปลีก B 25 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 26.04 ชนิดของสารตกค้างที่พบมากที่สุด คือ โพรพิโนฟอสจำนวน 87 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 12.98 รองลงมา คือ คลอรีนไพรฟอสพบ 65 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 9.67 ลำดับที่ 3 อีโทอนพบ 48 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 48 และลำดับสุดท้ายโพโรไทโอฟอสพบ 35 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 5.12 ชนิดพริกที่พบสารตกค้างมากที่สุดคือพริกจินดาแดง 49 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 7.29 รองลงมาคือพริกชี้ฟ้าแดงพบ 47 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 6.99 ลำดับที่ 3 พริกชี้ฟ้าสวนพบ 39 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 5.80 ลำดับถัดมา พริกชี้ฟ้าเขียว, พริกจินดาเขียวและพริกหนุ่มพบ 36, 35 และ 31 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 5.36, 5.21 และ 4.61 ตามลำดับ ผลการตกค้างตามชนิดของพริกและชนิดสารสอดคล้องตามรายงานการผลิตพริกโดยผลผลิตร้อยละ 60 เป็นพริกชี้ฟ้าผลใหญ่ (พริกจินดา) (วีระและเขวรัตน์, 2557) และผลการเฝ้าระวังสารตกค้างปี 2559 พบการตกค้างในพริกแดงสูงที่สุด รวมถึงข้อมูลปริมาณการนำเข้าสารกำจัดแมลงของกรมวิชาการเกษตรซึ่งสารกำจัดแมลงที่มีการนำเข้าโดย ปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด 10 อันดับในปี 2560 คลอรีนไพรฟอสนำเข้าสูงที่สุดเป็นลำดับที่ 1 รองลงมาคือโพโรไทโอฟอสอยู่ในลำดับที่ 3 และอีโทอนอยู่ในลำดับที่ 7 การตรวจพบสารตกค้างอันดับ 1-3 จะพบที่ตลาดสด ซึ่งตลาดสดไม่มีมาตรการการตรวจสอบการตรวจสารเคมีก่อนนำมาจำหน่าย ต่างจากร้านค้าปลีก ที่มีมาตรการการตรวจสอบสารตกค้างก่อนนำมาจำหน่าย จึงทำให้จำนวนการตรวจพบน้อยกว่าตลาด

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ คลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos) โพรไทโอฟอส (Prothiofos) โพรฟีโนฟอส (Profenofos) และ อีไทออน (Ethion) ในพริกสด วิธีเริ่มจากการสกัดพริกชี้ฟ้า ด้วยชุดสกัด QuEChERS เพื่อแยกสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในพริกออกมาและทำให้บริสุทธิ์ จากนั้นนำมาตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 4 ชนิดพร้อมกัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC/MS) จากผลการทดสอบความถูกต้องของวิธีในคลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos) โพรไทโอฟอส (Prothiofos) โพรฟีโนฟอส (Profenofos) และอีไทออน (Ethion) มีค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) เท่ากับ 0.006 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบความเป็นเส้นตรงและช่วงการวิเคราะห์ (Linearity and working range) มีความเป็นเส้นตรงในช่วง 0.02 - 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีค่า R^2 ในช่วง 0.9952 - 0.9981 โดยมีความแม่นยำ (Accuracy) แสดงด้วย %Recovery ในช่วง 97.00-110.00 และความเที่ยง (Precision) แสดงด้วยค่า HORRAT มีค่า 0.11-0.20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด มีการรายงานค่าความไม่แน่นอนของการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี ผลการทดสอบความชำนาญ (PT) ได้ค่า -0.47 ผ่านตามเกณฑ์ ± 2 Z-score วิธีการนี้จึงมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ทดสอบทั้งในเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณของการวิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืชทั้ง 4 ชนิดที่ตกค้างในพริกสดได้อย่างมีความน่าเชื่อถือและถูกต้องตามหลักวิชาการทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำ นำไปใช้ในการประกันคุณภาพและความปลอดภัยของพริกสดได้

ทดสอบการตกค้างในพริกชี้ฟ้าเขียวและพริกชี้ฟ้าแดงในรอบแรกที่เก็บตัวอย่างจากโรงงาน A และร้านค้าปลีก 4 แห่ง (Modern trade A, B, C และ D) พบการตกค้างของสารทั้ง 4 ชนิดในพริกชี้ฟ้าแดงมากกว่าพริกชี้ฟ้าเขียว โดยพริกชี้ฟ้าแดงพบการตกค้างเท่ากับ 27 ตัวอย่างจากทั้งหมด 40 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 67.50 สำหรับพริกชี้ฟ้าเขียวพบการตกค้าง 20 ตัวอย่างจากตัวอย่างทั้งหมด 32 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 62.50 พบการตกค้างของคลอร์ไพริฟอสมากที่สุดจำนวนรวม 22 ตัวอย่างจากตัวอย่างทั้งหมด 72 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 30.56 รองลงมาคือสารตกค้าง โพรฟีโนฟอสพบ 19 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 26.39 สำหรับอีไทออนและโพรไทโอฟอสพบการตกค้างเท่ากันที่ 3 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดสอบการตกค้างตัวอย่างฟริกอบที่สอง ในตัวอย่างฟริกชีฟ้า ฟริกจินดา ฟริกชีหนุสวนและฟริกหนุ่มจากตลาดสด 3 แห่ง และจาก ร้านค้าปลีก 4 แห่ง ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2560 จำนวนรวม 168 ตัวอย่างแบ่งเป็นฟริกชีฟ้าเขียว 28 ตัวอย่าง ฟริกชีฟ้าแดง 28 ตัวอย่าง ฟริกจินดาเขียว 28 ตัวอย่าง ฟริกจินดาแดง 28 ตัวอย่าง ฟริกชีหนุสวน 28 ตัวอย่าง ฟริกหนุ่ม 28 ตัวอย่าง พบการตกค้างของสารทั้ง 4 ชนิดสูงที่สุดในฟริกจินดาแดงจำนวน 49 ตัวอย่างจากทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 29.17 รองลงมาคือฟริกชีฟ้าแดง 48 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 28.57 และ ฟริกชีหนุสวน ฟริกชีฟ้าเขียว ฟริกจินดาเขียว และฟริกหนุ่มตรวจพบ 39, 36, 33 และ 31 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 23.21, 21.43, 19.64, และ 18.45 ตามลำดับ พบการตกค้างของโพรพีโนฟอสมากที่สุดจำนวนรวม 87 ตัวอย่างจากตัวอย่างทั้งหมด 168 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 51.79 รองลงมาคือสารคลอร์ไพริฟอส 66 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 39.29 อีโทอโนพดก้าง 48 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 28.57 และ โพรไทโอฟอสพบการตกค้างในลำดับสุดท้าย 35 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 20.83 และ แหล่งที่พบการตกค้างสูงสุดจากตลาด C พบการตกค้างทั้งหมด 45 ตัวอย่างจากตัวอย่างทั้งหมด 96 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 46.88 รองลงมาคือตลาด B 37 และ ร้านค้าปลีก C พบ 37 และ 35 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 38.54 และ 36.46 ตามลำดับ โดยที่ตลาด C และ ร้านค้าปลีก A อยู่ในลำดับถัดมาคือ 33 ตัวอย่างเท่ากันคิดเป็นร้อยละ 34.38 และลำดับสุดท้ายคือ ร้านค้าปลีก B และ C พบ 25 ตัวอย่างเท่ากันคิดเป็นร้อยละ 26.04

