โครงการวิจัย การประเมินคุณภาพผลผลิตและผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคไม่ทำลายตัวอย่าง

การตรวจสอบการเข้าทำลายผลิตผลเกษตรของด้วงงวงข้าวโพดโดยใช้ NIR Spectroscopy

ใจทิพย์ อุไรชื่น จารุวรรณ บางแวก และ อนุวัฒน์ รัตนชัย

Jaitip Uraichuen, Charuwan Bangwaek and Anuwat Ratanachai

กลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

บทคัดย่อ

ได้ดำเนินการตรวจสอบการเข้าทำลายเมล็ดข้าวสารของด้วงงวงข้าวโพดโดยใช้ NIR spectroscopy ระหว่างเดือน ตุลาคม 2554 ถึงเดือนกันยายน 2557 ที่กลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร โดยเตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าวสารให้มีด้วงงวงข้าวโพดระยะไข่ และระยะหนอน อายุตั้งแต่ 1-14 วัน ซึ่งยังไม่สามารถมองเห็นความเสียหายได้ จำนวน 199 ตัวอย่าง และนำไปสแกนด้วยเครื่อง NIR Spectrometer รวมถึงตัวอย่างเมล็ดที่ไม่มีแมลงเข้าทำลายจำนวน 179 ตัวอย่างด้วย วัดค่าการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 800-2,500 นาโนเมตร และเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลด้วยการแบ่งกลุ่มจำนวนตัวเต็มวัยที่เกิดขึ้นและสร้างแบบจำลองจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงาน (สเปคตรัม) ของข้าวที่มีการวางไข่แต่ยังไม่สามารถสังเกตเห็นตัวด้วงงวงข้าวโพด และจำนวนด้วงงวงข้าวโพดที่เกิดขึ้นหลังการเก็บรักษาไว้ 45 วัน ด้วยวิธี partial least square discriminant analysis (PLSDA) พบว่า สามารถจำแนกตัวอย่างเมล็ดข้าวสารที่มีแมลงเจริญเติบโตอยู่ภายในเมล็ด ออกจากเมล็ดที่ไม่มีแมลงได้ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มได้อย่างถูกต้องมากกว่า 95% สำหรับข้าวที่มีการวางไข่และเกิดเป็นตัวด้วงงวงมากกว่า 10 ตัว

คำนำ

ผลผลิตรวมทั่วโลกในรูปของเมล็ดพืชและเมล็ดน้ำมันพืชในแต่ละปีมีปริมาณมาก นอกจากจะใช้เพื่อการบริโภคในแต่ละประเทศแล้ว ประเทศที่มีกำลังผลิตมากก็ส่งออกเมล็ดเหล่านี้ไปต่างประเทศ ระหว่างการเก็บรักษา และการขนส่งมักจะเกิดการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมากอันเนื่องมาจากการเข้าทำลายของแมลงศัตรู และการเก็บรักษาที่ไม่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย ที่สภาพภูมิอากาศเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแมลง เชื้อจุลินทรีย์ และไร ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความสูญเสียของเมล็ดทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ปริมาณการสูญเสียของเมล็ดพืชทั่วโลกที่เกิดจากแมลงอยู่ระหว่าง 10-30% ทุกปี (White, 1995 อ้างอิงโดย Karunakaran, 2004) แมลงกินเมล็ดพืชเป็นอาหารซึ่งทำให้คุณภาพเมล็ดเสียไป ทำให้เมล็ดพันธุ์สูญเสียความงอก และทำให้น้ำหนักของผลผลิตลดลง นอกจากนี้แมลงยังทำให้ผลิตผลสกปรกด้วยการปล่อยมูล และทิ้งส่วนต่าง ๆ ของร่างกายรวมถึงคราบที่ระยะหนอนลอกไว้ (พรทิพย์และคณะ, 2551) การสูญเสียคุณภาพของเมล็ดจากการเข้าทำลายของแมลงขึ้นอยู่กับชนิดของแมลง อัตราการเจริญเติบโตของแมลงแต่ละชนิดและพฤติกรรมการเจริญเติบโต (Madrid และ Sinha, 1982) แมลงบางชนิดวางไข่ที่ผิว เมื่อหนอนฟักจะเจาะเมล็ด

