

รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุด

แผนงานวิจัย วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตผลเกษตร

โครงการวิจัย การประเมินคุณภาพผลไม้สดโดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy

กิจกรรมการประเมินแมลงศัตรูพืชต่อคุณภาพผลิตผลโดยใช้เทคนิคไม่ทำลายตัวอย่าง

ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) การตรวจสอบการปนเปื้อนแมลงวันผลไม้ของพริก (*Bactrocera latifrons* Diptera: Tephritidae) ในพริกชี้หนูโดยใช้เทคนิค NIR Spectroscopy

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) Infestation Monitoring of Chili Fruit Fly (*Bactrocera latifrons* Diptera: Tephritidae) in Chili by Near Infrared Spectroscopy Technique

คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง : นางกรรณิการ์ เฟ็งคุ่ม สังกัด กวป.

ผู้ร่วมงาน : นางสาวจรรุวรรณ บางแวก สังกัด กวป.

บทคัดย่อ

พริกชี้หนูเป็นพืชส่งออกที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทยแต่การส่งออกมักพบปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ตรวจพบการปนเปื้อนของแมลงวันพริก (*Bactrocera latifrons* (Hendel) (Diptera: Tephritidae)) ปัจจุบันตรวจสอบการปนเปื้อนโดยใช้วิธีการสุ่มตรวจสอบด้วยสายตาและการผ่าผลพริก ซึ่งอาจไม่มีความแม่นยำและเป็นการทำลายผลิตผล เทคนิค near infrared (NIR) spectroscopy เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการตรวจสอบการปนเปื้อนของแมลงวันพริกในผลพริก การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบและคัดแยกผลพริกชี้หนูที่ปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันพริกด้วยเทคนิค NIRS ทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรกรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ ในปี 2561-2562 ด้วยการสร้างแบบจำลองการคัดแยกพริกชี้หนูที่มีการปนเปื้อนแมลงวันพริกและที่ไม่มีการปนเปื้อนจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานแสง โดยนำผลพริกสดที่มีไข่และหนอนวัย 1 มาตรวจวัดหาอัตราการดูดกลืนสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRS รุ่น 6500 (NIRSystems 6500) ของบริษัท FOSS ที่ความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตรกับคุณภาพภายในของพริกซึ่งมีการปนเปื้อนไข่และหนอนวัย 1 และไม่มีการปนเปื้อนสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี Partial Least Square Regression (PLSR) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler ของบริษัท Camo Oslo ด้วยการกำหนดค่ากลุ่มของผลพริกปกติไม่มีการปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันพริกให้มีค่าเป็น 0 และค่ากลุ่มของพริกที่มีการปนเปื้อนของไข่หรือหนอนแมลงวันพริกมีค่าเป็น 1 จากการทดลองได้สมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) การปนเปื้อนแมลงวันพริกในกลุ่มพริกเขียว พริกแดง และพริกเขียวแดง เท่ากับ 0.93, 0.85 และ 0.87 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration, SEC) เท่ากับ 0.15, 0.20 และ 0.20 ขณะที่ค่า มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการประเมิน (Standard errors of prediction; SEP) เท่ากับ 0.26, 0.22 และ 0.21 และพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) มีค่าสูงกว่าค่า SEP โดยค่า SD การปนเปื้อนแมลงวันพริกของพริกเขียว พริกแดง และพริกเขียวแดง เท่ากับ 0.40, 0.35 และ 0.35 จากผลการ

ทดสอบพบว่า สมการสำหรับการประเมินการปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันฟริกในพริกชี้หนูสามารถนำไปใช้จำแนกผลพริกที่มีการปนเปื้อนแมลงวันฟริกออกจากผลพริกปกติ ในกลุ่มพริกชี้หนูสีเขียว แดง และสีเขียวปนแดงได้ที่ระดับความแม่นยำ เท่ากับ 87, 76 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Abstract

Chili is one of Thailand's export crops. However Chili fruit fly (*Bactrocera latifrons* (Hendel) (Diptera: Tephritidae)) are the important problems in chili fruit. Current detection uses a randomly detect methods with naked eyes and destroying samples, which the decision of the examiner is probably incorrect and undermines product. Near infrared (NIR) spectroscopy is an alternative method for detecting chili fruit flies contamination in chili fruit. The aim of this study was to examine and isolate the chili fruit contaminated with eggs and larva of fruit fly using NIRS techniques. The study was carried out at the Laboratory of Postharvest and Processing Research and Development Division, Bangkok in 2018 to 2019. Therefore, the evaluation of egg and larva chili fruit fly contaminated within chili fruit was developed by using the relation of internal quality (insect infestation or no insect infestation) with the absorbed energy in near infrared region. Fresh chili fruits containing eggs and 1 instar larva of chili fruit fly were used to measure the spectral absorption rate with FOSS's NIRS Model 6500 (NIRSystems 6500) at 400-2,500 nm wavelengths and the internal quality of the chili during contaminated and not contaminated. From the results, the calibration and validation equation that created by Create a partial least square (PLS) calibration with Camo Oslo's The Unscrambler software package. With the configuration of 2 groups of variables: the normal chili fruit was 0 and the chili contaminated was 1 by testing with green chili, red chili, and green and red chili. The equations given correlation coefficients (R) were 0.93, 0.85 and 0.87. The Standard Error of Calibration, SEC values of chili fruit fly infection in green chili, red chili, and green and red chili were 0.15, 0.20 and 0.20, while the Standard errors of prediction; SEP of chili fruit fly infection in three groups of chili were 0.26, 0.22 and 0.21, and found that the Standard Deviation, SD values of all 3 groups of chili were higher than the SEP value. From these results showed that the equation developed from NIR technique can be classified the infested chili fruit from the non-infested chili fruit in green, red and green and red chili with accuracy of 87, 76 and 68 %, respectively.

คำนำ

การปนเปื้อนแมลงวันผลไม้ระยะไข่และหนอนภายในผลพริก เป็นปัญหาสำคัญต่อการผลิตผักและผลไม้ โดยเฉพาะในพริกสด ซึ่งยากต่อการสังเกตเห็นด้วยตาเปล่า ผู้ประกอบการคัดบรรจุไม่สามารถคัดแยกผลพริกที่มีการปนเปื้อนไข่และหนอนขนาดเล็กออกได้ ทำให้สินค้าไม่ผ่านมาตรฐานการส่งออกในหลายประเทศ เช่น ยุโรป ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น ซึ่งถือว่าแมลงวันผลไม้เป็นศัตรูพืชกักกันไม่ยินยอมให้มีการปนเปื้อนไปกับสินค้า ซึ่งในปีที่ผ่านมาไทยได้รับการแจ้งเตือนเรื่องพบการปนเปื้อนแมลงวันผลไม้ในผลไม้และผักหลายชนิดแมลงวันผลไม้ที่พบเข้าทำลายในผลพริกทั่วโลกมีมากกว่า 15 ชนิด แต่ที่พบในประเทศไทยมีรายงานเพียงชนิดเดียว คือ แมลงวันพริก จัดเป็นแมลงวันผลไม้ชนิดหนึ่งสร้างความเสียหายให้กับผลผลิตการเกษตรโดยเฉพาะพืชในตระกูลพริก มะเขือ มีชื่อสามัญว่า solanum fruit fly และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bactrocera latifrons* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) พบเข้าทำลายในพริกหลายสายพันธุ์ ได้แก่ พริกเหลือง พริกชี้ฟ้า พริกกะเหรี่ยง พริกยอดสน พริกหัวเรือ พริกส้ม พริกเขียวมันดำ พริกหยวก และพริกชี้หนูสวนพบการเข้าทำลายตลอดช่วงระยะการเก็บเกี่ยว ตั้งแต่ระยะเข้าสีจนถึงพริกสุก โดยปริมาณการเข้าทำลายสูงในพริกสุกชุดแรก (พริกเม็ดงาม) (นุชรีย์, 2550; วิภาดาและคณะ, 2552; Stonehouse *et al.*, 2004) มนตรี (2544) รายงานว่า แมลงวันผลไม้ ชนิดนี้มีเขตแพร่กระจายทั่วไปในประเทศไทย มีพืชอาศัยหลายชนิด เช่น พริกชี้ฟ้า พริกชี้หนูเชียงใหม่ มะเขือเปราะ มะม่วงต้น มะม่วงเครือ มะเขือพวง เป็นต้นการเข้าทำลายของแมลงวันพริกเกิดจากตัวเต็มวัยเพศเมียมีอวัยวะวางไข่ (ovipositor) ที่แหลมและแข็งแรง ทางผิวของเนื้อเยื่อพืชลึก 0.5-1.0 มิลลิเมตรเพื่อวางไข่ที่มีลักษณะรูปร่างยาวรี สีขาวขุ่น ผิวเป็นมันสะท้อนแสง เมื่อใกล้ฟักสีของไข่จะเข้มขึ้น ไข่จะฟักเป็นตัวหนอนมีลักษณะหัวแหลมท้ายป้าน มีสีขาว หรือสีใกล้เคียงกับสีของพืชอาหาร ตัวหนอนเคลื่อนที่โดยการยืดหดลำตัวซึ่งเป็นปล้องๆ ส่วนหัวมีปากเป็นตะขอแข็งสีดำหนึ่งคู่เรียกว่า “mouth hook” ซึ่งเป็นอวัยวะที่หนอนใช้ขอนไชกินเนื้อเยื่อภายในผลพริกทำให้ผลพริกเน่าและร่วง นอกจากนี้ตัวหนอนยังมีความสามารถพิเศษในการงอตัวและติด กระเด็นไปได้ไกล (หนอนวัย 3) ซึ่งช่วยให้หนอนหาที่ที่เหมาะสมเพื่อเข้าดักแด้ในดิน ระยะหนอนมี 3 ระยะ ดักแด้มีรูปร่างกลมรีคล้ายถังเบียร์ ไม่เคลื่อนไหว ระยะแรกจะมีสีขาวและค่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล สีจะเข้มขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นจะฟักออกเป็นตัวเต็มวัยซึ่งมีปากบางใสสะท้อนแสงและมีแถบสีเหลืองที่ส่วนอก จึงเรียกว่า “แมลงวันทอง” สันญาณิและคณะ (2551) ศึกษาวงจรชีวิตของแมลงวันผลไม้ *B. Latifrons* (Hendel) บนผลพริกสด พบว่า ระยะไข่ใช้เวลา 44-68 ชั่วโมง ระยะหนอน 8-10 วัน ระยะดักแด้ 11-14 วัน ตัวเต็มวัยหลังจากออกจากดักแด้ 8 วันจะจับคู่ผสมพันธุ์และวางไข่ โดยจับคู่ผสมพันธุ์ในช่วงเวลาเย็นถึงพลบค่ำ ตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่ตลอดอายุขัยได้ 124-325 ฟอง วางไข่สูงสุด 17 ฟอง ต่อวันอายุตัวเต็มวัยเพศเมียประมาณ 93-183 วัน จากระยะไข่ถึงตัวเต็มวัยใช้เวลา 21-27 วัน