จากผลการวิเคราะห์ประเมินได้ว่าฟริกสดทั้ง 6 ชนิดที่ขายภายในเขตพื้นที่ลาดกระบัง หนองจอก และมีนบุรีพบสารตกค้างทั้ง 4 ชนิด แม้ว่าค่าการตรวจพบไม่เกินมาตรฐานสารตกค้างสูงสุดตามที่กฎหมายกำหนดไว้ก็ตาม แต่ควรมีการเฝ้าระวังการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชโดยเฉพาะยาฆ่าแมลงยังคงต้องดำเนินการต่อไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะในภาคเกษตรที่ตรงรณรงค์ให้ลดการใช้สารเคมีหรือใช้ให้ถูกต้องตามที่ระบุไว้ของสารแต่ละชนิด ภาครัฐบาลที่ต้องพิจารณาการยกเลิกนำเข้าสารเคมีอันตรายที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนหรือควบคุมการใช้อย่างเข้มงวด รวมถึงส่งเสริมการปลูกผักแบบปลอดสารพิษหรือเกษตรอินทรีย์มากยิ่งขึ้นการให้ความรู้ ความเข้าใจ ความตระหนักในพิษภัยของสารตกค้าง เพื่อความปลอดภัยผู้บริโภคควรล้างทำความสะอาดฟริก และผักผลไม้ต่างๆด้วยวิธีการต่างๆก่อนนำไปปรุงอาหารทุกครั้งไม่ควรบริโภคฟริกและผักผลไม้



บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมควบคุมโรค. 2556. 4. โรคและภัยสุขภาพจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/situation/situyear58/4_4_situation56_03.pdf.

กรมวิชาการเกษตร. 2558. รายงานชุดโครงการวิจัยวิจัยและพัฒนาพริก **Chili Research and Developmen**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2258>.

กรมวิชาการเกษตร. 2558. รายงานโครงการวิจัยการศึกษาความรุนแรงของผลกระทบและการเฝ้าระวังสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษร้ายแรงหรือมีความคงทนในสภาพแวดล้อม **Determination on the Impact of Pesticide Use and Monitoring of Hazardous Pesticide or Persistent Residues in the Environment**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2218>.

กรมวิชาการเกษตร. 2558. รายงานโครงการวิจัยการทดสอบเทคโนโลยีการผลิตพริกคุณภาพ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง **Technology Testing and Development on Chili Production for Quality Improvement in the Lower Northeast**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2168>.

กรมวิชาการเกษตร. 2558. โครงการทดสอบการผลิตพริกแบบผสมผสานในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน **Test on Appropriated Technology of Chilli Production by Integrated Management in the Upper North – East**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2167>.

กรมวิชาการเกษตร. 2558. รายงานโครงการวิจัย การพัฒนาการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างของวัตถุอันตรายทางการเกษตรให้ถูกต้อง แม่นยำตามมาตรฐานสากล **Expansion the Efficiency of Pesticide Multi - Residue Analysis to the International Standard**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2219>.

กรมวิชาการเกษตร. 2555. มาตรการควบคุมพิเศษระบบบัญชีรายชื่อโรงคัดบรรจุ (Establishment List,EL). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/showthread.php?mode=linear&tid=776&pid=0>.

กรมวิชาการเกษตร. 2553. การพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารพิษตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสในมังคุด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/showthread.php?mode=linear&tid=776&pid=0>.

