

# การตรวจสอบไข่แมลงวันผลไม้ (*Bactrocera dorsalis* Hendel) ในชมพู ทับทิมจันทร์โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy

## Infestation Monitoring Eggs of Fruit Fly (*Bactrocera dorsalis* Hendel) in Rose Apple Fruit (Tub Tim Chan Cultivar) by Near Infrared Spectroscopy Technique

กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม<sup>1</sup>  
Kannikar Pengkum<sup>1</sup>

**บทคัดย่อ:** ชมพูทับทิมจันทร์เป็นพืชส่งออกที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทยซึ่งการส่งออกมักพบปัญหาที่สำคัญคือตรวจพบไข่แมลงวันผลไม้ (*Bactrocera dorsalis* Hendel) ปัจจุบันตรวจสอบใช้วิธีการสุ่มด้วยสายตาและการผ่าผลชมพูซึ่งไม่มีความแม่นยำและเป็นการทำลายผลผลิต การใช้เทคนิค near infrared spectroscopy (NIRs) เป็นทางเลือกหนึ่งในการตรวจสอบไข่แมลงวันผลไม้ในผลชมพูที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยสร้างแบบจำลองการคัดแยกผลชมพูที่มีไข่แมลงวันผลไม้และผลชมพูที่ไม่มีไข่แมลงวันผลไม้ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานแสง จากเครื่อง FQA-NIRGUN แบบพกพา ซึ่งเป็นชุดวัดการดูดกลืนแสงย่าน NIR ในระบบสะท้อนกลับ (interactance) ในช่วงความยาวคลื่น 700–1100 nm กับการมีหรือไม่มีไข่แมลงวันผลไม้ภายในผลชมพู ทำการสร้างแบบจำลอง 2 กลุ่ม คือกลุ่ม calibration และ กลุ่ม validation ผลการทดลองพบว่าแบบจำลอง ที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มชมพูที่มีไข่แมลงวันผลไม้และชมพูที่ไม่มีไข่ได้ด้วยความถูกต้องโดยรวม 69.77 % และ 72.60% ตามลำดับ ซึ่งค่าความถูกต้องยังไม่เหมาะสม ต้องปรับขนาดพื้นที่ของการวัด (measuring area) ของเครื่องให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้การตกกระทบของแสงจากเครื่องมือตรงกับตำแหน่งของกลุ่มไข่ของแมลงวันผลไม้

**คำสำคัญ:** ชมพูทับทิมจันทร์, อินฟราเรดย่านใกล้, แมลงวันผลไม้ *Bactrocera dorsalis* Hendel

**ABSTRACT:** Rose apple (Tub Tim Chan cultivar) is an economic fruit of Thailand for exporting. However, the infestation of Oriental Fruit fly (*Bactrocera dorsalis* Hendel) in rose apple fruit is an important problem for rose apple fruit exporting. Currently, it use a randomly detected methods with naked eyes and destroyed sampling. Which the decision of the examiner is probably incorrect and undermines product. Therefore, the evaluation by using non-destructive method with near infrared spectroscopy (NIRs) was developed by using prediction model for separation of normal and destroyed fruits. The absorbance was measured by a portable NIR spectrometer (FQA-NIRGUN; the wavelength region of 700-1,100 nm) for development equation of evaluation fruit fly egg infestation within fruit (insect infestation or no insect infestation). The results showed that the calibration and validation equation developed from NIR spectra can be classified the infested rose apple fruit from the non-infested fruit with overall accuracy of 69.77 % and 72.60%, respectively. The conclusion indicated that this technique was not optimum to detect fruit fly eggs in Rose apple. Therefore, it was necessary to adjust the measuring area to the light source of equipment expose directly to the group of fruit fly eggs.

**Keywords:** rose apple (cultivar Tub Tim Chan), near infrared spectroscopy, Oriental fruit fly

<sup>1</sup> กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture

\* Corresponding author:

## บทนำ

ชมพู่ทับทิมจันทร์เป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ดีในการส่งออกให้กับประเทศไทย แต่พบปัญหาจากการเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้ ทำให้ผลผลิตเสียหายและคุณภาพต่ำ ไม่สามารถส่งออกได้ เนื่องจากหลายประเทศมีข้อกำหนดในการที่ผลไม้ที่ส่งเข้าประเทศต้องปราศจากแมลงวันผลไม้ ซึ่งเป็นปัญหาด้านกักกันพืชและถูกใช้เป็นเครื่องมือกีดกันทางการค้าจากต่างประเทศ เห็นได้ว่าแมลงวันผลไม้เป็นปัญหาในระดับประเทศที่ต้องให้ความสำคัญ ปัจจุบันการตรวจสอบการเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้ใช้วิธีตรวจสอบด้วยสายตา ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญของผู้ตรวจสอบเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในระยะไข่และระยะหนอนวัย 1 ของแมลงวันผลไม้ ซึ่งแมลงยังมีขนาดเล็กและการทำลายผลไม้มายังแสดงอาการไม่ชัดเจน ทำให้สังเกตการเข้าทำลายได้ยาก ปัจจุบันมีการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (near infrared spectroscopy technique, NIRs) มาประยุกต์ใช้กับการวัดคุณภาพผักผลไม้มากขึ้น โดยอาศัยหลักการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ near infrared ที่เป็นช่วงคลื่นสั้น 700–1100 nm โดยการสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของผลชมพู่ที่มีไข่ และไม่มีไข่แมลงวันผลไม้ มาวิเคราะห์ และหาความสัมพันธ์ของค่าทางเคมีและการดูดกลืนแสง เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถตรวจสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้วิธีการตรวจไข่ของแมลงวันผลไม้โดยไม่ทำลายตัวอย่างพืชด้วยเทคนิค NIR เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งไม่สร้างความเสียหายให้กับผลผลิต ใช้เวลารวดเร็ว วารุณีและคณะ (2551) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค NIR ในการตรวจสอบไข่และหนอนของแมลงวันผลไม้ในมะม่วง พบว่าสามารถคัดแยกมะม่วงที่มีไข่ และหนอนแมลงวันผลไม้ได้ โดยมีความถูกต้อง 96 และ 98% นอกจากนี้ยังมีการใช้ประยุกต์ใช้กับการตรวจแมลงวันผลไม้ชนิดอื่น ได้แก่ Perez-Mendoza และคณะ (2003) ทดสอบใช้เทคนิค NIR ในการตรวจหาชิ้นส่วนของแมลงวันในแป้งสาลี โดยแบบจำลองสามารถตรวจสอบแยกความแตกต่างของแป้งที่มีจำนวนชิ้นส่วนแมลงได้อย่างแม่นยำได้ระดับ 130 ชิ้นซึ่งยังต้องทำการปรับปรุงแบบจำลอง

ต่อไป เห็นได้ว่าเทคนิค NIR เป็นเทคนิคที่มีแนวโน้มสามารถคัดกรองการเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้ได้ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจผลผลิตเพื่อการส่งออกได้ วัตถุประสงค์ในการทดลองนี้เพื่อตรวจสอบไข่ของแมลงวันผลไม้ในผลชมพู่ทับทิมจันทร์โดยเทคนิค NIR

## วิธีการศึกษา

### 1. เพาะเลี้ยงแมลงวันผลไม้ *Bactrocera dorsalis* Hendel

การเพาะเลี้ยงแมลงวันผลไม้ *B. dorsalis* ด้วยผลชมพู่ในกรงเลี้ยงแมลง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ช่วงแสงที่ 12:12 จนได้ตัวเต็มวัยสำหรับเป็นพ่อแม่พันธุ์ให้อาหารตัวเต็มวัยที่มีส่วนผสมของน้ำตาล 1 กิโลกรัม yeast extract 100 กรัมและ yeast hydrolysate 100 กรัม พร้อมน้ำสะอาด ประมาณ 14 วัน เพื่อให้แมลงผสมพันธุ์และพร้อมที่จะวางไข่ปล่อยแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยที่พร้อมวางไข่ 200 คู่ในกรงเลี้ยงแมลงขนาด 35.0x40.0x30.0 เซนติเมตร นำชมพู่ทับทิมจันทร์จำนวน 20 ผลใส่ในกรงเลี้ยงแมลงปล่อยทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมงเพื่อให้แมลงวางไข่ นำผลชมพู่ที่ผ่านการวางไข่แมลงมาทำเครื่องหมายบริเวณที่มีการวางไข่ของแมลง