การเข้าทำลายของแมลงวันพริกในระยะเริ่มแรกจะสังเกตเห็นได้จากอาการพบอาการช้ำบริเวณใต้ผิวเปลือกเมื่อหนอนโตขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ผลเน่าและมึนน้ำไหลเยิ้มออกทางรูที่หนอนเจาะออกมาเพื่อเข้าดักแด้ในดิน นอกจากนี้รอยแผลที่เกิดขึ้นจากการวางไข่ของแมลงยังส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชเข้าทำลายตามทำให้ผลเน่าและร่วงหล่นก่อนระยะเก็บเกี่ยว ในพื้นที่ที่ไม่มีการป้องกันหรือควบคุมแมลงวันพริกความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเข้าทำลายอาจรุนแรงมากถึง 100 เปอร์เซ็นต์ Shimizu *et al.* (2007) รายงานว่า ในประเทศมาเลเซีย

แมลงวันพริกสร้างความเสียหายต่อผลผลิตสูงถึง 60-80 เปอร์เซ็นต์การทำลายของแมลงวันพริกส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิต ผลผลิตต่อพื้นที่ และการส่งออกผลพริกสดทำให้ผลผลิตเสียหาย และคุณภาพต่ำไม่สามารถส่งออกได้เนื่องจากหลายประเทศมีข้อกำหนดในการที่ผลไม้ที่ส่งเข้าประเทศต้องปราศจากแมลงชนิดซึ่งเป็นปัญหาด้านกักกันพืชและถูกใช้เป็นเครื่องมือกีดกันทางการค้าจากต่างประเทศ สำหรับการป้องกันกำจัดแมลงวันพริก ต้องทำตลอดกระบวนการผลิตพริกเพื่อลดการปนเปื้อนตั้งแต่ในแปลงปลูก จากคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรในการควบคุมแมลงวันพริกในแปลงปลูก (วิภาดา และคณะ, 2554)คือ เก็บผลพริกที่พบการเข้าทำลายจากแมลงวันผลไม้ออกไปทำลายร่วมกับพ่นด้วยเหยื่อพิษโปรตีน (สารฆ่าแมลง malathion 57%ECอัตรา 10 มิลลิลิตร กับเหยื่อโปรตีนอินไวท์อัตรา 200 มิลลิลิตร ในน้ำ 5 ลิตร) ทุกสัปดาห์ โดยเริ่มพ่นเหยื่อพิษโปรตีนประมาณหนึ่งเดือนก่อนผลพริกเข้าสีพ่นเหยื่อพิษโปรตีนเป็นจุดทุกต้นรอบแปลง และพ่นเป็นแถวต้นละจุด ห่างกันแถวละ 5 เมตร ทุกสัปดาห์และพ่นด้วยน้ำมันปิโตรเลียม SK 99 83.9 % EC มีแนวโน้มในการลดการเข้าทำลายจากแมลงวันผลไม้ชนิด *B. latifrons* ได้แต่ไม่สามารถป้องกันได้ทั้งหมด ส่วนวิธีการจัดการในโรงคัดบรรจุที่ผู้ประกอบการนิยมใช้คือการคัดคุณภาพเอาผลที่มีแมลงทำลายออกด้วยคนซึ่งไม่สามารถคัดผลที่ปนเปื้อนออกได้ทั้งหมด และใช้วิธีการรมด้วยสารรมเมทิลโบรไมด์ในกรณีส่งออก โดยอัตราตั้งแต่ 29-32 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรระยะเวลาการรม 2 ชั่วโมง แต่การใช้สารรมก่อให้เกิดความร้อนมีผลต่อคุณภาพพริกทำให้อายุการวางจำหน่ายลดลง และบางครั้งยังพบสารพิษตกค้างในรูปของโบรไมด์ไอออน (Bromide ion) ซึ่งสหภาพยุโรปได้กำหนดค่าโบรไมด์ไอออนตกค้างในผลพริกได้ไม่เกิน 50ppm

การใช้วิธีการตรวจการปนเปื้อนของแมลงวันผลไม้โดยไม่ทำลายตัวอย่างเป็นวิธีการทางเลือกที่น่าสนใจ โดยเฉพาะเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy, NIRs) เป็นเทคโนโลยีตรวจสอบการปนเปื้อนของแมลงที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยใช้หลักการสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation, R) ระหว่างค่าการดูดซับแสงเนียร์อินฟราเรด (spectrum) ที่ส่องผ่านวัตถุที่ต้องการทำการวิเคราะห์ และค่าปริมาณการปนเปื้อนแมลงที่ตรวจนับได้จากการผ่าผลพริก หากสมการที่ได้มีค่าความสัมพันธ์สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (standard error of prediction, SEP) ต่ำแสดงว่าสมการที่ได้มีความแม่นยำในการทำนายค่าของตัวอย่างแทนการผ่าตรวจนับแมลงในผลพริกได้ เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบแต่ละตัวอย่างสั้น ไม่ต้องผ่าผลพริก วารุณีและคณะ (2551) นำเทคโนโลยีนี้มาศึกษาเบื้องต้นเพื่อพัฒนาระบบการคัดแยกมะม่วงที่มีการปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันผลไม้จากมะม่วงที่ดีด้วยเครื่อง NIRs รุ่น FQA-NIR Gun ของบริษัท FANTEC เมือง Kosai ประเทศญี่ปุ่น ในการวัด NIR โดยใช้โปรแกรม CA Maker หลังจากนั้นใช้โปรแกรม The Unscrambler ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างมะม่วงทั้งหมดในการทดลองเป็นมะม่วงดิบพันธุ์มะม่วงน้ำดอกไม้ โดยเตรียมตัวอย่างมะม่วงที่มีการปนเปื้อนของไข่และหนอนแมลงวันผลไม้ มีวิธีการ 2 เทคนิค คือ การให้แมลงวางไข่ (forced infestation) และการเปิดผิวเพื่อวางไข่และตัวอ่อนแมลง (artificial inoculation) จากการทดลองพบว่าทั้งสองวิธีให้ผลที่ดี สรุปการพัฒนาสมการจากสเปกตรัม NIR ในช่วงคลื่นสั้นเพื่อคัดแยกมะม่วงที่มีการปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันผลไม้จากมะม่วงควบคุม พบว่ามีความถูกต้อง 70-75% (คลาดเคลื่อน 25%) กรณีการ (2562) ศึกษาการสร้างแบบจำลองการคัดแยกผลชมพูที่มีไข่แมลงวันผลไม้และผลชมพูที่ไม่มีไข่แมลงวันผลไม้ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานแสง จากเครื่อง

FQA-NIRGUN แบบพกพา ซึ่งเป็นชุดวัดการดูดกลืนแสงย่าน NIR ในระบบสะท้อนกลับ (interactance) ในช่วงความยาวคลื่น 700–1100 nm กับการมีหรือไม่มีไข่แมลงวันผลไม้ภายในผลชมพู ทำการสร้างแบบจำลอง 2 กลุ่มคือกลุ่ม calibration และ กลุ่ม validation ผลการทดลองพบว่าแบบจำลอง ที่สร้างขึ้นสามารถตัดแยกกลุ่มชมพูที่มีไข่แมลงวันผลไม้และชมพูที่ไม่มีไข่ได้ด้วยความถูกต้องโดยรวม 69.77 % และ 72.60% ตามลำดับ ซึ่งค่าความถูกต้องยังไม่เหมาะสม ต้องปรับขนาดพื้นที่ของการวัด (measuring area) ของเครื่องให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้การตกกระทบของแสงจากเครื่องมือตรงกับตำแหน่งของกลุ่มไข่ของแมลงวันผลไม้และการศึกษาของรณฤทธิ์และคณะ (2557) โดยการสร้างแบบจำลองการตัดแยกกระเจี๊ยบเขียวที่มีหนอนและไม่มีหนอนจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานแสงชุดวัดการดูดกลืนแสงย่าน NIR ในระบบส่องทะลุผ่าน (transmittance) ที่ถูกพัฒนาขึ้นบนฝักระเจี๊ยบเขียวสดในช่วงความยาวคลื่น 650 – 1100 nm กับคุณภาพภายในของกระเจี๊ยบเขียวสดระหว่างมีหนอนและไม่มีหนอน แบบจำลองการตัดแยกคุณภาพภายในฝักระเจี๊ยบเขียวสดถูกสร้างขึ้นด้วยวิธี principle component analysis (PCA) , soft independent modeling of class analogy (SIMCA) และ partial least square discriminant analysis (PLSDA) ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองการตัดแยกด้วยวิธี PLSDA มีความแม่นยำมากที่สุด สามารถตัดแยกกลุ่มได้มีความถูกต้องรวม 90% จากผลการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการตัดแยกกลุ่มฝักผลไม้ที่มีการปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันผลไม้จากกลุ่มที่ดีด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีนั้นมีความเป็นไปได้แต่ยังต้องมีการพัฒนาเทคนิคต่อไปเพื่อให้มีความถูกต้องในการตัดแยกยิ่งขึ้นซึ่งในภาพทดลองนี้เพื่อให้ได้วิธีการและสมการเบื้องต้นสำหรับการตรวจสอบการปนเปื้อนแมลงวันฟริกในฟริกชี้หนู ด้วยเครื่อง NIR ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำมาปรับใช้กับสินค้าเกษตรโดยไม่ต้องสัมผัสกับตัวสินค้าสามารถนำมาปรับใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกฟริกได้

วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

1. เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer จากบริษัท FOSS รุ่น 6500 (NIRSystems 6500)
2. ห้องเลี้ยงแมลงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและช่วงแสงได้ (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ช่วงแสงที่ 12:12)
3. กรงเลี้ยงแมลงขนาด 64.5x70.0x60.0 เซนติเมตร และ 35.0x40.0.0x30.0 เซนติเมตร
4. ฟริกชี้หนูพันธุ์ซูเปอร์ฮอท
5. อาหารสำหรับแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัย ได้แก่ น้ำตาล ยีสต์ (yeast hydrolysate และ yeast extract)

- วิธีการ

การเลี้ยงแมลงเพื่อการทดสอบ

1. เก็บตัวอย่างผลฟริกที่มีแมลงวันฟริก *Bactrocera latifrons* เข้าทำลาย นำมาใส่กล่องเลี้ยงแมลงที่รองด้วยซีลียละเอียดเพื่อเป็นวัสดุดูดความชื้น ร่อนแมลงวันฟริกเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะดักแต่ในห้องเลี้ยงแมลงที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
2. เก็บดักแต่แมลงวันฟริกใส่ในกรงเลี้ยงแมลงขนาด 35.0x40.0.0x30.0 เซนติเมตร เพื่อพักเป็นตัวเต็มวัย เมื่อดักพักเป็นตัวเต็มวัยจึงทำการให้ น้ำ และเลี้ยงด้วยอาหารตัวเต็มวัยที่ประกอบด้วย น้ำตาล yeast

hydrolysate และ yeast extract อัตรา 1000:100:100 เพื่อให้ตัวเต็มวัยพัฒนาไข่ นำกรงเลี้ยงแมลงวางบนชั้นที่ให้แสงสว่างขนาด 4000 Lux นาน 12 ชั่วโมงต่อวัน

3. เมื่อแมลงวันฟริกตัวเต็มวัยอายุ 2 สัปดาห์ แมลงจะอยู่ในระยะที่พร้อมวางไข่ ทำการจับตัวเต็มวัยจำนวน 200 คู่ ใส่ในกรงเลี้ยงแมลงขนาด 64.5x70.0x60.0 เซนติเมตร เพื่อให้แมลงวางไข่ พร้อมกับให้น้ำ และอาหารตัวเต็มวัย

การเตรียมผลฟริกเพื่อการทดลอง

1. เตรียมฟริกซูปเปอร์ฮอตสีแดงและสีเขียวที่มีความสดใหม่ นำมาล้างทำความสะอาดด้วยการแช่ในน้ำยาล้างผักนาน 10 นาทีล้างต้อด้วยน้ำสะอาดอีก 2 ครั้ง จากนั้นผึ่งให้แห้ง
2. ทำการคัดขนาดและคุณภาพฟริกโดยเลือกฟริกที่มีขนาดตรง ไม่มีร่องรอยการเข้าทำลายของโรค และแมลง และทำการตัดขั้วฟริกให้สั้นประมาณ 0.5 เซนติเมตร ก่อนนำไปให้แมลงวางไข่
3. นำฟริกที่ผ่านการล้างทำความสะอาดและคัดคุณภาพจำนวน 100 ผล ใส่ในกรงแมลงวันฟริกที่พร้อมวางไข่นาน 2 ชั่วโมงนำผลฟริกมาทำเครื่องหมายบริเวณที่แมลงวางไข่
4. เตรียมแมลงวันฟริกระยะไข่ และหนอนวัย 1 สำหรับใช้ในการทดลอง โดยระยะไข่ จะทิ้งระยะเวลาไว้นาน 2-5 ชั่วโมงก่อนนำไปทำการทดลอง ส่วนระยะหนอนวัย 1 จะเลี้ยงต่อในกล่องเลี้ยงแมลงนาน 4-5 วัน ก่อนการทดลอง

การทดสอบเพื่อหาสมการการตรวจสอบ

1. นำผลฟริกสดที่มีไข่และหนอนวัย 1 มาตรวจวัดหาอัตราการดูดกลืนสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRS รุ่น 6500 (NIRSystems 6500) ของบริษัท FOSS ที่ความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร ใช้เซลล์ขนาด 21.5x5.5x4.5 เซนติเมตร โดยบรรจุฟริกเต็มเซลล์ ซึ่งบรรจุผลฟริกซูปเปอร์ฮอตได้ประมาณ 25 ผล
2. ใช้อัตราผลฟริกที่มีการปนเปื้อนแมลงวันฟริก 7 อัตรา คือ 0 1 5 10 15 20 และ 25 ผลใส่ไว้ด้านหน้าเซลล์ และใส่ผลฟริกที่ไม่มีแมลงปนเปื้อนจนครบ 25 ผล เพื่อให้เต็มเซลล์
3. การทดสอบแยกทำในฟริก 2 ระยะ คือ ระยะฟริกแดง และฟริกเขียว แมลง 2 ระยะ คือ ระยะไข่ และระยะหนอนโดยใช้จำนวนตัวอย่างที่ตรวจวัดทั้งหมดแยกได้ดังนี้ฟริกแดงระยะไข่ จำนวน ..ตัวอย่าง ฟริกแดงระยะหนอนวัย 1 จำนวน ..ตัวอย่าง ฟริกเขียวระยะไข่ จำนวน..ตัวอย่าง และฟริกเขียวระยะหนอนวัย 1 จำนวน..ตัวอย่าง ทำการ scan ตัวอย่างละ 2 ครั้ง นำมาเฉลี่ยได้เป็นค่า spectra ของตัวอย่าง
4. หลังการตรวจวัด เก็บผลฟริกในกล่องเลี้ยงแมลงที่รองการดาษทิชชูเพื่อดูดซับความชื้น นำไปเก็บไว้ในห้องเลี้ยงแมลงที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสนาน 5-7 วัน เพื่อรอจนแมลงวันฟริกเจริญเติบโตเป็นหนอนวัย 3 จึงทำการผ่าผลฟริกเพื่อตรวจนับปริมาณแมลง
5. นำspectra ที่ได้จากการตรวจวัดมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler ของบริษัท Camo Oslo คัดเลือกสมการที่มีประสิทธิภาพโดยพิจารณาจากค่า Correlation Coefficient (R) สูง ค่า Standard Error of Calibration (SEC) ต่ำ และค่า Standard Error of Prediction (SEP) ต่ำ

6. การตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น โดยนำไปประเมินผลพริกชี้หนูซูเปอร์ฮอทที่มีและไม่มี การปนเปื้อนแมลงวันพริกชนิดละ 60 ผลนำไป scan ด้วยเครื่อง NIRs และผ่าผลพริกเพื่อตรวจนับ ปริมาณแมลงเทียบกับค่าที่วัดได้โดยสมการ

เวลาและสถานที่

ระยะเวลาที่ดำเนินการ เริ่มต้น ตุลาคม 2560 ปีที่สิ้นสุด กันยายน 2563

สถานที่ดำเนินการทดลอง กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผล

เกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองตรวจสอบการปนเปื้อนแมลงวันพริกด้วยเครื่อง NIRs ครั้งนี้ใช้วิธีการเตรียมผลพริกที่มีการปนเปื้อนแมลงวันพริกด้วยการให้ตัวเต็มวัยวางไข่ในผลพริก แล้วเลี้ยงต่อในห้องเลี้ยงแมลงจนได้ระยะของแมลงตามที่ต้องการ ซึ่งระยะไข่ใช้เวลา 2-5 ชั่วโมง ระยะหนอนวัย 1 ใช้เวลา 4-5 วัน ส่วนหนอนวัย 2 และ 3 นั้น ต้องใช้เวลา มากกว่า 7 วัน ซึ่งผลพริกมีลักษณะนิ่ม และ อันเป็นผลจากการทำลายของแมลงซึ่งมีขนาดตัวโตขึ้น ซึ่งไม่สามารถนำเข้าเครื่องตรวจวัดได้ ลักษณะการเข้าทำลายของหนอนแมลงวันพริกในระยะวัย 2 และ 3 นั้นชัดเจนสามารถตรวจสอบด้วยตาเปล่าและการบีบผลพริกด้วยมือ เกษตรกรและผู้ประกอบการสามารถแยกผลพริกที่มีการปนเปื้อนออกจากพริกปกติได้ ดังนั้นในครั้งนี้นี้จึงเน้นการศึกษาในแมลงวันพริกระยะไข่ และหนอนวัย 1 ซึ่งไม่สามารถแยกการปนเปื้อนออกจากพริกปกติได้ด้วยตาเปล่าและการสัมผัส

เพื่อให้ได้สมการที่ครอบคลุมทั้งชี้หนูซูเปอร์ฮอทระยะเก็บเกี่ยว จึงทดสอบในตัวอย่างพริกชี้หนูพันธุ์ซูเปอร์ฮอททั้งสีแดงและสีเขียว และเพื่อให้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีความหลากหลายของระดับการปนเปื้อนแมลงวันพริก จึงใส่ผลพริกที่มีแมลงวันพริกในแต่ละตัวอย่างที่ระดับต่างๆ กัน ตั้งแต่ 0 1 5 10 15 20 และ 25 ผลต่อพริกทั้งหมด 25 ผล นำไปตรวจวัดค่าการดูดซับแสงย่าน Near Infrared ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในพริกแดงเท่ากับ 270 ตัวอย่าง และพริกเขียว 74 ตัวอย่างสเปกตรัมของตัวอย่างพริกชี้หนูสีเขียว สีแดงที่มีการไข่และหนอนวัย 1 อายุ 1 และ 2 วัน และผลพริกปกติ แสดงดังFigure 1 จากภาพสังเกตเห็นว่า สเปกตรัมของตัวอย่างที่มีไข่ หนอนวัย 1 อายุ 1 และ 2 วัน และสเปกตรัมของตัวอย่างที่ไม่มีไข่และหนอน มีการซ้อนทับกัน ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ชัดเจน