เข้าไปเจริญเติบโตและกัดกินอยู่ภายในเมล็ด แมลงพวกนี้ได้แก่ ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*), ด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* (L.)) และมอดข้าวเปลือก (*Rhyzopertha dominica* (F.)) ระหว่างการเจริญเติบโตจากระยะไข่ถึงระยะหนอน ด้วงงวงข้าวสารกินเนื้อเมล็ดข้าวสาลีได้ 5 เท่าของน้ำหนักตัว และประมาณ 68% ของน้ำหนักเมล็ดที่สูญเสียไป จะเกิดขึ้นระหว่าง 4 สัปดาห์แรกซึ่งไม่มีอะไรบ่งชี้จากภายนอกเมล็ดถึงการเข้าทำลายของแมลง (White, 1953) การเพิ่มของประชากรแมลงมีผลกระทบต่อคุณภาพการสีและการเปลี่ยนไปเป็นแป้งและการกินเนื้อเมล็ดของแมลงมีผลอย่างมากต่อเมล็ดที่เก็บไว้ทำพันธุ์ โดยเมล็ดข้าวสาลีที่เก็บไว้นาน 9 เดือนที่พบมอดแป้งเข้าทำลาย มีเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงจาก 89% (Edwards และคณะ, 1991) แมลงเข้าทำลาย 41 ตัวต่อข้าวสาลี 100 กรัมมีผลทำให้การคืนตัวของแป้งต่ำกว่าข้าวสาลีที่ไม่มีแมลงเข้าทำลายถึง 5% (Liscombe, 1962 อ้างอิงโดย Karunakaran, 2004) การเข้าทำลายเมล็ดของแมลงทำให้คาร์โบไฮเดรต วิตามิน โปรตีน และไขมันในเมล็ดลดลง (Jood และคณะ, 1992) แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวฟ่างที่เก็บรักษาไว้นาน 4 เดือนโดยไม่มีแมลงเข้าทำลาย แป้งที่ได้จากเมล็ดที่มีแมลงเข้าทำลายไม่เป็นที่ยอมรับของอุตสาหกรรมทำขนมด้วยเหตุผลในเรื่องของสุขภาพของผู้บริโภค ของเสียที่แมลงถ่ายออกมามีผลต่อการนำแป้งไปทำเบเกอรีเช่นกัน สาร benzoquinone ที่มอดแป้งปล่อยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งนั้นมีรสขม (Smith และคณะ, 1971)