กรมวิชาการเกษตร. 2553. การพัฒนาเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ สารพิษตกค้างกลุ่ม ออร์กาโนฟอสฟอรัสในพืชที่มีซิลิเฟอรัสสูง **Method Development for Organophosphorus Pesticide**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Analysis in High Sulphur Content Plant.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=844>.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2556. **วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหารเล่มที่ 1.** กรุงเทพฯ : ชุมชมสหกรณ์เภสัชกรแห่งประเทศไทย.
- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2561. **e-learning.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.e-learning.dss.go.th/xlms_dss/portal/index.jsp.
- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2558. **ความสมเหตุสมผลของการวัดสำหรับห้องปฏิบัติการเคมี 4 เล่ม เอกสารประกอบการฝึกอบรมวันที่ 17-21 สิงหาคม 2558.** สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ.
- กรองโภชนาการ. 2544. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย Nutritive Values Of Thai Foods.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/files/nutritive_values_of_thai_foods.pdf.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. **มาตรฐานสินค้าเกษตรมกษ. 9002-2556 Thai Agricultural Standard TAS 9002-2556 สารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด Pesticide Residues : Maximum residue Limits.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.acfs.go.th/standard/download/MAXIMUM_RESIDUE_LIMITS_new.pdf.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2560. **มาตรฐานสินค้าเกษตรมกษ. 1502-2560 Thai Agricultural Standard TAS 1502-2560 พริก Chilli Pepper.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.acfs.go.th/standard/download/CHILLI_PEPPER.pdf.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2560. **รายงานผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาพัฒนาแนวทางการจัดการความเสี่ยงจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนด้วยกระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วมปีที่ 3 : อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.deqp.go.th/media/images/3/AF/Final_report_phayamengrai.pdf.
- กระทรวงสาธารณสุข. 2557. **รายงานสถานการณ์โรคและภัยสุขภาพจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ปี 2557.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/situation/01_envocc_situation_57.pdf.
- กระทรวงสาธารณสุข. 2558. **รายงานสถานการณ์โรคและภัยสุขภาพจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ปี 2558.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/situation/01_envocc_situation_58.pdf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระทรวงสาธารณสุข. 2559. รายงานสถานการณ์โรคและภัยสุขภาพจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ปี 2559. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/situation/01_envocc_situation_59.pdf.
- จิราภา จอมไธสง. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร พริก. กรุงเทพฯ : ส่งเสริมและสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.
- จิตรา ค้ายมนต์,ลักขมี เดชานุรักษ์นุกูล,ศศิมา มั่งนิมิตร และวิทยา บัวศรี. 2550. โครงการวิจัย การวิจัยและพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบรับรองปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2848>.
- ทองสุข ปายะนันท์,จิตผกา สันต์ครบ,วิชาดา จงมีวาสนา,รัศมิยากร ศรีโครต และวีรวุฒิ วิทยนันท์. 2558. “การศึกษาสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลส้ม.” กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 57(4). 391-400.
- ทิพวรรณ นิ่งน้อย. 2559. แนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดียว (A Practical Guide for Single Laboratory Method Validation of Chemical Methods). กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.
- ธวัชชัย รัตน์เสศ. 2540. เทคโนโลยีสารกำจัดวัชพืช (Herbicide Technology). กรุงเทพฯ : ไร่เขียว
- นันทนา กัญยานุวัฒน์ และนุชนาท นาคำ. 2555. “การตรวจสอบความใช้ได้.” 4-61. ใน รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ 1/2555. แนวทางการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบทางเคมี. กรุงเทพฯ : สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- ปรกชล อุทัยย์. 2559. “สถานการณ์การนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืช การใช้ และการตกค้างในผลผลิต.” ใน การประชุมวิชาการเพื่อเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประจำปี 2559. กรุงเทพฯ พัทรี ภคกษมา,สุวรรณี สุวรรณี,สายสิน และสรมน สุทิน. 2559. “การตรวจสอบสารเคมีฆ่าแมลงตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผักในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ.” สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย *Aphet Journal*. 5(1). 22-30.
- พาลาก สิงหเสนี. 2540. พิษของยาฆ่าแมลงต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 5 ฉบับปรับปรุงแก้ไข. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559. สารกำจัดศัตรูพืช. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.pharmaco.vet.ku.ac.th/pdf_file/Pesticide_20161020.pdf.
- แมน อมรสิทธิ์,อมร เพชรสม,ยุวดี เชี่ยววัฒนา,อติทยา ศิริภิญญานนท์,ศรีวิไล โอมอภิญญาณ และอุมาพร สุขม่วง. 2552. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ *Principles and Technoques of Instrumental Analysis Spectroscopy*. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์ 50.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แม่น อมรสิทธิ์,อมร เพชรสม,พลกฤษณ์ แสงวนิช,ภควดี สุทธิไวยกิจ,มานพ สิทธิเดช,สายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์ และวันเพ็ญ ช้อนแก้ว. 2553. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ Principles and Techoques of Instrumental Analysis PART II Chromatography and Others.** กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์ 50.
- รัตติยากร ศรีโคตร และวิชาดา จงมีวาสนา. 2553. “การพัฒนาวิธีตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 18 ชนิดในเนื้อเยื่อสัตว์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี.” **กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.** 52(1-2) : 15-19.
- ลักขณา อมรสิน. 2544. **เคมีของสารกำจัดแมลง (Chemistry of Insecticides).** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร.
- ลักขมี เดชานุรักษ์นุกุล,ศศิมา มั่งนิมิตร และวิทยา บัวศรี. 2551. **การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และกลุ่มไพรีทรอยด์ ในผลไม้ โดยวิธี QuEChERS ด้วย Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)Validation of QuEChERS Method for Determinationof Organophosphate and Pyrethriod Pesticide Residues in Fruitby Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS).** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.doa.go.th/doaresearch/files/904_2551.pdf.
- วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์. 2560. **รายงานผลการวิจัยเรื่อง การศึกษาพัฒนาแนวทางการจัดการความเสี่ยงจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนด้วยกระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วม ปีที่ 2 : จังหวัดลำพูนและจังหวัดลำปาง.** กรุงเทพฯ : อินฟินิตี้ มีเดีย.
- วีรวุฒิ วิทยานันท์ และธรรณิศจรัส ไชยมงคล. 2561. “การพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสและกลุ่มสารสังเคราะห์ไพรีทรอยด์ตกค้างพร้อมกัน ในอาหารบางชนิด โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี.” **กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.** 60(1) : 29-44.
- วีระ ภาควุฑู และเขวาร์ตัน ศรีวรานนท์. 2557. “พริก ปลูกอย่างไรในภาวะโลกกำลังร้อน.” **สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).**
- สถาบันอาหาร. 2547. **รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.**
- สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร. 2549. **พริก การผลิต การจัดการ และการปรับปรุงพันธุ์.** อุตรธานี : เพรสมีเดีย.
- สุภาณี พิมพ์สมาน. 2540. **สารฆ่าแมลง. พิมพ์ครั้งที่ 2 แก้ไขเพิ่มเติม.** ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สาคร ศรีमुख. 2556. ผลกระทบจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทย (**The Impact of the Use of Agricultural Chemicals in Thailand**). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://library.senate.go.th/document/Ext6409/6409657_0002.PDF.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2547. **โครงการประเมินความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพของเกษตรกรจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช**. กรุงเทพฯ : กลุ่มพัฒนาความปลอดภัยด้านสารเคมี.
- สำนักนโยบายเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. **สถิติปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุดิบอันตรายทางการเกษตรปี 2554-2560**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://oldweb.oae.go.th/economicdata/pesticides.html>.
- อุดมลักษณ์ อุ้นจิตต์วรธนะ. 2548. **พิษและกลไกการออกฤทธิ์ของวัตถุมีพิษเกษตร**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- อุไรรัตน์ ก่อสุขวิวัฒน์. 2555. **ผลงานดีเด่น สกว ประจำปี 2555**. กรุงเทพฯ : วีกิจจำกัด.
- AOAC INTERNATIONAL. 2016. **Appendix F: Guidelines for Standard Method Performance Requirements**. [online]. Available : http://www.eoma.aoc.org/app_f.pdf.
- AOAC Official Method. 2016. **AOAC Official Method 2007.01 Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate Gas Chromatography / Mass Spectrometry and Liquid Chromatography/ Tandem Mass Spectrometry**. [online]. Available : <http://www.thenfl.com/pdf/AOAC%202007.1.pdf>.
- Anastassiades, M., Lehotay, S.J., Stajnbaher, D. and Schenck, F.J. 2003. **Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce**. [online]. Available : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12723926>.
- ASEAN Standard. 2011. **Asean Standard for Chilli Peppers (ASEAN Stan 21:2011)**. [online]. Available : <http://www.asean.org/storage/images/archive/AMAF%2033%20ASEAN%20Standard%20for%20Chilli%20Pepper.pdf>.
- ASEAN Standard. 2011. **Asean Standard for Sweet Pepper (ASEAN Stan 24:2011)**. [online]. Available : <http://www.asean.org/storage/images/archive/AMAF%2033%20ASEAN%20Standard%20Sweet%20pepper.pdf>.
- Ashutosh K., Srivastava, Satyajeet Rai, M. K., Srivastava, M., Lohani, M. K. R. Mudiam, L. P., Srivastava, A.K., Rai, S., Srivastava, M.K., Lohani, M., Mudiam, M.K.R. and Srivastava, L.P. 2014. **Determination of 17 Organophosphate Pesticide Residues in Mango by Modified QuEChERS Extraction Method Using GC-NPD/GC-MS and Hazard Index Estimation**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- in Lucknow, India.** [online]. Available : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4014508/pdf/pone.0096493.pdf>.
- Attallah, E.R., Barakat, D.A., Maatook, G.R. and Badawy, H.A. 2012. **Validation of a quick and easy (QuEChERS) method for the determination of pesticides residue in dried herbs.** [online]. Available : <https://pdfs.semanticscholar.org/5d34/cb35e05eecf664e912f0d5ed0e8d1352491b.pdf>.
- Aysal, P., Ambrus, A., Lehotay, S.J. and Andrew, C. 2007. **Validation of an efficient method for the determination of pesticide residues in fruits and vegetables using ethyl acetate for extraction.** [online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143400417308482>.
- Beasley, M. and Temple, W. 2013. Pyrethroid toxicity and its management. [online]. Available : <https://bpac.org.nz/BPJ/2013/December/docs/BPJ57-pyrethroid.pdf>.
- Codex Alimentarius. 2005. **Guidelines on the use of Mass Spectrometry (MS) for Identification, Confirmation and Quantitative Determination of Residues.** [online]. Available : [file:///C:/Users/lenovo/AppData/Local/Temp/CACGL-56-2005_Guidelines-on-the-Use-of-Mass-Spectrometry-\(MS\)-for-Identification,-Confirmation-and--2.pdf](file:///C:/Users/lenovo/AppData/Local/Temp/CACGL-56-2005_Guidelines-on-the-Use-of-Mass-Spectrometry-(MS)-for-Identification,-Confirmation-and--2.pdf).
- Codex Alimentarius. 2016. **Proposed draft Gridelines on performance criteria for methods of analysis for the determination of pesticide residues.** [online]. Available : http://www.fao.org/fao-who-codex-alimentarius/shproxy/zh/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-718-48%252FWD%252Fpr48_13e.pdf.
- Eurachem. 2012. **EURACHEM/CITAC Guide Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement.** Third Edition. [online]. Available : https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1.pdf.
- Eurachem. 2014. **The Fitness for Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics.** Second edition. [online]. Available : https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_EN.pdf.
- Gobo, A.B., Kurz, M.H.S, Pizzutti I.R., Adaime, M.B. and Zanella, R. 2004. **Development and Validation of Methodology for the Determination of Residues of Organophosphorus Pesticides in Tomatoes.** [online]. Available : <http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v15n6/22667.pdf>.