จากคุณสมบัติของแสงเนียร์อินฟราเรดเมื่อยิงแสงผ่านวัตถุอินทรีย์วัตถุจะมีการถ่ายเทพลังงานทำให้โมเลกุลของวัตถุเกิดการสั่นวัตถุเหล่านั้นจะมีความสามารถในการดูดกลืนหรือสะท้อนกลับพลังงานแสงเนียร์อินฟราเรดที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถนำมาประเมินหาองค์ประกอบของสารเคมีอินทรีย์ โดยเฉพาะโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น O-H, C-H, และ N-H groups ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้เป็นพื้นฐานของกลุ่มสารอินทรีย์พวก น้ำคาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล แป้ง เป็นต้น) กรด น้ำมัน และโปรตีน สำหรับองค์ประกอบพื้นฐานของพริกชี้หนูประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 8.4โปรตีน 4.1 ไขมัน 1.0 เส้นใย 7.5 และน้ำ 79 เปอร์เซ็นต์ (ยูดีและคณะ, 2541)

สำหรับองค์ประกอบพื้นฐานของพริกชี้หนู พบว่า พริกมีความชื้น 78-93% เถ้า 5.26% โปรตีน 16.72% ไขมัน 8.80% เยื่อใย 22.04% แคลเซียม0.10% ฟอสฟอรัส 0.45% และพลังงาน 4,943-5,359 แคลอรีต่อกรัม

(ภัทรธา, 2545) ซึ่งเมื่อเทียบกับองค์ประกอบพื้นฐานของแมลงโดยทั่วไปคือ น้ำ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต (อรนุช และคณะ, 2561) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้สามารถตรวจวัดได้ด้วย NIRs

ในการตรวจวัดการปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันฟริกในฟริกซีหนูซูปเปอร์ฮอท พบว่าความยาวคลื่นในช่วง 1300-1650 เส้น spectra ที่ได้มีค่าการดูดกลืนแสงมากในช่วงความยาวคลื่น 1450 และ 1940 นาโนเมตร ซึ่งเป็น peak ของน้ำ

วิธีการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของแมลงวันผลไม้เป็นการตรวจสอบเชิงคุณภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มผลฟริกสีเขียว สีแดง และรวมสีเขียวและแดง ที่มีการปนเปื้อนของหนอนและไข่แมลงวันฟริก ด้วย วิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้ข้อมูลการดูดกลืนแสง (spectrum) เริ่มต้น (original) แบบ Full cross validation กับข้อมูลปริมาณแมลงในห้องปฏิบัติการที่ได้จากการผ่าผลฟริกและนับจำนวนไข่หรือหนอนที่มีอยู่ในผลมาหาความสัมพันธ์กัน โดยการคำนวณแบ่งออกเป็น 2 วิธี ตามข้อมูลปริมาณแมลงที่นำมาใช้ ได้แก่

1. ใช้ข้อมูลปริมาณไข่และหนอนแมลงวันฟริกทั้งหมด
2. กำหนดค่ากลุ่ม (ค่าตัวแปรหุ่น) ของผลฟริกปกติให้ค่าเป็น 0 และค่ากลุ่มของฟริกที่มีการปนเปื้อนของไข่หรือหนอนแมลงวันฟริกมีค่าเป็น 1

ซึ่งผลของการวิเคราะห์ด้วยการสร้างแบบจำลองได้ผลดังนี้

1. การวิเคราะห์แบบใช้ข้อมูลปริมาณไข่และหนอนแมลงวันฟริกทั้งหมดเพื่อทดสอบว่าข้อมูลการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับปริมาณไข่และหนอนวัย 1 ที่ปนเปื้อนในผลฟริกหรือไม่ ซึ่งผลการวิเคราะห์ในฟริกเขียว ฟริกแดง และทั้งฟริกเขียวและแดง แสดงไว้ใน Table 1 โดยพบว่าค่าสหสัมพันธ์ (R) ของปริมาณแมลงที่ปนเปื้อนในฟริกทั้งเขียว แดง และทั้งฟริกเขียวและแดง กับค่าการทำนาย อยู่ระหว่าง 0.93, 0.83 และ 0.82 โดยมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่ม Standard Error of Calibration (SEC) ต่ำกว่าค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย Standard Error of Prediction (SEP) ในทุกกลุ่มฟริกโดยค่า SEC ของฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง เท่ากับ 2.52, 6.77 และ 6.89 ขณะที่ค่า SEP ของฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง เท่ากับ 3.74, 6.98 และ 7.25 มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (F) ของฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง 15, 5 และ 9 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) จากผลการตรวจนับแมลงในฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง เท่ากับ 6.84, 10.13 และ 10.03 ซึ่งค่า SD ของทั้ง 3 กลุ่มฟริกมีค่าสูงกว่าค่า SEP แสดงว่าสมการการประเมินปริมาณการปนเปื้อนไข่และหนอนวัย 1 ของแมลงวันฟริกนี้มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณการปนเปื้อนของแมลงวันฟริกในผลฟริกได้ โดยสมการได้จากการทดสอบประเมินปริมาณการปนเปื้อนในฟริกเขียวที่ระดับ 0-25 ตัว ฟริกแดงที่ระดับ 0-42 ตัว และฟริกเขียวแดงที่ระดับ 0-44 ตัว สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย regression coefficient ของสมการการวิเคราะห์เชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ระดับการปนเปื้อนไข่และหนอนวัย 1 แมลงวันทองในฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง พบมีปัจจัยหลายตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยในฟริกเขียวมีปัจจัยที่มีผล 15 ปัจจัย ฟริกแดง 5 ปัจจัย และฟริกเขียวแดง 9 ปัจจัย โดยพบว่าค่า regression coefficient ที่ความยาวคลื่น 1450 และ 1940 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับน้ำ ซึ่งพบมาทั้งในฟริกและในแมลง ความยาวคลื่น 1580 1700 และ 1900 นาโนเมตร เป็นช่วงค่าการดูดกลืนแสงของโมเลกุลในกลุ่ม

ของ starch และ glucose (O-H group) ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของโคตินซึ่งเป็นผิวหนังของแมลง ส่วน 1964 นาโนเมตร เป็นช่วงค่าการดูดกลืนแสงของโมเลกุลในกลุ่มของโปรตีน (N-H group) peak ของโปรตีนในแมลง (Figure 2)

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของการปนเปื้อนแมลงวันฟริกของฟริกทั้ง 3 กลุ่ม พบค่า R^2 ของฟริกทั้ง 3 กลุ่มดังนี้ ฟริกเขียว 0.88 ฟริกแดง 0.69 ฟริกเขียวแดง 0.68 (Figure 3) จากผลที่ได้พบว่าในกลุ่มฟริกแดง และฟริกเขียวแดงมีค่า R^2 ค่อนข้างต่ำ แสดงว่าสมการที่ได้ยังไม่มีประสิทธิภาพ ต้องทำการปรับปรุงเพื่อให้ได้ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 ให้มากที่สุด

ขั้นตอนการทำ Validation เพื่อทดสอบว่า สมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้หรือไม่ โดยทำการทดสอบกับ 3 กลุ่มฟริก คือ ฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดงที่การปนเปื้อนไข่และหนอนแมลงวันฟริกวัย 1 แบบสุ่มจำนวน 60 ตัวอย่าง นำตัวอย่างไป scan ด้วยเครื่อง NIRs จากนั้นนำค่าที่ทำนายได้จากสมการเปรียบเทียบกับปริมาณการปนเปื้อนแมลงที่ตรวจนับได้ว่ามีความถูกต้องมากน้อยแค่ไหนโดยใช้ค่า SEP ของการทำนายกับค่าการตรวจนับปริมาณการปนเปื้อนมาหาค่าความแตกต่าง และนำมาหาค่า bias หากค่า bias มีค่าน้อย รวมทั้ง R^2 แสดงว่าสมการที่ได้เหมาะแก่การนำไปใช้งานซึ่งผลการตรวจสอบความแม่นยำของสมการแสดงไว้ใน Table 2 โดยพบว่าค่า bias ในกลุ่ม ฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง เท่ากับ -0.07, -0.78 และ -1.80 พบว่าในกลุ่มฟริกเขียวมีค่า R^2 และ ค่า bias ต่ำกว่ากลุ่มฟริกแดง และเขียวแดง อาจด้วยในกลุ่มฟริกเขียวใช้ปริมาณตัวอย่างในการทดลองน้อยกว่ากลุ่มอื่นมาก และช่วงการตรวจสอบก็น้อยกว่าจึงทำให้สมการที่ได้มีประสิทธิภาพสูงกว่า ขณะที่สมการที่ตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนแมลงวันฟริกในกลุ่มฟริกแดงและเขียวแดงยังไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากมีค่า R^2 ที่น้อย และค่า bias มาก

2. การวิเคราะห์แบบกำหนดค่ากลุ่มการปนเปื้อนแมลงวันฟริกในผลฟริกเพื่อทดสอบว่าข้อมูลการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับการปนเปื้อนไข่และหนอนวัย 1 ในผลฟริกหรือไม่หรือไม่ ซึ่งผลการวิเคราะห์ในฟริกเขียว ฟริกแดง และทั้งฟริกเขียวและแดง แสดงไว้ใน Table 3 โดยพบว่าค่าสหสัมพันธ์ (R) ของฟริกทั้งเขียว แดง และทั้งฟริกเขียวและแดง มีค่าเท่ากับ 0.93, 0.85 และ 0.87 โดยมีค่า SEC ต่ำกว่า SEP ในทุกกลุ่มฟริก โดยค่า SEC ของฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง เท่ากับ 0.15, 0.20 และ 0.20 ขณะที่ค่า SEP ของฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง เท่ากับ 0.26, 0.22 และ 0.21 มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (F) ของฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง 17, 17 และ 19 ตามลำดับ และพบว่าค่า SD ของทั้ง 3 กลุ่มฟริกมีค่าสูงกว่าค่า SEP โดยค่า SD ของฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง เท่ากับ 0.40, 0.35 และ 0.35 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย regression coefficient ของสมการการวิเคราะห์เชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ระดับการปนเปื้อนไข่และหนอนวัย 1 แมลงวันทองในฟริกเขียว ฟริกแดง และฟริกเขียวแดง พบมีปัจจัยหลายตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยในฟริกเขียวมีปัจจัยที่มีผล 17 ปัจจัย ฟริกแดง 17 ปัจจัย และฟริกเขียวแดง 19 ปัจจัย โดยมี peak ที่เกี่ยวข้องแสดงใน Figure 4 ส่วนใหญ่เป็น peak ของน้ำ คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ส่วนความสัมพันธ์จากการทำนายการคัดแยกปนเปื้อนผลฟริกที่มีไข่และหนอนวัย 1 ในผลฟริกสีเขียว แดง และทั้งเขียวและแดง กับผลฟริกที่ไม่มีการปนเปื้อน พบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.87, 0.76 และ 0.68 ตามลำดับ (Figure 5)