ในอุตสาหกรรมเมล็ด เมล็ดถูกเคลื่อนย้ายจากแหล่งผลิตจนถึงผู้บริโภคโดยผ่านขั้นตอนการเก็บรักษา การกระจายเมล็ดไปตามที่ต่าง ๆ การแปรรูป และการตลาด ระหว่างการเก็บรักษามักจะมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบการเข้าทำลายของแมลง ระดับการเข้าทำลายของแมลงเป็นปัจจัยหนึ่งในการตัดสินคุณภาพของเมล็ด ในประเทศแคนาดาถ้าพบแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่มีชีวิตเพียง 1 ตัวในตัวอย่างที่สุ่ม ถือว่าเมล็ดนั้นถูกแมลงเข้าทำลายแล้ว และจะไม่ได้รับการยอมรับถ้ายังไม่มีมาตรการการจัดการ (Canada Grain Act, 1975 อ้างอิงโดย Karunakaran, 2004) ประเทศสหรัฐอเมริกายอมให้มีแมลงที่มีชีวิตได้ไม่เกิน 2 ตัวต่อเมล็ดข้าวสาลี 1 กิโลกรัม ถ้าพบแมลงที่มีชีวิตมากกว่า 2 ตัวจะถือว่าเมล็ดข้าวสาลีนั้นถูกแมลงเข้าทำลายแล้ว และข้าวสาลีนั้นจะกลายเป็น sample grade ถ้าพบเมล็ดที่มีการเข้าทำลายของแมลง 32 เมล็ดต่อข้าวสาลี 100 กรัม (USDA, 1997) ความล้มเหลวของการตรวจสอบการเข้าทำลายของแมลงจากต้นทาง นำไปสู่การระบาดของแมลงที่รุนแรงในภายหลัง ดังตัวอย่างเช่น ตัวอย่างข้าวสาลีที่ผ่านการตรวจสอบด้วยตะแกรงร่อนจาก 70 แหล่งในสหรัฐอเมริกา พบการเข้าทำลายของแมลงเพียง 4% แต่ตัวอย่างเดียวกันนั้นเมื่อผ่านการทำความสะอาด และเก็บไว้ 4-6 สัปดาห์ เมื่อนำมาตรวจสอบอีกครั้ง พบการเข้าทำลายของแมลงถึง 16% (Storey และคณะ, 1982) เห็นได้ว่ามีเมล็ดจำนวนมากที่มีระยะหนอนของแมลงซ่อนอยู่ภายในถึงแม้ว่าจะไม่พบตัวเต็มวัยในขณะที่ทำการตรวจสอบ ซึ่งการหลบซ่อนนี้จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความสูญเสียอย่างรุนแรงตามมาในระหว่างการเก็บและการขนส่ง เป็นการยากที่จะตรวจพบการเจริญเติบโตของแมลงภายในเมล็ด และการเข้าทำลายของแมลงที่กินแต่เพียงภายนอกเมล็ดในระดับต่ำถ้าไม่พบตัวแมลงในตัวอย่างที่สุ่มมา ในประเทศแคนาดา ตรวจสอบตัวแทนเมล็ดจำนวน 1 กิโลกรัมด้วยกรวยเบอลิส (Belese funnels) เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมงเพื่อแยกแมลงที่มีชีวิตออก แต่ในระหว่างนี้เมล็ดอาจจะถูกลำเลียงและบรรทุกไปในเรือเพื่อการส่งออกแล้ว (Karunakaran, 2004)

การตรวจสอบการทำลายของแมลงศัตรูในผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสิ่งจำเป็น จากการสุ่มตัวอย่างอาจไม่พบแมลง แต่ก็มิได้หมายความว่ายังไม่เกิดความเสียหายขึ้น แมลงในระยะหนอนอาจหลบซ่อนอยู่ภายในซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ หรือแม้แต่ใช้วิธีการบางวิธีก็ยังไม่สามารถตรวจพบได้ การร่อนด้วยตะแกรงเป็นการตรวจสอบอย่างง่ายสำหรับแมลงระยะตัวเต็มวัยที่กัดกินเมล็ดอยู่ภายนอก แต่การตรวจสอบการทำลายของแมลงที่อยู่ภายในเมล็ดก็ทำได้ยาก ได้มีการพัฒนาวิธีการหลาย ๆ วิธีขึ้นเพื่อตรวจสอบเมล็ดที่เสียหาย ได้แก่ การย้อมสีเมล็ดเพื่อดูร่องรอยการวางไข่ของด้วง การลอยน้ำของเมล็ดที่ถูกทำลายแล้ว การตรวจสอบเสียง การวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แมลงสร้างขึ้น การวัดกรดยูริค หรือแม้แต่การใช้รังสีเอกซ์ (Karunakaran, 2004) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อจำกัดแตกต่างกันออกไป การตรวจพบการเข้าทำลายของแมลงยิ่งเร็วเท่าใด ยิ่งทำให้การเก็บรักษาเมล็ดมีคุณภาพยิ่งขึ้น และทำให้การป้องกันการเข้าทำลายของแมลงช่วยเสริมการทำความสะอาดเมล็ดได้เพื่อการใช้สารเคมีให้น้อยที่สุด หรือการใช้สารรมเท่าที่จำเป็นเท่านั้น การใช้ NIR เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้มีการนำมาใช้ในทางการเกษตรเพื่อจุดประสงค์นี้ แต่ยังมีการศึกษาน้อย และมีข้อมูลไม่เพียงพอโดยเฉพาะการตรวจสอบผลิตผลเกษตรประเภทเมล็ดพืช การตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพตั้งแต่ระยะแรกหลังการเก็บเกี่ยว จะช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดตามมาในภายหลังได้