### 2. การตรวจไข่ของแมลงวันผลไม้ในชมพู่ทับทิมจันทร์ด้วยเทคนิค NIR

การตรวจวัดหาอัตราการดูดกลืนแสง ของผลชมพู่ที่ผ่านการวางไข่แมลงวันผลไม้และผลชมพู่ที่ไม่มีการวางไข่ ด้วยเครื่อง NIR ช่วงคลื่นสั้น 700-1100 nm รุ่น FQA-NIRGUN จะได้เส้น spectrum ทำการ scan ตัวอย่างทั้งหมด 659 ผล นำ spectrum ที่ตรวจวัดได้จากผลชมพู่ที่มีไข่แมลงวันผลไม้และผลชมพู่ที่ไม่มีไข่แมลงวันผลไม้มาสร้างแบบจำลองการจำแนกผลชมพู่ที่มีการปนเปื้อนไข่แมลงวันผลไม้และผลชมพู่ที่ไม่มีการปนเปื้อนไข่แมลงวันผลไม้ ด้วยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) และ Multiple linear regression discriminant analysis (MLRDA) จากโปรแกรมสำเร็จรูป CA-Maker และวิธี Partial Least Square (PLS) จากโปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. เพาะเลี้ยงแมลงวันผลไม้ *Bactrocera dorsalis* Hendel

หลังจากเก็บผลชมพูที่มีไข่แมลงวันผลไม้ไว้ในห้องเลี้ยงแมลง 2 วันเพื่อให้หนอนพัฒนาเป็นหนอนวัย 1 พบว่าผลชมพูมีอาการเน่าเสียมาก ไม่สามารถนำมาตรวจวัดด้วยเครื่อง NIRs ได้ จึงทำการตรวจวัดเฉพาะระยะไข่เท่านั้น

### 2. การตรวจไข่ของแมลงวันผลไม้ในชมพูทับทิมจันทร์ด้วยเทคนิค NIR

การตรวจผลชมพูทับทิมจันทร์ที่มีไข่และไม่มีไข่แมลงวันผลไม้ด้วยเครื่อง NIRs ได้ผลการวิเคราะห์หาไข่ในผลชมพู ด้วยเทคนิค NIR พบว่า สเปกตรัมของตัวอย่างชมพูที่มีการวางไข่และไม่มีไข่ จากภาพสังเกตเห็นว่า สเปกตรัมของตัวอย่างที่มีการวางไข่ (เส้นสีแดง) และสเปกตรัมของตัวอย่างที่ไม่มีไข่ (เส้นสีน้ำเงิน) เส้นสเปกตรัมของตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มยังมีการซ้อนทับกัน ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ชัดเจน (Figure 1) จึงต้องมีการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

ในขั้นตอนของการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน ตัวอย่างทั้งหมด 659 ตัวอย่าง จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม calibration และกลุ่ม validation ด้วยอัตราส่วน 2:1 กล่าวคือกลุ่ม calibration จำนวน 440 ตัวอย่างจะถูกใช้ในการสร้างสมการ และกลุ่ม validation จำนวน 219 ตัวอย่างจะถูกใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการ ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานจะอาศัยโปรแกรม CA-Maker ซึ่งเป็น Software package ของเครื่อง FQA-NIR Gun ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) พบว่า สมการที่ดีที่สุดได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 2<sup>nd</sup> derivative (segment 30 points, smoothing 30 points) ผลการสร้างและทดสอบความแม่นยำแสดงดัง Figure 2 (a) และ (b) ตามลำดับ จาก Scatter plot ตัวอย่างมีการกระจายออกจากเส้น target line เป็นวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีค่าน้อย โดยผลการสร้างและทดสอบสมการเทียบมาตรฐานให้ค่า R (correlation coefficient) = 0.57 ทั้งสองกลุ่ม ซึ่ง Phill Williams (2007) ได้ให้เกณฑ์ไว้ว่าค่า R ที่อยู่ในช่วง 0.51-0.71 แสดงให้เห็นถึงสมการที่สร้างขึ้นให้ค่าความสัมพันธ์