ขั้นตอนการทำ Validation กับ 3 กลุ่มพริก คือ พริกเขียว พริกแดง และพริกเขียวแดง ที่การปนเปื้อนไข่ และหนอนแมลงวันพริกวัย 1 ผลการตรวจสอบความแม่นยำของสมการแสดงไว้ใน Table 4 โดยค่า bias ในกลุ่ม พริกเขียว พริกแดง และพริกเขียวแดง เท่ากับ -0.06, -0.08 และ -0.10 ซึ่งทั้ง 3 กลุ่มพริกมีค่า bias ที่น้อย แสดงว่าการสร้างสมการการทำนายด้วยวิธีการกำหนดค่ากลุ่มการปนเปื้อนแมลงวันพริกในผลพริกได้สมการที่มี ประสิทธิภาพ โดยพบว่าในทุกกลุ่มพริกมีค่า R^2 และ ค่า bias ดีกว่า มีประสิทธิภาพการทำนายการปนเปื้อนดีกว่า การวิเคราะห์โดยใช้ปริมาณการปนเปื้อนแมลง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีสามารถใช้ตรวจสอบและคัดแยกผลพริกชี้หนูที่ปนเปื้อนไข่และ หนอนแมลงวันพริกวัย 1 ออกจากผลพริกปรกติได้ ในพริกชี้หนูสีเขียว สีแดง และสีเขียวแดง โดยมีช่วงการ ปนเปื้อนในพริกเขียวที่ระดับ 0-25 ตัว พริกแดงที่ระดับ 0-42ตัว และพริกเขียวแดงที่ระดับ 0-44 ตัว โดยมีค่า สหสัมพันธ์ (R) ของพริกเขียว แดง และทั้งพริกเขียวและแดง เท่ากับ 0.93, 0.85 และ 0.87 และค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.87, 0.76 และ 0.68 ตามลำดับ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

กลุ่มเป้าหมายคือ เกษตรกร ผู้ประกอบการโรงคัดบรรจุ ผู้ส่งออกผักผลไม้ หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ภาคเอกชน ประชาชน นิสิต นักศึกษา โดยเผยแพร่ในรูปแบบตำรา สิ่งพิมพ์ ผลงานวิจัยในวารสาร และคำแนะนำ

เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม. 2562. การตรวจสอบไข่แมลงวันผลไม้ (*Bactrocera dorsalis* Hendel) ในชมพู่ทับทิมจันทร์ โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy. เกษตร 47 (ฉบับพิเศษ 1) : 959-964.
- รณฤทธิ ฤทธิธิน, ลลิตา ออมสิน, บุญยงช ทองสงโสม, ศุทธิหทัย โภชนากรณ์, และสรุพร ณรงค์วงศ์วัฒนา. 2557. ว. วิทย.กษ. 45 : 3/1 (พิเศษ) : 309-312
- วารุณี ธนะแพสย์, ศุมาพร เกษมสำราญ, สิริภา สราญวงศ์, และ สุมิโอะ คาวาโน. 2551. การตรวจหาไข่และ หนอนของแมลงวันผลไม้ในมะม่วงส่งออกโดยใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. ว. วิทย. กษ. 39 : 3 (พิเศษ) : 54-57.
- วิภาดา ปลอดครบุรี, สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น, ศรุต สุทธิอารมณ และประชาธิปไตย พงษ์ภิญโญ. 2552. เทคโนโลยีการ ป้องกันกำจัดแมลงวันผลไม้ในพริกโดยวิธีผสมผสาน. หน้า 325-330 ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2554 นักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร

สัญญาณี ศรีรักษา, วิภาดา ปลอดภัยและเกรียงไกร จำเริญมา. 2551. การศึกษาชนิดและชีววิทยาของแมลงวันผลไม้ที่สำคัญในแหล่งปลูกพริก. วารสารอารักขาพืช. 3(1-2): 55-64.

มนตรี จิรสุรัตน์. 2540. การใช้เหยื่อพิษป้องกันกำจัดแมลงวันผลไม้. เอกสารวิชาการอบรมหลักสูตรแมลงและสัตว์ศัตรูพืช และการป้องกันกำจัด ครั้งที่ 9 ระหว่างวันที่ 24 มีนาคม-4 เมษายน 2540 กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 55 หน้า.

นุชริย์ ศิริ. 2550. แมลงวันพริก (*Bactrocera latifrons*). ศักยภาพการผลิตพริกเพื่ออุตสาหกรรมส่งออกของไทยในปัจจุบันและอนาคต. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

Stonehouse, J., J. Mumford, A. Poswell, R. Mahmood, A. H. Makhdum, Z. M. Chaudhary, K. N. Baloch, G. Mustafa and M. McAllister. 2004. The accuracy and bias of visual assessments of fruit infestation by fruit flies (Diptera: Tephritidae). Crop Protection. 23: 293-296.

Shimizu, Y., T. Kohama, T. Uesato, T. Matsuyama and M. Yamagishi. 2007. Invasion of solanum fruit fly *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) to Yonsguni Island, Okinama Prefecture, Japan. Appl. Entomol. Zool. 42: 269-275.

ภาคผนวก

Table 1 Partial Least Square Regression calibration result for predicting amount of egg and 1st instar larva of chili fruit fly in chili fruits

Samples	Wavelength (nm)	F	R	SEC (%)	SEP (%)	Bias	SD (%)	N
green chili	400-2500	15	0.93	2.52	3.74	-1.03E-05	6.84	74
red chili	400-2500	5	0.83	6.77	6.98	2.23E-07	10.13	270
green and red chili	400-2500	9	0.82	6.89	7.25	-5.17E-06	10.03	322

Table 2 Comparison of NIR prediction values and actual values for evaluation amount of chili fruit fly in 3 groups of chili

Samples	comparison of predicted and actual values of infection in three groups of chili											
	Green chili				Red chili				Green and Red chili			
	Actual (X)	Predicted (Y)	(X-Y)	(X-Y) ²	Actual (X)	Predicted (Y)	(X-Y)	(X-Y) ²	Actual (X)	Predicted (Y)	(X-Y)	(X-Y) ²
1	20	17.91	2.09	4.36	30	24.79	5.21	27.15	8	10.65	-2.65	7.00
2	20	19.35	0.65	0.43	26	32.52	-6.52	42.52	5	7.28	-2.28	5.22
3	6	4.97	1.04	1.07	25	22.47	2.53	6.39	3	4.33	-1.33	1.76
4	6	7.26	-1.26	1.59	31	29.78	1.22	1.48	6	7.43	-1.43	2.05
5	2	3.33	-1.33	1.77	34	21.67	12.33	151.95	10	6.98	3.02	9.10
6	2	4.71	-2.71	7.37	22	22.49	-0.49	0.24	6	6.47	-0.47	0.22
7	3	1.04	1.96	3.85	16	13.56	2.44	5.94	1	-0.24	1.24	1.54
8	3	1.84	1.16	1.35	31	23.68	7.32	53.58	15	10.67	4.33	18.71
9	18	18.02	-0.02	0.00	34	36.36	-2.36	5.58	0	1.98	-1.98	3.91
10	18	17.48	0.52	0.27	0	6.87	-6.87	47.18	0	1.31	-1.31	1.71
11	25	21.81	3.19	10.18	0	4.84	-4.84	23.38	0	2.07	-2.07	4.28
12	11	9.16	1.84	3.37	0	2.01	-2.01	4.04	0	1.59	-1.59	2.52
13	11	11.92	-0.92	0.84	0	-2.33	2.33	5.41	2	2.87	-0.87	0.76
14	13	17.92	-4.92	24.18	0	-3.18	3.18	10.12	25	10.31	14.69	215.74
15	13	15.92	-2.92	8.53	0	3.57	-3.57	12.76	26	34.92	-8.92	79.51
16	12	10.52	1.48	2.18	0	6.78	-6.78	45.91	4	14.52	-10.52	110.71
17	12	11.04	0.97	0.93	0	9.66	-9.66	93.32	30	36.53	-6.53	42.58
18	13	15.21	-2.21	4.89	0	-0.35	0.35	0.13	25	24.77	0.23	0.06
19	13	16.69	-3.69	13.60	0	-0.45	0.45	0.20	34	35.16	-1.16	1.35
20	24	20.73	3.27	10.72	0	2.65	-2.65	7.01	16	30.74	-14.74	217.15
21	24	19.95	4.05	16.41	0	-3.96	3.96	15.71	0	0.04	-0.04	0.00
22	7	4.81	2.19	4.79	10	9.29	0.71	0.51	0	-2.88	2.88	8.32
23	11	12.24	-1.24	1.53	9	8.52	0.48	0.23	13	14.38	-1.38	1.90
24	8	4.88	3.12	9.72	12	12.39	-0.39	0.15	14	10.29	3.71	13.79
25	8	5.98	2.02	4.07	15	14.75	0.25	0.06	18	12.70	5.30	28.08
26	14	10.24	3.76	14.12	16	17.65	-1.65	2.73	14	8.72	5.28	27.87
27	14	12.38	1.62	2.63	24	24.20	-0.20	0.04	0	0.91	-0.91	0.82
28	6	7.53	-1.53	2.33	14	25.17	-11.17	124.81	0	2.20	-2.20	4.85
29	6	8.97	-2.97	8.80	4	3.10	0.90	0.82	0	5.42	-5.42	29.33
30	23	19.56	3.44	11.83	10	15.80	-5.80	33.59	0	7.32	-7.32	53.58
31	5	8.13	-3.13	9.80	9	17.04	-8.04	64.61	2	8.00	-6.00	35.94
32	5	8.54	-3.54	12.56	13	11.83	1.17	1.38	0	0.97	-0.97	0.95
33	6	7.20	-1.20	1.44	15	16.61	-1.61	2.60	0	-0.25	0.25	0.06
34	6	7.62	-1.62	2.63	6	5.83	0.17	0.03	0	4.71	-4.71	22.20
35	5	7.14	-2.14	4.58	15	23.85	-8.85	78.38	0	1.67	-1.67	2.78
36	5	7.02	-2.02	4.09	14	21.08	-7.08	50.10	0	4.12	-4.12	17.01
37	3	-2.27	5.27	27.80	9	18.18	-9.18	84.31	0	-0.83	0.83	0.68
38	3	0.27	2.73	7.47	25	25.74	-0.74	0.54	0	-3.79	3.79	14.35
39	1	-2.52	3.52	12.40	17	22.02	-5.02	25.21	0	9.63	-9.63	92.78
40	1	0.21	0.79	0.62	21	14.83	6.17	38.08	12	15.97	-3.97	15.75
41	6	5.03	0.97	0.94	27	34.58	-7.58	57.43	15	18.74	-3.74	14.00
42	6	9.19	-3.19	10.18	40	31.58	8.42	70.90	16	22.33	-6.33	40.02
43	10	8.84	1.16	1.34	39	34.92	4.08	16.62	13	14.21	-1.21	1.46
44	6	6.09	-0.09	0.01	29	32.24	-3.24	10.48	18	17.50	0.50	0.26
45	6	2.19	3.81	14.49	35	31.50	3.50	12.27	24	20.23	3.77	14.20
46	1	3.05	-2.05	4.19	24	30.15	-6.15	37.77	14	22.56	-8.56	73.32
47	1	3.01	-2.01	4.04	25	26.64	-1.64	2.70	4	7.21	-3.21	10.29
48	0	0.82	-0.82	0.67	20	27.92	-7.92	62.74	10	13.16	-3.16	9.97
49	0	1.21	-1.21	1.47	27	24.60	2.40	5.77	13	16.37	-3.37	11.36
50	0	0.97	-0.97	0.93	20	26.42	-6.42	41.18	15	14.57	0.43	0.18
51	0	3.35	-3.35	11.19	35	33.69	1.31	1.72	14	27.95	-13.95	194.46
52	0	-0.45	0.45	0.20	31	31.44	-0.44	0.19	40	29.14	10.87	118.05
53	0	-0.15	0.15	0.02	32	22.64	9.36	87.55	39	36.11	2.89	8.37
54	0	-1.11	1.11	1.24	31	24.57	6.43	41.33	29	34.45	-5.45	29.65
55	0	1.44	-1.44	2.06	33	38.16	-5.16	26.62	35	34.14	0.86	0.74
56	0	1.39	-1.39	1.93	28	23.82	4.18	17.51	24	27.41	-3.41	11.59
57	0	1.53	-1.53	2.34	28	23.01	4.99	24.89	25	28.20	-3.20	10.26
58	0	3.23	-3.23	10.46	42	36.89	5.11	26.12	20	29.29	-9.29	86.21
59	0	0.29	-0.29	0.08	30	28.91	1.09	1.19	27	23.73	3.28	10.73
60	0	1.69	-1.69	2.87	35	39.57	-4.57	20.85	20	25.25	-5.25	27.54
Total	442	446.30	-4.30	331.78	1118	1164.53	-46.53	1634.06	704	812.13	-108.13	1769.58
Average	7.37	7.44	-0.07	5.53	18.63	19.41	-0.78	27.23	11.73	13.54	-1.80	29.49