NIR (Near-infrared) Spectroscopy ได้ถูกนำมาใช้งานในช่วงปลายของทศวรรษ 1970 เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลโดยไม่ทำลายตัวอย่าง เป็นการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-2,500 นาโนเมตร NIR Spectroscopy มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลาย ๆ ด้านโดยเฉพาะด้านอาหารและยา ซึ่งได้มีการนำมาใช้ในการจำแนกองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของตัวอย่างทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้เป็นอย่างดี ความเป็นไปได้ในการใช้ NIR spectroscopy เพื่อจุดประสงค์ทางอนุกรมวิธาน ใช้ข้อมูลพื้นฐานจากการที่แมลงทุกชนิดอาจมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกัน และพบว่าการดูดกลืนแสงของไขมันที่ผิว (cuticular lipids) เป็นตัวช่วยในการจำแนกแมลงได้ (Dowell และคณะ, 1999) Pasikatan และ Dowell (2001) ศึกษาการใช้ความยาวคลื่นแสงมาใช้ในการแยกเมล็ด ซึ่งสามารถตรวจลักษณะที่ผิวเมล็ดพันธุ์ได้ เช่นการเปลี่ยนสีที่มีสาเหตุจากเชื้อรา ในขณะที่สามารถตรวจสอบการทำลายของแมลงภายในเมล็ดได้โดยใช้ near–infrared range ด้วยการวัด chitin, protein, phenolic compounds หรือการเปลี่ยนแปลงของแป้งสำหรับการคัดแยกเมล็ด การตัดสินว่ามีแมลงหรือไม่เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำอย่างรวดเร็ว ซึ่งบางครั้งอาจไม่จำเป็นต้องทราบถึงชนิดของแมลงและระยะการเจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ดี การจำแนกแมลงเพื่อทราบชนิด ทราบระยะการเจริญเติบโต และทราบว่าแมลงตายหรือมีชีวิต ยังจำเป็นสำหรับการจัดการผลิตผลเกษตรที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบการเข้าทำลายของแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวภายในข้าวสาร โดยสร้างระบบการคัดแยกข้าวสารที่มีการเข้าทำลายของด้วงงวงข้าวโพดหลังการวางไข่อย่างรวดเร็วด้วย Visible – Near Infrared spectrometer

วิธีดำเนินการ

<u>การเตรียมตัวอย่างข้าวและเลี้ยงเพิ่มปริมาณด้วงงวงข้าวโพด</u>

เตรียมข้าวสารสำหรับใช้เลี้ยงด้วงงวงข้าวโพดและใช้ทดสอบ โดยนำข้าวมาทำความสะอาดให้ปลอดจากแมลงด้วยการแช่ในตู้แช่แข็ง ที่มีอุณหภูมิประมาณ -20°C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้ เก็บตัวอย่างแมลง

จากโรงสีในจังหวัดต่าง ๆ นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 30±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65±5% ให้ได้ปริมาณตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดที่เพียงพอ เมื่อด้วงงวงข้าวโพดมีอายุ 2-3 สัปดาห์ นำมาแยกเพศภายใต้กล้องจุลทรรศน์