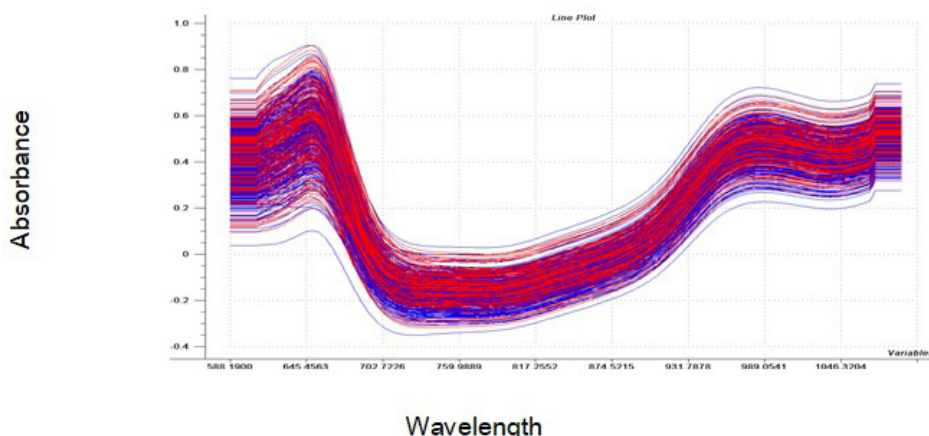


Figure 1 Original spectrum of rose apple with eggs of fruit fly (red line) and without egg of fruit fly (blue line)

ที่ต่ำ รวมถึง RPD (ratio of prediction to deviation) = 1.22 อยู่ในช่วง 0-2.3 หมายความว่า สมการที่ได้ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้

เมื่อวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อคัดแยกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีไข่ และตัวอย่างที่มีไข่ด้วยวิธี Multiple linear regression discriminant analysis (MLRDA) โดยอาศัยโปรแกรม CA-Maker กำหนดตัวแปรหุ่น (Dummy variable) ให้ตัวอย่างที่ไม่มีไข่เป็นกลุ่ม 0 และตัวอย่างที่มีไข่เป็นกลุ่ม 1 โดยค่าที่ทำนายได้จะต้อง < 0.5 สำหรับตัวอย่างที่ไม่มีไข่ และ  $\geq 0.5$  สำหรับตัวอย่างที่มีไข่ ผลการสร้างแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มแสดงดัง Figure3 (a) และ (b) สำหรับกลุ่ม calibration และ validation ตามลำดับ

จากภาพจะเห็นว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มชมพูที่มีไข่แมลงวันผลไม้และชมพูที่ไม่มีไข่ได้ด้วยความถูกต้องโดยรวม 69.77 % และ 72.60 % ในกลุ่ม calibration และ validation ตามลำดับ ซึ่งค่าความถูกต้องที่ได้ยังถือว่าไม่สูงมากนัก จึงมีโอกาสที่ชมพูที่มีไข่ของแมลงวันผลไม้จะถึงมือผู้บริโภค

การวิเคราะห์โดยวิธี Partial Least squares regression (PLS) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทุกตัวแปรในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน โดยอาศัยโปรแกรม the unscramble ในการวิเคราะห์ ผลของการสร้างสมการที่ดีที่สุดได้จากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธี 2<sup>nd</sup> derivative (smoothing 17 points) ในช่วงความยาวคลื่น 600-1090 นาโนเมตร ผลของการ