Table 3 Partial Least Square Regression calibration result for predicting infestation of egg and 1st instar larva of chili fruit fly in chili fruits

Samples	Wavelength (nm)	F	R	SEC (%)	SEP (%)	Bias	SD (%)	N
green chili	1500-2000	17	0.93	0.15	0.26	-9.91E-06	0.40	108
red chili	400-2500	17	0.85	0.20	0.22	-6.10E-07	0.35	385
green and red chili	400-2500	19	0.87	0.20	0.21	-4.54E-07	0.35	472

กรมวิชาการเกษตร

Table 4 Comparison of NIR prediction values and actual values for evaluation the infection of chili fruit fly in 3 groups of chili

Samples	comparison of predicted and actual values of infection in three groups of chili											
	Green chili				Red chili				Green and Red chili			
	Actual (X)	Predicted (Y)	(X-Y)	(X-Y) ²	Actual (X)	Predicted (Y)	(X-Y)	(X-Y) ²	Actual (X)	Predicted (Y)	(X-Y)	(X-Y) ²
1	1	0.68	0.32	0.10	0	0.45	-0.45	0.20	1	1.22	-0.22	0.05
2	1	2.60	-1.60	2.55	0	0.58	-0.58	0.33	1	1.03	-0.03	0.00
3	1	0.72	0.28	0.08	0	0.01	-0.01	0.00	1	1.14	-0.14	0.02
4	1	2.47	-1.47	2.17	0	-0.03	0.03	0.00	1	0.66	0.34	0.11
5	1	0.64	0.36	0.13	0	0.26	-0.26	0.07	1	1.23	-0.23	0.05
6	1	1.31	-0.31	0.09	0	0.28	-0.28	0.08	1	1.06	-0.06	0.00
7	1	1.18	-0.18	0.03	0	-0.06	0.06	0.00	1	0.71	0.29	0.08
8	1	1.85	-0.85	0.73	0	-0.09	0.09	0.01	1	0.94	0.06	0.00
9	1	1.97	-0.97	0.94	0	0.31	-0.31	0.09	1	0.52	0.48	0.23
10	1	0.65	0.35	0.12	0	0.15	-0.15	0.02	1	0.69	0.31	0.10
11	1	0.24	0.76	0.57	0	0.12	-0.12	0.02	1	1.23	-0.23	0.05
12	1	0.23	0.77	0.59	0	0.17	-0.17	0.03	1	1.06	-0.06	0.00
13	1	1.14	-0.14	0.02	0	0.26	-0.26	0.07	1	1.25	-0.25	0.06
14	1	1.79	-0.79	0.63	0	0.23	-0.23	0.05	1	1.22	-0.22	0.05
15	1	2.01	-1.01	1.01	0	0.46	-0.46	0.21	1	0.95	0.05	0.00
16	1	1.59	-0.59	0.35	0	0.46	-0.46	0.21	1	0.96	0.04	0.00
17	1	0.46	0.54	0.29	0	0.39	-0.39	0.15	1	1.02	-0.02	0.00
18	1	2.40	-1.40	1.97	0	0.38	-0.38	0.14	1	1.07	-0.07	0.00
19	1	-0.61	1.61	2.58	0	0.49	-0.49	0.24	1	0.81	0.19	0.03
20	1	2.25	-1.25	1.55	0	0.49	-0.49	0.24	1	1.04	-0.04	0.00
21	1	0.73	0.27	0.07	0	0.45	-0.45	0.20	1	1.09	-0.09	0.01
22	1	-0.55	1.55	2.41	0	0.40	-0.40	0.16	1	1.07	-0.07	0.01
23	1	1.37	-0.37	0.13	1	1.05	-0.05	0.00	1	0.98	0.02	0.00
24	1	0.69	0.32	0.10	1	1.02	-0.02	0.00	1	1.24	-0.24	0.06
25	1	2.51	-1.51	2.29	1	0.88	0.12	0.01	1	1.29	-0.29	0.09
26	1	-1.60	2.60	6.76	1	0.92	0.08	0.01	1	1.21	-0.21	0.04
27	1	1.44	-0.44	0.19	1	0.82	0.18	0.03	1	1.28	-0.28	0.08
28	1	2.27	-1.27	1.61	1	0.85	0.15	0.02	1	0.89	0.11	0.01
29	1	2.06	-1.06	1.13	1	0.84	0.17	0.03	1	0.94	0.06	0.00
30	1	-0.06	1.06	1.13	1	0.89	0.11	0.01	1	0.99	0.01	0.00
31	1	1.51	-0.51	0.26	1	0.84	0.16	0.02	0	0.25	-0.25	0.06
32	1	1.97	-0.97	0.94	1	0.88	0.12	0.01	0	0.30	-0.30	0.09
33	1	0.14	0.86	0.73	1	0.91	0.09	0.01	0	0.08	-0.08	0.01
34	1	0.59	0.41	0.17	1	0.91	0.09	0.01	0	0.19	-0.19	0.04
35	1	1.73	-0.73	0.53	1	1.11	-0.11	0.01	0	-0.06	0.06	0.00
36	1	0.71	0.29	0.08	1	0.69	0.31	0.10	0	0.01	-0.01	0.00
37	0	0.23	-0.23	0.05	1	0.86	0.14	0.02	0	0.30	-0.30	0.09
38	0	0.32	-0.32	0.10	1	0.76	0.24	0.06	0	0.16	-0.16	0.02
39	0	0.30	-0.30	0.09	1	0.71	0.29	0.08	0	0.29	-0.29	0.09
40	0	0.57	-0.57	0.33	1	0.70	0.30	0.09	0	0.27	-0.27	0.07
41	0	0.04	-0.04	0.00	1	1.23	-0.23	0.05	0	-0.14	0.14	0.02
42	0	-0.04	0.04	0.00	1	1.22	-0.22	0.05	0	-0.03	0.03	0.00
43	0	-0.08	0.08	0.01	1	0.99	0.01	0.00	0	0.03	-0.03	0.00
44	0	0.06	-0.06	0.00	1	1.08	-0.08	0.01	0	-0.02	0.02	0.00
45	0	0.79	-0.79	0.62	1	0.87	0.13	0.02	0	-0.13	0.13	0.02
46	0	0.98	-0.98	0.97	1	0.86	0.14	0.02	0	0.00	0.00	0.00
47	0	-1.74	1.74	3.01	1	0.77	0.23	0.05	0	-0.01	0.01	0.00
48	0	-1.62	1.62	2.61	1	0.79	0.21	0.04	0	0.01	-0.01	0.00
49	0	-1.81	1.81	3.28	1	1.13	-0.13	0.02	0	0.17	-0.17	0.03
50	0	-1.88	1.88	3.53	1	1.10	-0.10	0.01	0	0.23	-0.23	0.05
51	0	-0.11	0.11	0.01	1	1.32	-0.32	0.10	0	0.09	-0.09	0.01
52	0	0.09	-0.09	0.01	1	1.27	-0.27	0.07	0	0.44	-0.44	0.19
53	0	1.92	-1.92	3.69	1	1.03	-0.03	0.00	0	0.13	-0.13	0.02
54	0	2.11	-2.11	4.46	1	1.05	-0.05	0.00	0	0.67	-0.67	0.45
55	0	-0.66	0.66	0.43	1	1.36	-0.36	0.13	0	0.06	-0.06	0.00
56	0	-0.80	0.80	0.64	1	1.39	-0.39	0.15	0	0.26	-0.26	0.07
57	0	0.63	-0.63	0.40	1	0.86	0.14	0.02	0	0.52	-0.52	0.27
58	0	0.27	-0.27	0.07	1	0.90	0.10	0.01	0	0.36	-0.36	0.13
59	0	-0.29	0.29	0.08	1	0.74	0.26	0.07	0	0.25	-0.25	0.06
60	0	-0.51	0.51	0.26	1	0.78	0.22	0.05	0	0.54	-0.54	0.29
Total	36	39.87	-3.87	59.71	38	42.51	-4.51	3.93	30	36.01	-6.01	3.24
Average	0.6	0.66	-0.06	1.00	0.63	0.71	-0.08	0.01	0.5	0.60	-0.10	0.05