<u>วิธีการเตรียมตัวอย่างข้าวที่มีการเข้าทำลายของแมลงและการวัดสเปคตรัม</u>

เตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าวสารที่มีด้วงงวงข้าวโพดอายุแตกต่างกัน ทั้งระยะไข่ และระยะหนอน โดยชั่งข้าวสาร 25 กรัม และบรรจุในขวดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 12.5 เซนติเมตร ใส่ด้วงงวงข้าวโพดขวดละ 10 คู่ ปิดฝาขวดด้วยกระดาษซับ เพื่อปล่อยให้ตัวเต็มวัยวางไข่ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วคัดแยกตัวเต็มวัยออกให้หมด จากนั้นข้าวสารจะถูกนำมาวัดสเปคตรัมทุกระยะตั้งแต่ระยะ 1 วัน จนถึงระยะ 14 วัน ซึ่งจะเป็นตัวอย่างข้าวสารที่มีการเข้าทำลายของด้วงงวงข้าวโพดทั้งระยะไข่และระยะหนอน จำนวน 199 ตัวอย่าง รวมถึงข้าวสารที่ไม่มีด้วงงวงข้าวโพดเข้าทำลายจำนวน 179 ตัวอย่างด้วย โดยใส่ข้าวสารลงใน close cup และวัดสเปคตรัมด้วยเครื่อง Visible-NIR spectrometer ครอบคลุมช่วง 400-2500 นาโนเมตร หลังจากการวัดสเปคตรัม ข้าวสารจะถูกนำไปเก็บรักษาเป็นต่อเป็นเวลา 45 วัน เพื่อนับจำนวนด้วงงวงข้าวโพดที่เกิดขึ้นในแต่ละตัวอย่าง

<u>การวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

แบบจำลองการคัดแยกกลุ่มของข้าวสารจะถูกสร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงาน (สเปคตรัม) ของข้าวที่มีการวางไข่แต่ยังไม่สามารถสังเกตเห็นตัวด้วงงวงข้าวโพด และจำนวนด้วงงวงข้าวโพดที่เกิดขึ้นหลังการเก็บรักษาไว้ 45 วัน ด้วยวิธี partial least square discriminant analysis (PLSDA) โดยในการสร้างแบบจำลอง ได้ทำการแบ่งข้อมูลของข้าวตามจำนวนด้วงงวงข้าวโพดออกเป็นช่วง ๆ คือ มากกว่า 41, 31-40, 21-30, 11-20 และ 1-10 ตัว และสร้างแบบจำลองของแต่ละช่วง ทั้งนี้เพื่อใช้ในการศึกษาศักยภาพของแสงย่าน visible และ Near Infrared ในการตรวจสอบปริมาณของด้วงงวงข้าวโพดที่น้อยที่สุดที่สามารถตรวจสอบได้ จากการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นช่วงๆ ทำให้ในแต่ละช่วงมีจำนวนตัวอย่างแตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 1

<u>ตารางที่ 1</u> จำนวนตัวอย่างในกลุ่มที่มีและไม่มีด้วงงวงข้าวโพด สำหรับสร้างแบบจำลองการคัดแยกในแต่ละช่วง

จำนวนมอดในการสร้างแบบจำลอง	จำนวนตัวอย่าง	
	กลุ่มที่ไม่มีด้วงงวงข้าวโพด	กลุ่มมีด้วงงวงข้าวโพด
มากกว่า 40 ตัว	179	8
31 – 40 ตัว	179	5
21 – 30 ตัว	179	31
11 – 20 ตัว	179	31
1 - 10 ตัว	179	124

กระบวนการวิเคราะห์แบบ PLSDA เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยตัวแปรหุ่น (Dummy variable) เป็นตัวแทนค่ากลุ่มของตัวอย่าง โดยได้กำหนดให้ ข้าวที่ไม่มีด้วงงวงเกิดขึ้นหลัง 45 วันมีค่าตัวแปรหุ่นเป็น 0 และข้าวที่มีด้วงงวงในช่วงจำนวนต่าง ๆ มีค่าเป็น 1 ผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSDA แสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความ

ถูกต้อง โดยข้าวมีค่าตัวแปรหุ่นอยู่ในกลุ่ม 0 ต้องมีค่าทำนายอยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5 จึงถือว่าแบบจำลองการคัดแยกที่สร้างขึ้นนั้นถูกต้อง ในขณะที่ตัวอย่างข้าวที่มีด้วงงวง (มีค่าตัวแปรหุ่นเป็น 1) จะต้องมีค่าทำนายอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.5 นอกเหนือจากนี้ถือว่าการทำนายนั้นมีความผิดพลาด กระบวนการสร้างแบบจำลองจะใช้วิธี Cross validation เนื่องจากตัวอย่างในกลุ่ม 1 ของแต่ละช่วงมีปริมาณน้อย