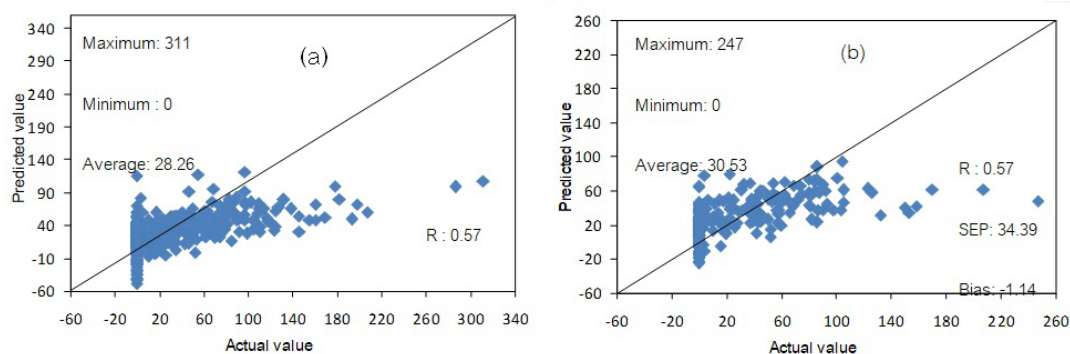


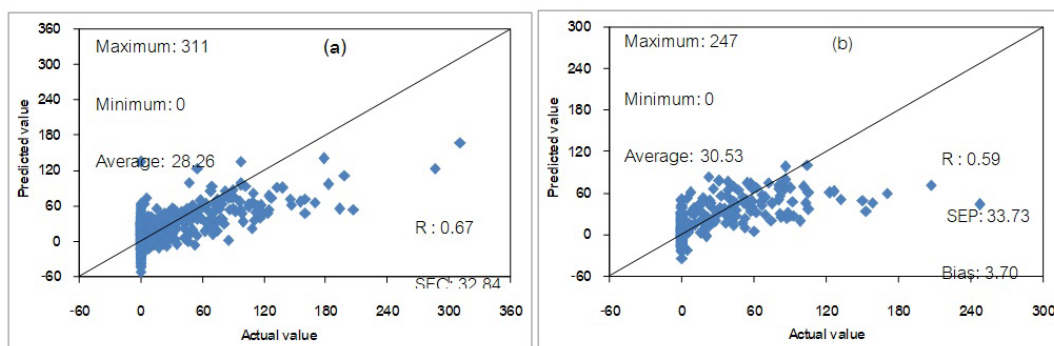
Figure 2 Scatter plots of actual compared with NIR predicted number of egg of fruit fly in rose apple fruits by MLR equation of calibration (a) and validation (b) group (SD – standard deviation; R – correlation coefficient; SEP – standart error of prediction; RDP – ratio of prediction to deviation)



Figure3 Scatter plots of actual and NIR predicted values for rose apple fruit without eggs (0) and with egg (1) of fruit fly of calibration (a) and validation (b) group by MLRDA equation

สร้างและทดสอบความแม่นยำของสมการในกลุ่ม calibration set และ validation set แสดงดัง Scatter plot ใน Figure 4 (a) และ (b) ตามลำดับ จากภาพที่ 4 สังเกตเห็นว่า ตัวอย่างกระจายออกจากเส้น target line เป็นวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีค่าต่ำ และเมื่อพิจารณาค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธี PLS จะเห็นว่า ค่า R และ RPD ที่ได้มีค่าสูงกว่าสมการที่สร้างขึ้นจากวิธี MLR แต่ก็ไม่มากนักทั้งในกลุ่ม calibration set และ

validation set (ค่า R ในกลุ่ม calibration เท่ากับ 0.67 ส่วนกลุ่ม validation เท่ากับ 0.59) รวมถึงค่า SEC (standart error of calibration) และค่า SEP (standart error of prediction) ที่ได้ก็น้อยกว่าสมการจากวิธี MLR เพียงเล็กน้อยเช่นกัน (ค่า SEC เท่ากับ 32.84; SEP เท่ากับ 33.73) ดังนั้นการสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี MLR หรือ PLS ในการแยกผลชมพูที่มีไข่และไม่มีไข่แมลงวันผลไม้จึงไม่มีผลต่อความแม่นยำ



SD – standard deviation; R – correlation coefficient; SEP – standart error of prediction; RDP – ratio of prediction to deviation

**Figure 4** Scatter plots of actual compared with NIR predicted number of egg of fruit fly in rose apple fruits by PLS equation of calibration (a) and validation (b) group

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น ช่วงของความยาวคลื่นของเครื่องมือยังไม่เหมาะสม Integration time ต้องปรับลดลงเนื่องจากชมพูเป็นผลไม้ที่มีความมันวาวมากจึงทำให้สะท้อนแสงได้มากจนเครื่องมือไม่สามารถอ่านได้จึงต้องลดค่า Integration time ลงหรือข้อจำกัดต่างๆ ของเครื่องมือ ซึ่งผลการศึกษาของกรรณิการ์ และคณะ (2558) เป็นการใช้เครื่อง FQA-NIR gun ตรวจสอบไข่แมลงวันผลไม้ในผลฝรั่งด้วยการสร้างแบบจำลอง พบว่า สามารถคัดแยกกลุ่มฝรั่งที่มีไข่แมลงวันผลไม้และฝรั่งที่ไม่มีไข่ได้ด้วย ความถูกต้องโดยรวม 69.01% และ 69.73% ในกลุ่ม calibration และ validation ซึ่งใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองในผลชมพู โดยธรรมชาติแมลงวันผลไม้จะวางไข่เป็นกลุ่มและตัวเต็มวัยชอบวางไข่ซ้ำ