- Government of India. 2016. **Manual for Analysis of Pesticide Residue in Foods**. [online]. Available : https://www.fssai.gov.in/dam/jcr.../Manual_Pesticides_Residues_09_01_2017.
- Gupta R.C. 2012. **Veterinary Toxicology Basic and Principle**. 2nd Edition. San diego.
- International Accreditation Service. 2015. **Guidelines for food testing laboratory**. Available : <https://www.iasonline.org/wp-content/uploads/2017/06/Guidelines-for-Food-Testing-Laboratories-Aug-2015.pdf>.
- Kumar, M.A., Ruchi, H. and Sreenivasa M.A. 2015. **Validation of Modified QuChERS method using Low Cost Adsorbent and Screening of Selected Organochlorine and Organophosphorus Insecticides in Fruits and Vegetables**. [online]. Available : <http://www.isca.in/IJENS/Archive/v4/i5/4.ISCA-IRJEvS-2015-035.pdf>.
- Lehotay, S.J., Kok, de A., Hiemstra, M. and Bodegraven van. P. 2005. "Validation of a Fast and Easy Method for the Determination of 229 Pesticide Residues in Fruits and Vegetables Using Gas and Liquid Chromatography and Mass Spectrometric Detection." **J. AOAC**. 88(2) : 595.
- Ngrn, C.K., Khairatul A.M., Shahid, S.M. and Ismail, B.S. 2015. **Validation of a "multi-residue" analytical method for pesticide residue analysis in fruit**. [online]. Available : <http://ejtafs.mardi.gov.my/jtafs/41-1/Pesticide%20residue.pdf>
- Official Journal of the European Communities. 2002. Establishing Community methods of sampling for the official control of pesticide residues in and on products of plant and animal origin and repealing Directive 79/700/EEC. [online]. Available : <https://www.fsvps.ru/fsvps-docs/ru/usefulinf/files/es2002-63.pdf>.
- Ooraikul, S., Siriwong, W., Siripattanakul, S., Chotpantarat, S. and Robson, M. 2011. **Risk assessment of Organophosphate pesticide for chili consumption from chili farm area, Ubon Ratchthani province Thailand**. [online]. Available : <http://www.thaiscience.info/journals/Article/JHRE/10893075.pdf>.
- Pareja, L., Niell, S., Vryzas, Z., González, J., Cesio, M.V., Mourkidou, E.P. and Heinzen, H. **Comparison and evaluation of two methods for the pesticide residue analysis of organophosphates in yerba mate**. [online]. Available : <http://www.scielo.br/pdf/rbfar/v25n2/0102-695X-rbfar-25-02-0098.pdf>.
- Pickersgill, B. 1988. **The genus Capsicum : a multidisciplinary approach to the taxonomy of cultivated and wild plants**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SANCO/12571/2013. 2013. **Guidance document on analytical quality control and validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed.** [online]. Available : http://www.eurlpesticides.eu/library/docs/allcrl/AqcGuidance_Sanco_2013_12571.pdf.
- SANTE/11813/2017. 2017. **Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues and analysis in food and feed.** [online]. Available : https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2017-11813.pdf.
- Sapahin, H.A. Makahleh, and A. Saad, B. 2015. **Determination of organophosphorus pesticide residues in vegetables using solid phase micro-extraction coupled with gas chromatography–flame photometric detector.** [online]. Available : https://ac.els-cdn.com/S1878535214003414/1-s2.0-S1878535214003414-main.pdf?_tid=2e375c5b-27d0-44a0-a7e1-3da29bb4b089&acdnat=1529052368_e12fc8d7b531ca0a7ea51bd7496c3021.
- Sharma, S. S. and Kapadnis, K. H. 2015. **Development of Method for Determination of Pesticide Residues from Chilly and Ladyfinger by Using HPLC and GC-MS.** [online]. Available : <https://pdfs.semanticscholar.org/2a61/4148bf021ba678c86e2d0a7b9d59d8aa24f3.pdf>.
- Stoytcheva, M. and Zlatev, R. 2011. **Organophosphorus Pesticides Analysis.** [online]. Available : http://cdn.intechopen.com/pdfs/20989/InTech-Organophosphorus_pesticides_analysis.pdf.
- Ukpebor, J. and Ukpebor, E. 2016. **Application of QuEChERS method for multi-residue pesticides determination in lettuce and apple using gas chromatography- mass spectrometry.** [online]. Available : <https://www.ajol.info/index.php/njt/article/viewFile/140650/130391>.
- Vacondio, B., Birolli, W.G., Selegim, M.H.R., Gonçalves, S., Vasconcellos, S.P. and Porto, A.L.M. 2015. **Screening of Marine-derived Fungi Isolated from the sponge *Didemnum ligulum* for Biodegradation of Pentachlorophenol.** [online]. Available : <https://www.intechopen.com/books/advances-in-bioremediation-of-wastewater-and-polluted-soil/screening-of-marine-derived-fungi-isolated-from-the-sponge-didemnum-ligulum-for-biodegradation-of-pe>.
- World Health Organization. 2009. **The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification.** [online]. Available : http://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_2009.pdf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี 2554-2560

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี 2554-2560

หน่วย : ปริมาณ : ตัน

มูลค่า : ล้านบาท

ปี	สารเคมี									
	สารกำจัดวัชพืช (Herbicide)		สารกำจัดแมลง (Insecticide)		สารป้องกันและ กำจัดโรคราพืช (Fungicide)		อื่นๆ		รวม	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2554	112,177	11,480	34,672	5,938	12,179	3,875	5,511	777	164,538	22,070
2555	106,860	11,294	16,797	3,686	6,972	3,883	3,748	494	134,480	19,378
2556	137,049	14,873	21,485	4,201	10,350	4,828	3,942	514	172,826	24,416
2557	117,645	13,435	13,910	4,013	10,988	4,708	4,832	656	147,375	22,812
2558	119,971	11,016	12,927	3,684	11,088	3,839	5,560	787	149,546	19,326
2559	125,596	9,688	16,056	3,899	12,915	4,503	6,120	2,487	160,824	20,618
2560	148,979	13,686	21,601	6,166	19,923	6,974	7,814	1,096	198,317	27,922

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมวิชาการเกษตร, สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