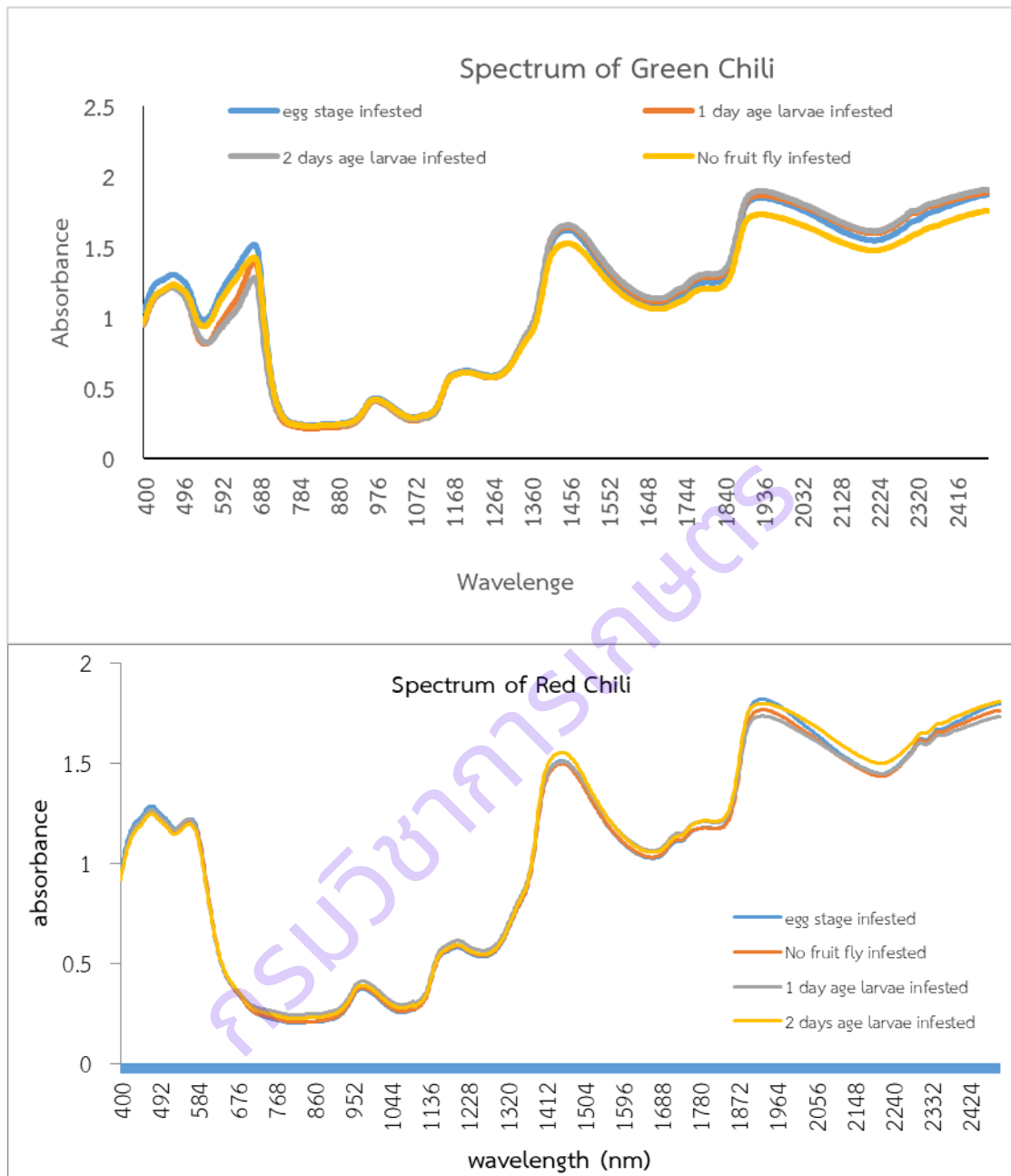


Figure 1 The original NIR spectra of green and red chili infected by chili fruit fly

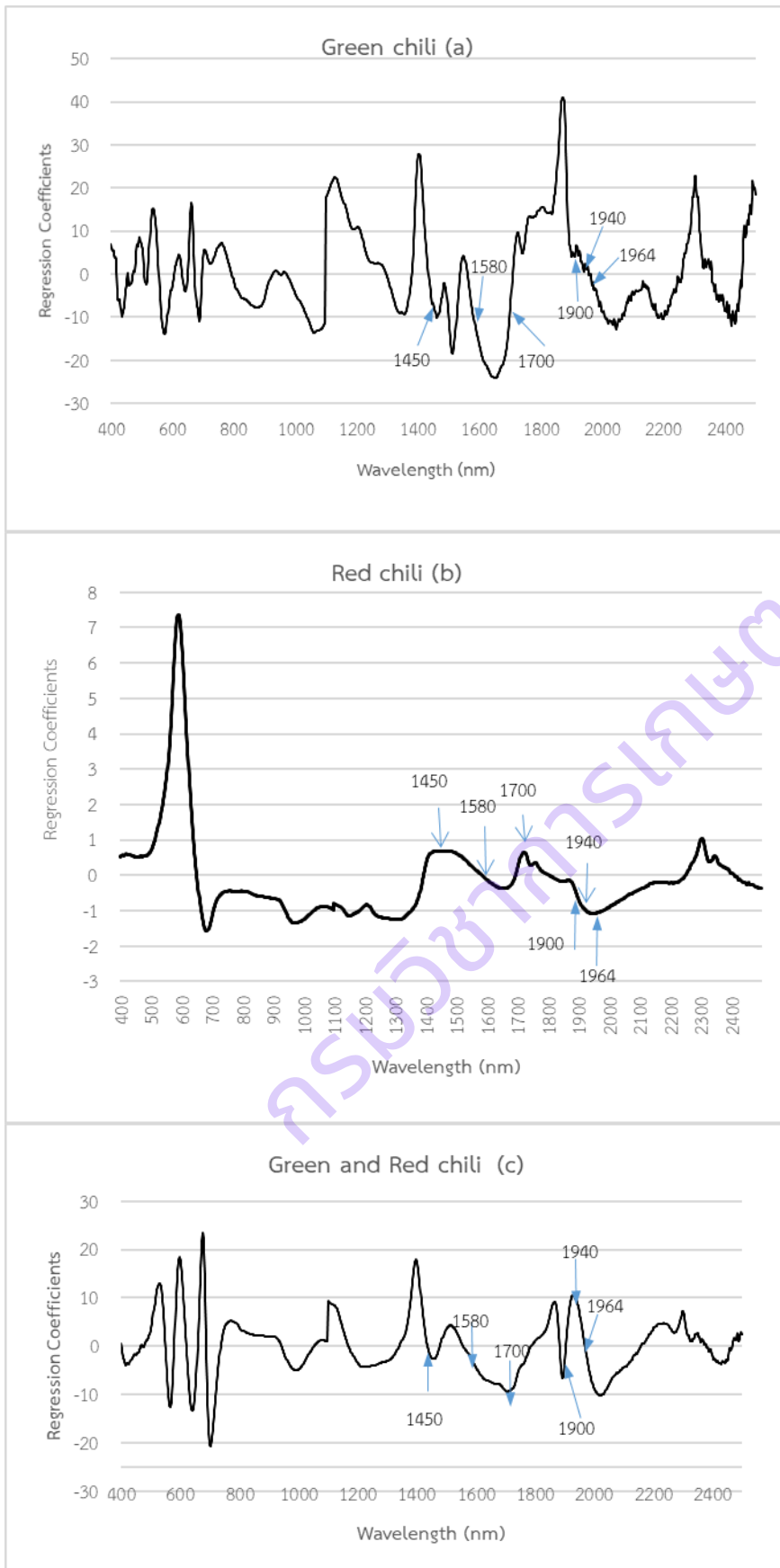


Figure 2 The Regression Coefficient plots to evaluate the amount of chili fruit fly infection in green chili (a) red chili (b) and green and red chili (c)