ในบริเวณที่เป็นรอยแผลเดิม ทำให้พบจำนวนไข่มากและรวมกลุ่มอยู่ในบริเวณเดียวกัน ซึ่งหัววัดของเครื่อง NIR gun มีขนาด 3x3 เซนติเมตร และแสงที่ยิงจะตกกระทบบริเวณตรงกลาง อาจเป็นไปได้ว่าการตกกระทบของแสงจากเครื่องมืออาจไม่ตรงกับตำแหน่งของกลุ่มไข่ของแมลงวันผลไม้ ทำให้ผลของการวัดมีข้อผิดพลาด หากทำการปรับให้มีพื้นที่ของการวัด (measuring area) ให้มีขนาดเล็กลง ก็จะทำให้ผลให้แบบจำลองการคัดแยกมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ตัวอย่างเช่น การใช้ NIR ในช่วงความยาวคลื่นสั้น (650-1100 นาโนเมตร) ในการคัดแยกกลุ่มฝักระเจียบเขียวสดที่ปกติ และฝักระเจียบเขียวสดที่มีหนอน โดยมีพื้นที่ในการวัดขนาดโดยประมาณ 1 เซนติเมตร โดยงานวิจัยนี้สามารถคัดแยกกลุ่มฝักระเจียบได้ด้วย ความถูกต้องโดยรวม 90% (รณฤทธิ์ และคณะ, 2557) ซึ่งอาจต้องมีการศึกษาในลำดับถัดไป

## สรุป

การใช้เทคนิคnear infrared (NIR) spectroscopy เพื่อการคัดแยกผลชมพูที่มีไขแมลงวันผลไม้และผลชมพูที่ไม่มีไขแมลงวันผลไม้ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานแสง ด้วยเครื่อง NIRs ช่วงคลื่นสั้นรุ่น FQA-NIRGUN ซึ่งวัดการดูดกลืนแสงย่าน NIR ในระบบสะท้อนกลับ (interactance) ในช่วงความยาวคลื่น 700–1100 nm พบว่า ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) ให้ค่า R (correlation coefficient) เท่ากับ 0.57 ทั้งในกลุ่ม calibration และ validation การสร้างสมการด้วยวิธี Partial Least squares regression (PLS) จะเห็นว่าค่า R ที่ได้มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยทั้งในกลุ่ม calibration และ validation (ค่า R ในกลุ่ม calibration เท่ากับ 0.67 ส่วนกลุ่ม validation เท่ากับ 0.59) ซึ่งค่าที่ได้ยังมีความแม่นยำไม่สูงนัก แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มชมพูที่มีไขแมลงวันผลไม้และชมพูที่ไม่มีไขได้ด้วยความถูกต้องโดยรวม 69.77 % และ 72.60% ในกลุ่ม calibration และ validation ตามลำดับ

## เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม ญัฐวัฒน์ แยมยิ้ม และ จารุวรรณ บางแวก. 2558. การตรวจสอบการปนเปื้อนแมลงวันผลไม้ (*Bactrocera dorsalis* Hendel) ในฝรั่งแป้นสีทองโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี รุ่น FQA-NIR GUN. ใน รายงานผลการวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2558 เล่ม 1 กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 390-400.
- รณฤทธิ ฤทธิธรณ, ลลิตา ออมสิน, บุญยงษ์ ทองสง โสม, ศุภหทัย โกชนากรณ์ และสุริพร ณรงค์ วงศ์วัฒนา. 2557. การตรวจสอบหนอนภายในฝักกระเจี๊ยบเขียวสดเพื่อการส่งออกด้วยเทคนิค NIR, ว. วิทย. กษ. 45: 3/1 (พิเศษ) : 309-312.
- วารุณี ธนะแพทย์,ศุมาพร เกษมล้ำาญ, สิริณาสราญวงศ์, และ สุมิโอะ คาวาโน. 2551. การตรวจหาไขและหนอนของแมลงวันผลไม้ในมะม่วงส่งออกโดยใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี. ว. วิทย. กษ. 39: 3 (พิเศษ) : 54-57.
- Osborne, B.G.; Fearn, T., Hindle, P.H. 1993: "Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis", 2nd edition. Longman Scientific and Technical, Singapore.227 p.
- Perez-Mendoza, J.; J.E. Throne, F.E. Dowell, J.E. Baker. 2003. Detection of Insect fragments in WheatFlour by near-infrared Spectroscopy. Journal of Stored Products Research. 39. 305-312.
- Phill Williams. 2007.Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries, Second Edition Edited by Phil Williams and Karl Norris. Available: <http://www.impublications.com/discus/messages/5/2136.html?1190896505>. Accessed Jan. 10, 2018