อัตราผู้ป่วยนอกโรคพิษสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (รวมทุกรหัส) ปี พ.ศ. 2553-2559

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงอัตราผู้ป่วยนอกโรคพิษสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (รวมทุกรหัส) ปี พ.ศ.
2553-2559

ปี พ.ศ.	จำนวนประชากรกลางปี	จำนวนผู้ป่วย	อัตราป่วย
2553	63,701,703	1,851	2.91
2554	64,181,001	3,829	5.97
2555	64,266,365	8,066	12.55
2556	64,621,302	7,506	11.62
2557	64,955,313	7,954	12.25
2558	65,027,401	10,177	17.12
2559	65,013,495	8,689	14.47

ที่มา : ดัดแปลงจากสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์, กระทรวงสาธารณสุข (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ชื่อทางการค้าของคลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos), โพรฟีโนฟอส (Profenofos) และอีไทออน (Ethion)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ชื่อทางการค้าของคลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos), โพรฟีโนฟอส (Profenofos) และอีไทออน (Ethion)

ชื่อสามัญ	ชื่อการค้า
คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos)	<p>คลอร์ไพริฟอส 400 กรัม/ลิตร อีซี (Chlorpyrifos 400 g/l EC), อาโซครอน, มัคฟอส (Makfos), เดอร์สแบน 40 อีซี (Dursban 40 EC), เดก้า, เอสฟอส, วันเนส, คลอร์ไพริฟอส 40 จี/แอล อีซี (Chlorpyrifos 40 g/l EC), บูซาท็อกซ์ (Boozatox), คอสมิก 40, คลอร์ไพริฟอส 40 % อีซี (Chlorpyrifos 40 % EC), แพ็ค 40, คลอร์ดิน 40, คลอร์ไพริฟอส, เลือเทรล 40, สิงห์ฟอส, ไฟเขียว, อูดี, ไพรีเน็กซ์ 40 อีซี (pyrinex 40 EC), ลอร์สแบน (Lorsban), คูฟอส, มิเตอร์ดี, แอ็กคลอร์ 40, ยอร์จแมน (Yodman), ไชรีเน็กซ์ 40, แม็กซาซ่า (Maxzaza), ไพรีวอพ, เจอร์ฟอส, ไทเกอร์ฟอส 40, เซฟวีร์ฟอส, ฟิลด์ค็อกซ์ 40, แอ็คบอม, ซ้างคลอร์ไพริ 40, แซทเทอฟอส 40, คลอไพกรีน, ไคแอน 40, ซูโนครอส 40, เปโซ 40, แรนฟอส 40, ลอร์สโฟ 40, พาแซปฟอส, ไฮนิคซ์ 40, สมิ้ง, ไพรีเน็กซ์ 40, คลอดิฟอส, ลอร์สโฟ 25, ไฮนิคซ์ 25, เก็ท 75 ดับบลิวจี (Gett 75 WG), Farmspan, คลอลีเอท 40, มัคฟอส, บาดีการ์ด์ 40, นิกกี, ฟูจอยน์, ซูยแบน 25 ดับบลิวพี (Huisban 25 WP), ซิลเทค 25 ดับบลิวพี (Cijtech 25 WP), คลอร์ฟายด์ 40, โคซอน 40 (Cozon 40), เบ็ทเทอร์ไพริฟอส, มังกรซ่า, คิวไพนิค 25, เอคิวฟอส, ไวซูดาน ซูเปอร์ 40, นิเวแบน 40, ซูโลฟอส, ไอคลอร์ไพริฟอส 40, วันเนส, เจอร์คิงส์, ยูโคส, ร็อกแบน, วายแทรค (Ytrak), โอมอฟอส (Omorfos), เคอร์ฟอส, เอ็มฟอส, ฮอบแมน 40, ฮ็อกกี, ออสมอน ดี, เซคเกอร์, แสนเคิ้ล 40, ฮองคอง, บิควิก, สปีดแบน 40, ลิฟท์พาส, ฟรีฟอม 400, ฟอสเอ็ม 40, มาซ่า, โกลเด็นฟอส 40, โคลฟอส 40, ฟรีคิก 40, แซคสตาร์ 40, เจาะเกราะ, คลอร์ไพ อาร์.เอฟ, ทวินมาครอส, แจสเปอร์, วิกัลเลอร์ฟอส, ฟอสซีเอท 40, คาร์โบชิน, มินเลนเทค 40, จี.โอฟอส, ซูเปอร์ไฟเวท, บิ๊กฟอส 40, กัปตันแบน 40, โบโลก้า, แซนฟอส (Sanfos), เจเอสฟอส, ไฟเขียว 5 จี, ปราก, นิโน, มารินู, ไมโครโซม, มอเตอร์เวย์, อีโต้ (ETO), ซาญแบค 40, วิยูฟอส 40, ลิ่งค์ฟอส, ฟรีแฮนด์, บุมแบน, แคลเทียม, คอสแทน 40, แอโรฟอส 25, เอ้าท์ไซด์ 40, อนุเรท, ออสบอนด์, คลอร์ไพริฟอส 5 จี (Chlorpyrifos 5 G), เอราไฟฟอส 40, นาวาโรน, ไลท์คลอร์ไพริ, ชาร์</p>

ตารางภาคผนวกที่ 3 ชื่อทางการค้าของคลอริไพริฟอส (Chlorpyrifos), โพรฟีโนฟอส (Profenofos) และอีไทออน (Ethion) (ต่อ)