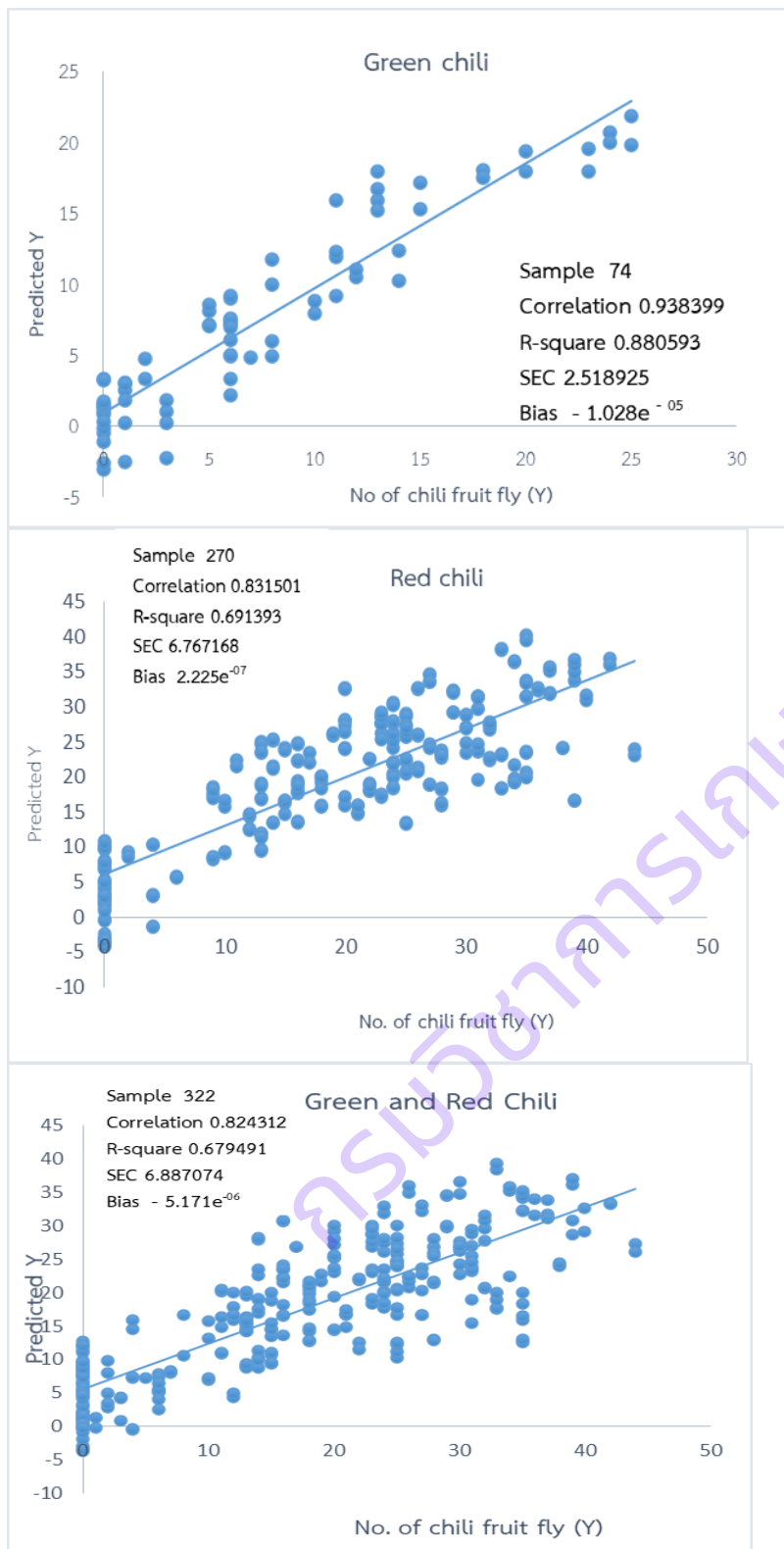


Figure 3 Scatter plots of actual vs. NIR predicted of amount of egg and 1st instar larva of chili fruit fly in green, red, green and red chili fruits

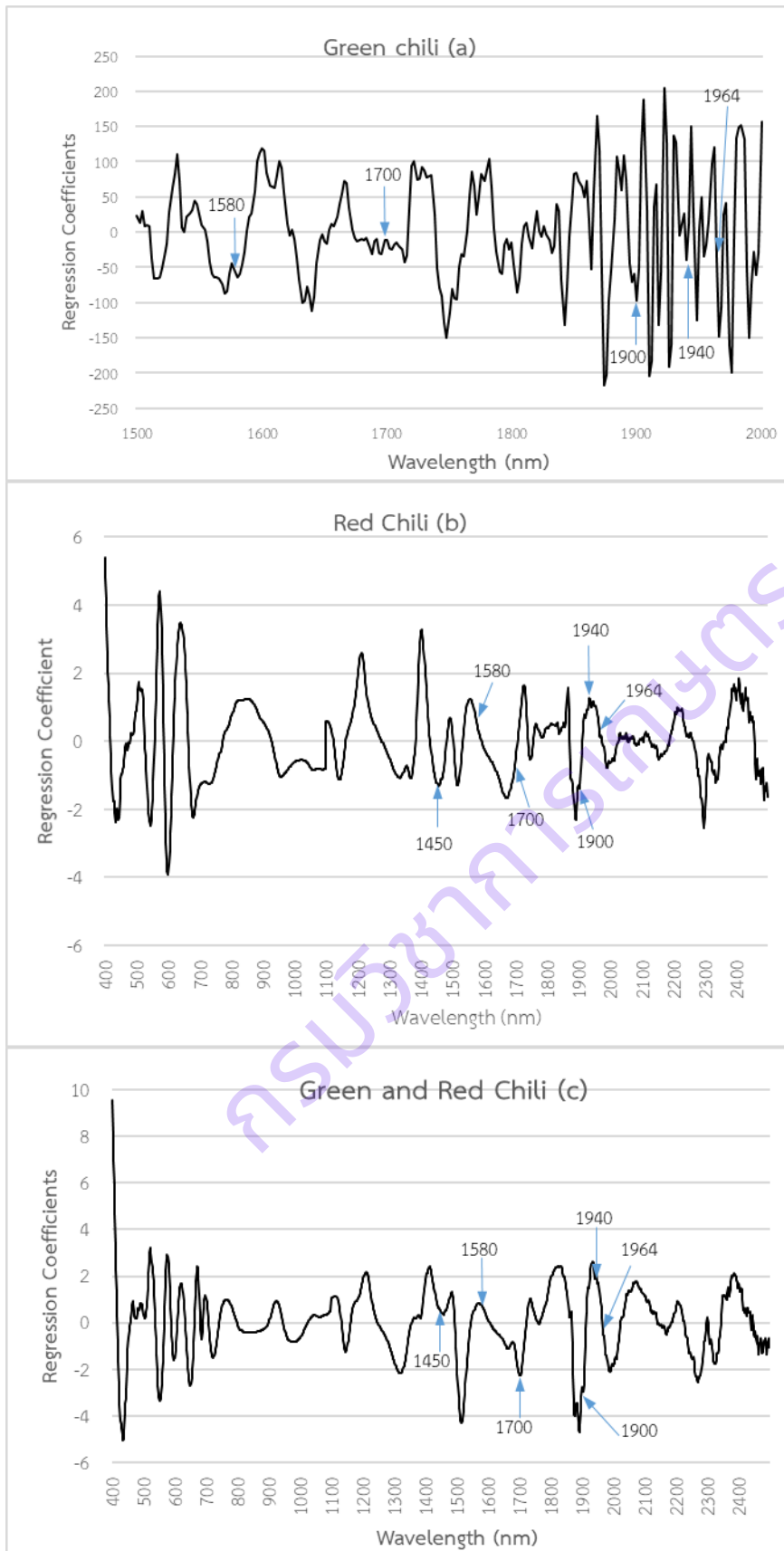


Figure 4 The Regression Coefficient plots to evaluate the chili fruit fly infection in green chili (a) red chili (b) and green and red chili (c)

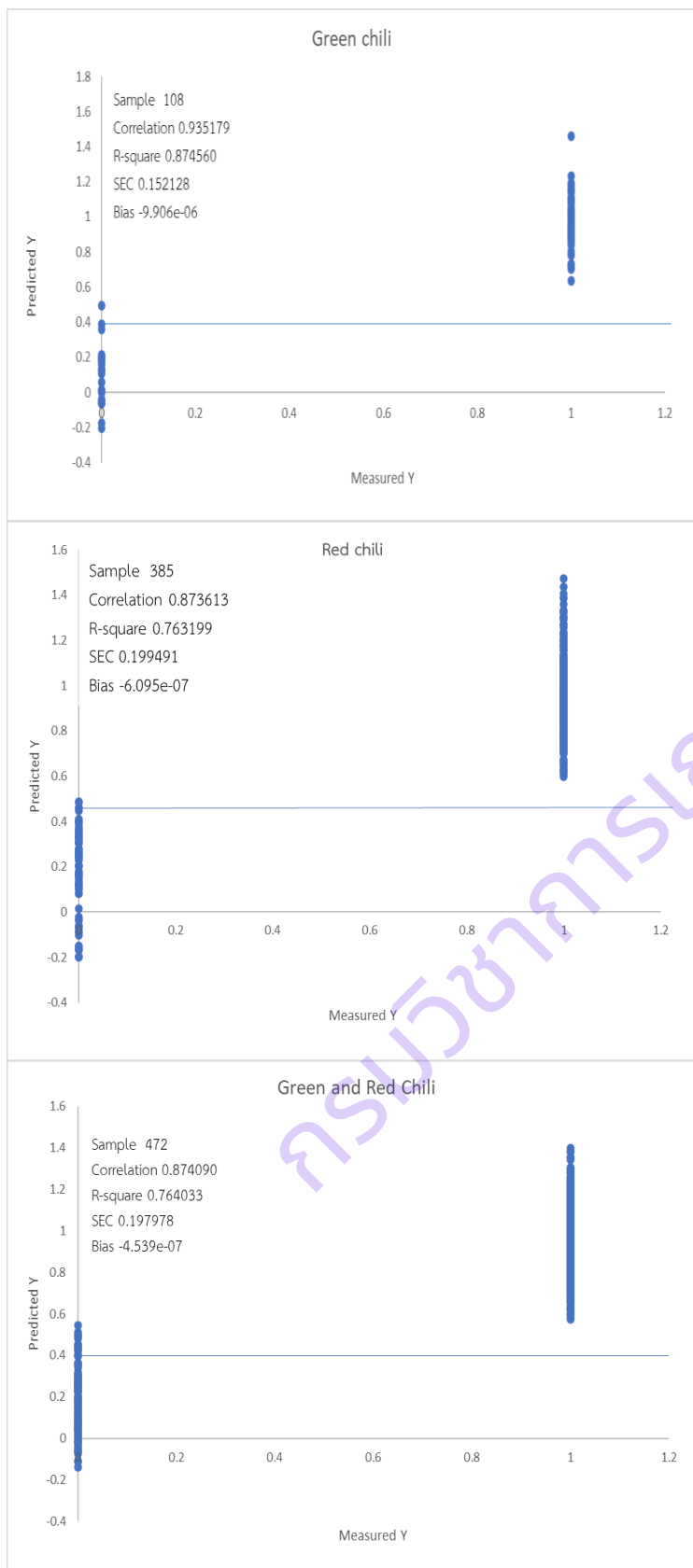


Figure 5 Scatter plots of actual vs. NIR predicted of chili fruit fly egg and 1st instar larva infestation in green, red, green and red chili fruits