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ พบว่า การสร้างแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มที่ดีที่สุดในแต่ละช่วงข้อมูลได้จากการใช้สเปคตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2 (2nd derivative) ช่วงความยาวคลื่น 400-1100 นาโนเมตร ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด โดยช่วงคลื่นสั้น (400-1100 นาโนเมตร) ให้ค่าความถูกต้องในการทำนายที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลแบบเต็มช่วงความยาวคลื่น (400-2500 นาโนเมตร) และช่วงคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ทั้งนี้เนื่องจากช่วงคลื่นสั้นมีอำนาจการทะลุทะลวงที่สูงกว่า แสงจึงสามารถเก็บข้อมูลภายในได้ดีกว่าช่วงคลื่นยาว อีกทั้งการใช้ข้อมูลแบบเต็มช่วงอาจจะมีการนำข้อมูลอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าสู่แบบจำลองมากเกินไป จึงทำให้ผลการทำนายไม่ดีเท่าช่วงคลื่นสั้น แต่อย่างไรก็ดี การใช้ข้อมูลแบบเต็มช่วงก็ให้ผลที่ดีไม่ต่างจากช่วงคลื่นสั้นมากเท่าใดนัก ผลของแบบจำลองที่ดีที่สุดที่สร้างขึ้นในแต่ละช่วงจำนวนของมอดแสดงดังตารางที่ 2 โดยแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดแยก

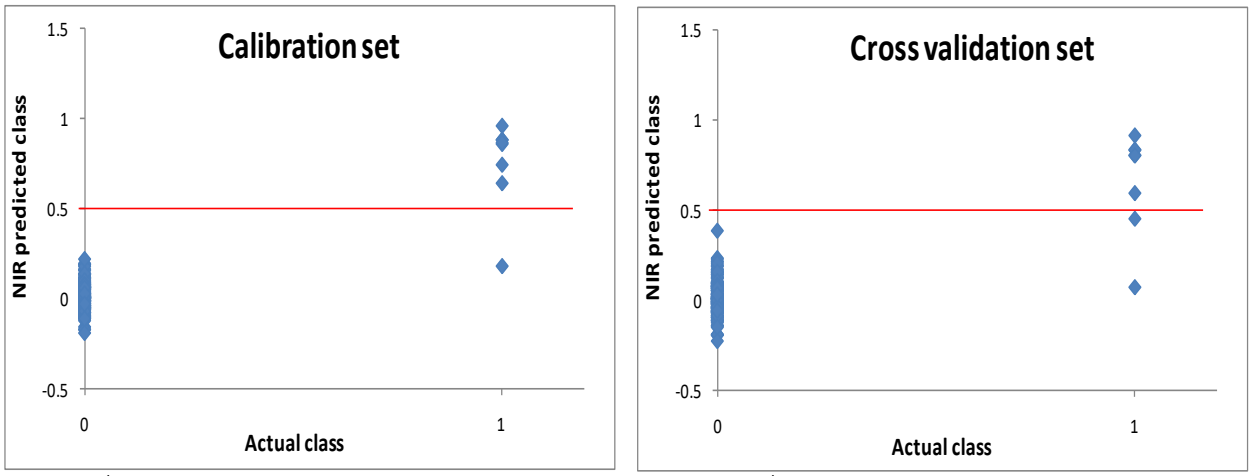
<u>ตารางที่ 2</u> ผลการสร้างแบบจำลองคัดแยกกลุ่มข้าวที่มีและไม่มีด้วงงวงข้าวโพดในแต่ละช่วงจำนวนด้วงงวงหลังเก็บรักษาข้าวไว้ 45 วัน

แบบจำลองการคัดแยกกลุ่มข้าวที่มีด้วงงวงในช่วงข้อมูลต่างๆ	**เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง**					
	calibration			cross validation		
	กลุ่ม 0*	**กลุ่ม 1****	**total**	**กลุ่ม 0***	**กลุ่ม 1****	**total**
มากกว่า 41 ตัว	100	87.5	99.5	100	75	98.9
31- 40	100	100	100	100	80	99.5
21- 30	98.9	100	99	98.9	100	99
11- 20	98.9	90.3	97.6	98.9	90.3	97.6
1-10	<50	<50	<50	<50	<50	<50