ชื่อสามัญ	ชื่อการค้า
คลอริไพริฟอส (chlorpyrifos)	แรง, เนเปีย, คาคลอฟอส, เจบอม, ลิบราฟอส, ไดริเก้ 40 (DYRIKE 40), ยูโด (Judo), เซอร์ฟูลี่, รีแกตต์ 40 (Regatt 40), คลอลาซอน, เคสโต, เอสคอน 40, ยูคองก้า 40, มิวไฟฟอส 40, ไฮแอมไพริฟอส 40, นูชาท็อกซ์ 5 จี, แอร์บัส, ขอร์จแมน 5 จี, โฮเกีย (Hokeer), เพสท์เอ็กซ์, ทซ์เบน, พิตเอ็ด, อาโซครอน, ฟิโรฟอส 40, ฟอสเวย์, ไพริเซ็ค, อะตอมมิล, แสบบี้ฟอส 40, แทมมี, เอโอ คลอริไพริฟอส 40, แอนสเล็ค 40, ฮาร์ดฟอส 40, ฟอสสมาร์ท, พาโตخاب 5 จี, นนท์ฟอส, เน็คทาย 40, Nightberg,
โพรฟีโนฟอส (Profenofos)	โพรฟีโนฟอส (profenofos), การูก้า, เมเจอร์ฟอส (Majorfos), แคททิครอน, สตาร์ครอน, เอเจนต้า (Ajanta), ทีโพร โพรฟีโนฟอส เทค (Profenofos Tech.), ซีเนเตอร์ (center), คาลา, จานบิน, โอเมก้า, ไอมิว, เบ็ทเทียร์, ซีโพร 50, วันเดอร์ครอน, ซิดโนฟอส, ปาเกียฟิวส์, จี.จีฟอส, แอลฟีโน 500, ไฮเทค-โพรฟี 500, ยูซ่า, โพรฟีโนฟอส, สปีดโพร, ฟอสแพร์, เลสเบร์, มอนจา, เซเนกัล, บิ๊กครอน 50, เซอร์มาท็อป, บรุกแลนด์, ฟิโนเร้, เมคัลโพร, แซนโพร (Sanpro), กัดดาซี, อะกราไซค์, วิยูโนฟอส, ลิงก์โพร, นานเวย์ (NANWAY), โพรสวิต (Proswiss), กรีนซีลิครอน, ทวินฟิฟอส, ฟินาโซ-50 (FINOZO-50), รีฟอร์ม, โพรฟีโนฟอส 50, โอโนฟอส, คร็อบบา (Drogba), โพรฟีโนฟอส 95% ทีซี (Profenofos 95% TC), ยูโนครอน 50, โบรกเกอร์, โรมิอุส, แซงคูส, ดีเลอร์, ซิมฟิครอน 50, แซดโพรฟี 50, โบกี, ไคคริน, บาวเวอร์เวฟ, เซโรฟอส, เจเจ้า, โพรฟี-ริช, ฮันเตอร์ฟอส, เบลารุส, ไฮเปอร์ครอน, ซานริครอน, ซาโมโต้, Reform, Profenofos 500, Profenofos 50 EC
อีไทออน (Ethion)	Ethion Tech., อีไทออน 50, อีไรก้า, ฟิไรต้า, กรีนไทออน, อี-โพน, ไทก้อน, อีไทฟอน, คอลินออน, การ์เด็นไทออน, แฟร์มง, บราเซีย, เยนเนอรัลไทออน, อีสเทอร์นไทออน, อีไทออน, นีออน, ไทออนสตาร์, จี.อี.ไอ้, เบ็ทเทอร์อี, เอ็น ไทออน, ไฮเนอล วี, เจทีออน, วิด 50, ซีรอกโค, ไฮเทค อีไทออน 500 อีซี, ฮิลล์นิก, อีฟาร์ซอล, ไธเมครอน, แคล็กซ์ัน, อีโอน่า, อินาร่า, นีคูออน

ภาคผนวก ง

ปริมาณตัวอย่างขั้นต่ำสำหรับการเตรียมเพื่อวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณตัวอย่างขั้นต่ำสำหรับการเตรียมเพื่อวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ

	Commodity classification ⁽¹⁾	Examples	Nature of primary sample to be taken	Minimum size of each laboratory sample
1.	All fresh fruits 1. All fresh vegetables including potatoes and sugar beets and excluding herbs			
1.1.	Small sized fresh products units generally < 25 g	Berries, peas, olives	Whole units, or packages, or units taken with a sampling device	1 kg
1.2.	Medium sized fresh products, units generally 25 to 250 g	Apples, oranges	Whole units	1 kg (at least 10 units)
1.3.	Large sized fresh products, units generally > 250 g	Cabbages, cucumbers, grapes (bunches)	Whole unit(s)	2 kg (at least 5 units)
2.	Pulses	Pulses		1 kg
	Cereal grains	Rice, wheat		1 kg
	Tree nuts	Except coconuts		1 kg
		Coconuts		5 units
	Oilseeds	Peanuts		0,5 kg
Seeds for beverages and sweets	Coffee beans		0,5 kg	
3.	Herbs	Fresh parsley	Whole units	0,5 kg
		Others, fresh		0,2 kg
	<i>(for dried herbs see part 4 of this table)</i>			
	Spices	Dried	Whole units or taken with a sampling device	0,1 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณตัวอย่างขั้นต่ำสำหรับการเตรียมเพื่อวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ (ต่อ)

4.	Secondary food commodities of plant origin, dried fruits, vegetables, herbs, hops, milled cereal products Derived products of plant origin, teas, herb teas, vegetable oils, juices and miscellaneous products e.g. processed olives and citrus molasses Manufactured foods (single ingredient) of plant origin, with or without packing medium or minor ingredients, such as flavouring agents, spices and condiments, and which is normally pre-packed and ready for consumption with or without cooking Manufactured foods (multi-ingredient) of plant origin, including products with ingredients of animal origin where the ingredient(s) of plant origin predominate(s), breads and other cooked cereal products			
4.1	Products of high unit value		Packages or units taken with a sampling device	0,1 kg ⁽²⁾
4.2	Solid products of low bulk	Hops, tea, herb tea	Packaged units or units taken with a sampling device	0,2 kg
4.3	Other solid products	Bread, flour, dried fruit	Packages or other whole units, or units taken with a sampling device	0,5 kg
4.4	Liquid products	Vegetable oils, juices	Packaged units or units taken with a sampling device	0,5 l or 0,5 kg

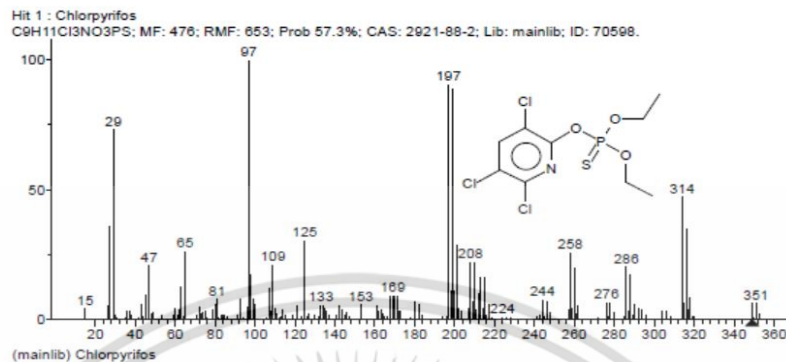
⁽¹⁾ EC classification of foods: Annex I to Directive 86/362/EEC and Annex I to Directive 86/363/EEC, both as amended by Directive 93/57/EC (OJ L 211, 23.8.1993, p. 1) and Annex I to Directive 90/642/EEC, as amended by Directive 95/38/EC (OJ L 197, 22.8.1995, p. 14).

⁽²⁾ A smaller laboratory sample may be taken from a product of exceptionally high value but the reason for doing so should be noted in the sampling record.

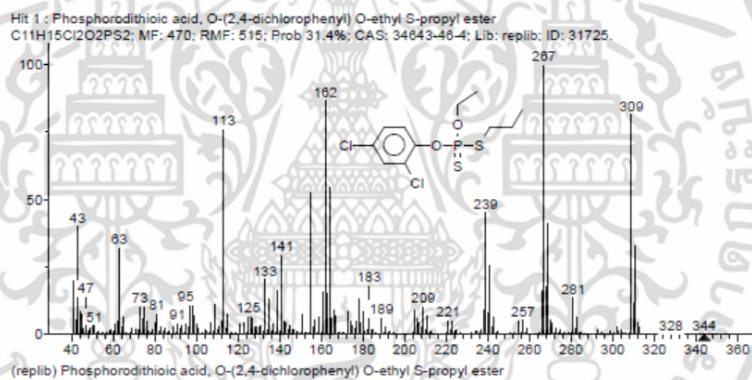
ที่มา: COMMISSION DIRECTIVE 2002/63/EC (2002)

ภาคผนวก จ

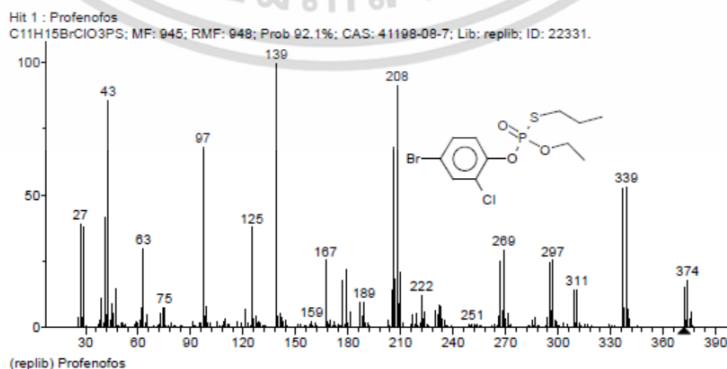
แมสสเปกตรัมของคลอร์ไพริฟอส โพรไทโอฟอส โพรฟีโนฟอส และอีไทออน



ภาพที่ 1 Chlorpyrifos Mass spectrum by GC/MS

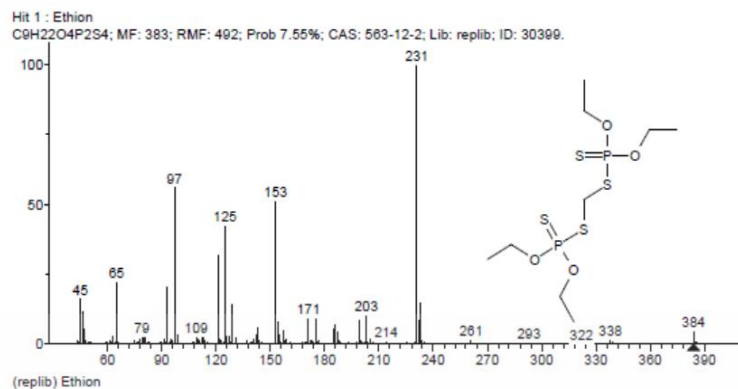


ภาพที่ 2 Prothiofos Mass spectrum by GC/MS



ภาพที่ 3 Profenofos Mass spectrum by GC/MS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 Ethion Mass spectrum by GC/MS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลทดสอบตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลทดสอบคลอรีนไฟรฟอส ในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ชนิดพริก	โรงงาน	คลอรีนไฟรฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)			
			Modern trade			
		A	A	B	C	D
13/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0075	0.0000	0.0159	0.0240
16/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
20/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	0.0000	0.0103	0.0073	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	-	-	-	-
27/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0130	0.0000	0.0000	0.0216	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0218	0.0000	0.0440	0.0000
31/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0134	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
3/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0343	0.0000
9/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0094	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	0.0000	0.0076	0.0087	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0187
12/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0139	-	-	-	-
15/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
19/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0539	0.0000	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0251	-	-	0.0519	0.0324
22/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
6/7/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0075	0.0000	0.0000	0.0000
30/7/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
5/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0188	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลทดสอบคลอรีนไฟรฟอส ในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ (ต่อ)

คลอรีนไฟรฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)						
วันที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดพริก	โรงงาน	Modern trade			
			A	B	C	D
14/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
21/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
28/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
รวม		28	11	11	11	11
จำนวนที่ตรวจพบ < MRL(<3ppm)		6	4	2	7	3
% การตรวจพบ		21.43	36.36	18.18	63.64	27.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ โพรโทโอพอสในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ

โพรโทโอพอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)						
วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ชนิดพริก	โรงงาน A	Modern trade			
			A	B	C	D
13/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
20/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	-	-	-	-
27/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0700	0.0000	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
3/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0202
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
15/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
19/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0000	0.0000	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	0.0000	0.0229
22/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
6/7/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30/7/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
5/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
14/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์โพรไทโอฟอสในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ(ต่อ)

โพรไทโอฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)						
วันที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดพริก	โรงงาน	Modern trade			
			A	B	C	D
21/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
28/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
รวม		28	11	11	11	11
จำนวนที่ตรวจพบ < MRL(<3ppm)		0	1	0	0	2
% การตรวจพบ		0	9.09	0	0	18.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ โพรพิโนฟอสในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ชนิดพริก	โรงงาน	Modern trade			
			A	B	C	D
13/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0420	0.0000	0.0219	0.0000
16/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
20/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	0.0000	0.1544	0.1506	0.0237
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	-	-	-	-
27/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0000	0.0642	0.1506	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.1308	0.0000	0.0000	0.0000
31/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
3/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0230	0.0000	0.0000
9/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0513	0.04369	0.0565	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0079	0.0000	0.0321	0.1614
10/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	0.0000	0.0283	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0626
12/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
15/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
19/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0000	0.0000	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	0.0000	0.0229
22/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
6/7/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.5274
30/7/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
5/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
14/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
21/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้ถึงมือผู้รับใช้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ โพรฟีนอฟูสในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ (ต่อ)

โพรฟีนอฟูส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)						
วันที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดพริก	โรงงาน A	Modern trade			
			A	B	C	D
28/8/2017	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
รวม		28	11	11	11	11
จำนวนที่ตรวจพบ < MRL(<3ppm)		0	4	5	5	5
% การตรวจพบ		0	36.36	45.45	45.45	45.45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ไอโทอนในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ

ไอโทอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)						
วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ชนิดพริก	โรงงาน	Modern trade			
			A	B	C	D
13/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0187	0.0179	0.0000	0.0000
16/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
20/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	-	-	-	-
27/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31/5/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
3/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
15/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
19/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	0.0000	0.0000	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	0.0000	0.0000
22/6/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
6/7/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	-	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30/7/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
5/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
14/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ไอโทอนในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเขียว-แดงจากแหล่งต่างๆ (ต่อ)

ไอโทอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)						
วันที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดพริก	โรงงาน A	Modern trade			
			A	B	C	D
28/8/2017	พริกชี้ฟ้าเขียว	0.0000	-	-	-	-
	พริกชี้ฟ้าแดง	0.0000	-	-	-	-
รวม		28	11	11	11	11
จำนวนที่ตรวจพบ < MRL(<3ppm)		0	1	1	0	0
% การตรวจพบ		0	9.09	9.09	0	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์แยกตามชนิดพริก