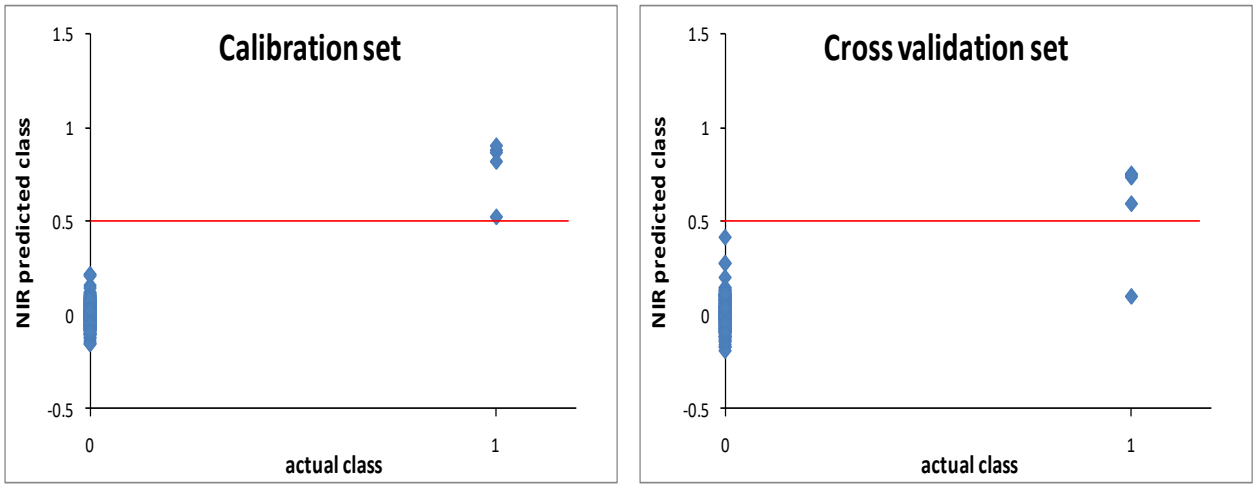
* 0 หมายถึง ข้าวที่<u>ไม่มี</u>ด้วงงวงข้าวโพดเกิดขึ้นหลังการเก็บรักษาไว้ 45 วัน
** 1 หมายถึง ข้าวที่<u>มี</u>ด้วงงวงข้าวโพดเกิดขึ้นหลังการเก็บรักษาไว้ 45 วัน

จากตารางจะเห็นว่า แบบจำลองการคัดแยกกลุ่มของข้าวที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มของข้าวที่จะเกิดด้วงงวงข้าวโพดหลังการเก็บรักษาไว้ 45 วันได้ด้วยความถูกต้องมากกว่า 95% ทั้ง 4 แบบจำลองนั่นคือ แบบจำลองสำหรับช่วงการเกิดด้วงงวงที่มากกว่า 41 ตัว, 31-40, 21-30 และ 11-20 ตัว สำหรับแบบจำลองของข้าวที่จะเกิดด้วงงวงเพียง 1-10 ตัว ได้ค่าความถูกต้องที่ต่ำกว่า 50% เนื่องจากมีปริมาณของด้วงงวงที่จะเกิดขึ้นต่ำเกินกว่าที่แสง visible และ NIR จะเก็บข้อมูลการดูดกลืนได้ ผลของแบบจำลองสามารถแสดงให้เห็นในรูปของ