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์คลอโรไพริฟอส

วันที่	แหล่ง เก็บตัวอย่าง	คลอโรไพริฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)					
		พริกชี้ฟ้า	พริกชี้ฟ้าแดง	พริกจินดา	พริกจินดา	พริกชี้หนู	พริกหนุ่ม
		เขียว		เขียว	แดง	สวน	
24/7/2017	Modern trade A	0.0286	0.0160	0.0000	0.0232	0.0000	0.0000
	Modern trade B	0.0231	0.0000	0.0159	0.0154	0.0000	0.0000
	Modern trade C	0.0229	0.0304	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade D	0.0000	0.0159	0.0000	0.0152	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0000	0.0162	0.0163	0.0000	0.0000	0.0156
	ตลาด B	0.0000	0.0454	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด C	0.0000	0.0162	0.0000	0.0000	0.0157	0.0000
2/8/2017	Modern trade A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade B	0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade C	0.0189	0.0279	0.0428	0.0250	0.0000	0.0515
	Modern trade D	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0000	0.0195	0.0170	0.0239	0.0162	0.0000
	ตลาด B	0.0735	0.0000	0.0000	0.0000	0.0156	0.0235
	ตลาด C	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0175
14/8/2017	Modern trade A	0.0853	0.0000	0.0156	0.0153	0.0000	0.0274
	Modern trade B	0.0000	0.0000	0.0176	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade C	0.0000	0.0440	0.0400	0.0633	0.0000	0.0000
	Modern trade D	0.0153	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0161	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0325	0.0000
	ตลาด C	0.0000	0.0396	0.0000	0.0000	0.0000	0.0189
23/8/2017	Modern trade A	0.0000	0.0107	0.0114	0.0000	0.0000	0.0079
	Modern trade B	0.0436	0.0000	0.0000	0.0101	0.0000	0.0066
	Modern trade C	0.0776	0.0000	0.0067	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade D	0.0159	0.0061	0.0000	0.0061	0.0143	0.0000
	ตลาด A	0.0225	0.0670	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด B	0.0000	0.0068	0.0066	0.0741	0.0561	0.0000
	ตลาด C	0.0077	0.0075	0.2186	0.0167	0.0036	0.0000
รวม		28	28	28	28	28	28
จำนวนที่ตรวจพบ < MRL(<3ppm)		14	15	11	11	7	8
% การตรวจพบ		50.00	53.57	39.29	39.29	25.00	28.57

ตารางภาคผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ไพโรไทโอฟอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	แหล่ง เก็บตัวอย่าง	โพรไทโอฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)					
		พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริกชี้	พริก
		เขียว	แดง	เขียว	แดง	หนุสวน	หนุ่ม
24/7/2017	Modern trade A	0.0000	0.0173	0.0000	0.0204	0.0000	0.0176
	Modern trade B	0.0000	0.0000	0.0180	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade C	0.0175	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0203
	Modern trade D	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0167	0.0000	0.0177	0.0176	0.0198	0.0000
	ตลาด B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0165	0.0373	0.0178
	ตลาด C	0.0195	0.0000	0.0200	0.0181	0.0214	0.0176
2/8/2017	Modern trade A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade C	0.0187	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade D	0.0000	0.0192	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0216	0.0000	0.0000
	ตลาด B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด C	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14/8/2017	Modern trade A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0189	0.0000	0.0000
	Modern trade B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0203	0.0312	0.0000
	Modern trade C	0.0000	0.0218	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade D	0.0000	0.0240	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0258	0.0000
	ตลาด B	0.0181	0.0000	0.0000	0.0000	0.0195	0.0000
	ตลาด C	0.0179	0.0000	0.0000	0.0000	0.0216	0.0000
23/8/2017	Modern trade A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade C	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade D	0.0000	0.0000	0.0000	0.0232	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0178	0.0000
	ตลาด C	0.0000	0.0159	0.0000	0.0237	0.0000	0.0000
รวม		28	28	28	28	28	28
จำนวนที่ตรวจพบ < MRL(<3ppm)		6	5	3	9	8	4
% การตรวจพบ		21.43	17.86	10.71	32.14	28.57	14.29

ตารางภาคผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์โพรฟิโนฟอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	แหล่ง เก็บตัวอย่าง	โพรฟีนโฟส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ppm)					
		พริกชี้ฟ้า		พริกจินดา		พริกชี้	พริก
		เขียว	แดง	เขียว	แดง	หนุสวน	หนุ่ม
24/7/2017	Modern trade A	0.0000	0.0782	0.0000	0.0179	0.0171	0.0187
	Modern trade B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0228	0.0169	0.0000
	Modern trade C	0.0263	0.0187	0.0000	0.0000	0.0181	0.0186
	Modern trade D	0.0000	0.0174	0.0000	0.0193	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0170	0.0164	0.0178	0.0168	0.0169	0.0176
	ตลาด B	0.0171	0.1838	0.0174	0.0201	0.0248	0.0177
	ตลาด C	0.0171	0.0000	0.0175	0.0171	0.0186	0.0172
2/8/2017	Modern trade A	0.0000	0.0404	0.0289	0.0232	0.0000	0.0000
	Modern trade B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0198	0.0000	0.0000
	Modern trade C	0.0346	0.0000	0.0176	0.0243	0.0000	0.0000
	Modern trade D	0.0000	0.0000	0.0000	0.0172	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0000	0.0170	0.0808	0.0000	0.0192	0.0000
	ตลาด B	0.2185	0.0000	0.0000	0.0000	0.0222	0.0000
	ตลาด C	0.0000	0.0179	0.0000	0.0759	0.0000	0.0174
14/8/2017	Modern trade A	0.0193	0.0185	0.0199	0.0277	0.0181	0.0000
	Modern trade B	0.0187	0.0189	0.0000	0.0199	0.0196	0.0202
	Modern trade C	0.0200	0.0190	0.0000	0.0230	0.0200	0.0000
	Modern trade D	0.0000	0.0176	0.0188	0.0182	0.0000	0.0000
	ตลาด A	0.0000	0.0179	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ตลาด B	0.0177	0.0000	0.0178	0.0184	0.0000	0.0000
	ตลาด C	0.0000	0.0000	0.0212	0.0743	0.0181	0.0000
23/8/2017	Modern trade A	0.0000	0.0221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade B	0.0000	0.0000	0.0220	0.0647	0.0000	0.0000
	Modern trade C	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Modern trade D	0.0211	0.0225	0.0217	0.0000	0.0000	0.0398
	ตลาด A	0.0000	0.0000	0.0212	0.0276	0.0000	0.0000
	ตลาด B	0.0234	0.0000	0.0000	0.0656	0.0204	0.0209
	ตลาด C	0.0222	0.0228	0.0774	0.0210	0.0206	0.0000
รวม		28	28	28	28	28	28
จำนวนที่ตรวจพบ < MRL(<3ppm)		13	16	14	21	14	9
% การตรวจพบ		46.43	57.14	50	75	50	32.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางปภาดา ประจง
วัน เดือน ปีเกิด	13 กรกฎาคม 2523
ที่อยู่	103/27 หมู่ 9 ถนนฉลองกรุง แขวงลำผักชี เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530 E-mail. paphada1980@gmail.com
ประวัติการศึกษา	2544 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร 2560 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการความปลอดภัย อาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	วิเคราะห์อาหารด้านเคมี โภชนาการในเนื้อสัตว์แปรรูป อาหาร พร้อมรับประทาน และส่วนผสมอาหาร วิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในไขมัน สัตว์ปีก วิเคราะห์สารตกค้างกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผัก และผลไม้
ประสบการณ์การทำงาน	นักวิทยาศาสตร์เคมี (พนักงาน) สำนักงาน ปศุสัตว์เขต 1 นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ 3 (พนักงาน) สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ 2547-ปัจจุบัน ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการเคมี บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) (มินบุรี) อาจารย์พิเศษ ปฏิบัติการชีวเคมีและเคมีอาหาร สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำเสนอผลงาน

เรื่อง “การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์
สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพริกชี้ฟ้าโดยวิธี
QuEChERS ร่วมกับ GC/MS

Validation of Organophosphate Analysis Method Using
QuEChERS coupled with GC/MS in Chili pepper

(*Capsicum annuum* Linn.)” 15th National Postharvest

Technology Conference, 13-14 July 2017. Khonkaen, Thailand.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้