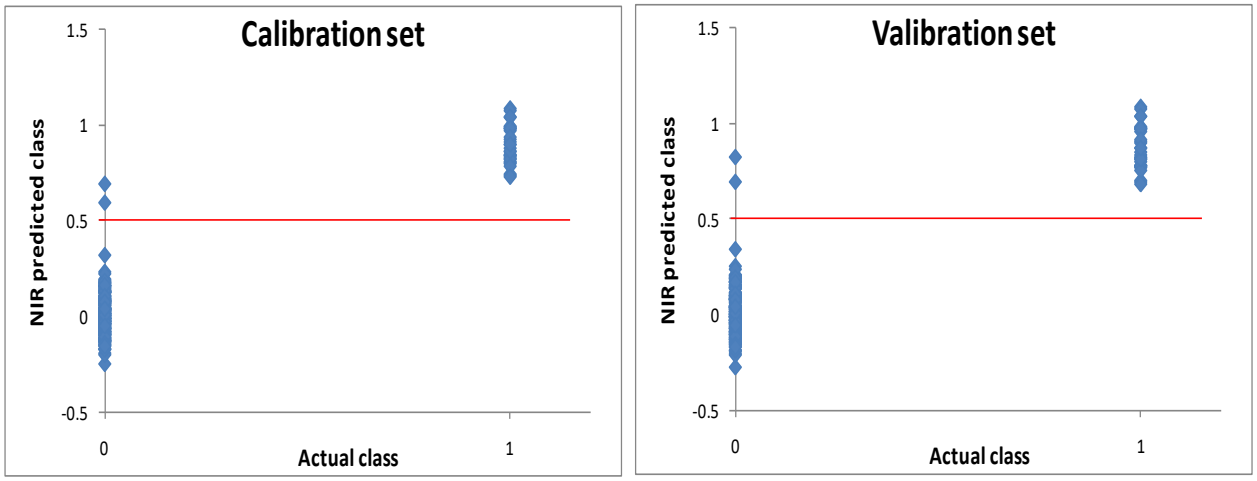
Scatter plot ภาพที่ 1, 2, 3 ,4 และ 5 สำหรับการคัดแยกกลุ่มมากกว่า 41 ตัว, 31-40, 21-30, 11-20 และ 1-10 ตัว ตามลำดับ



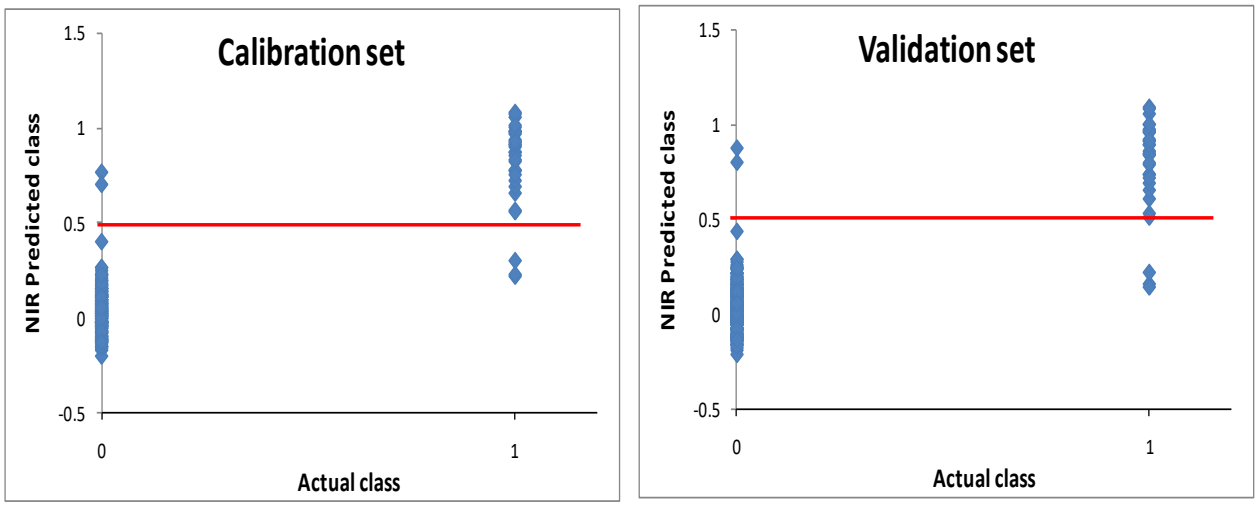
ภาพที่ 1 ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มข้าวที่จะเกิดด้วงงวงข้าวโพดมากกว่า 41 ตัว



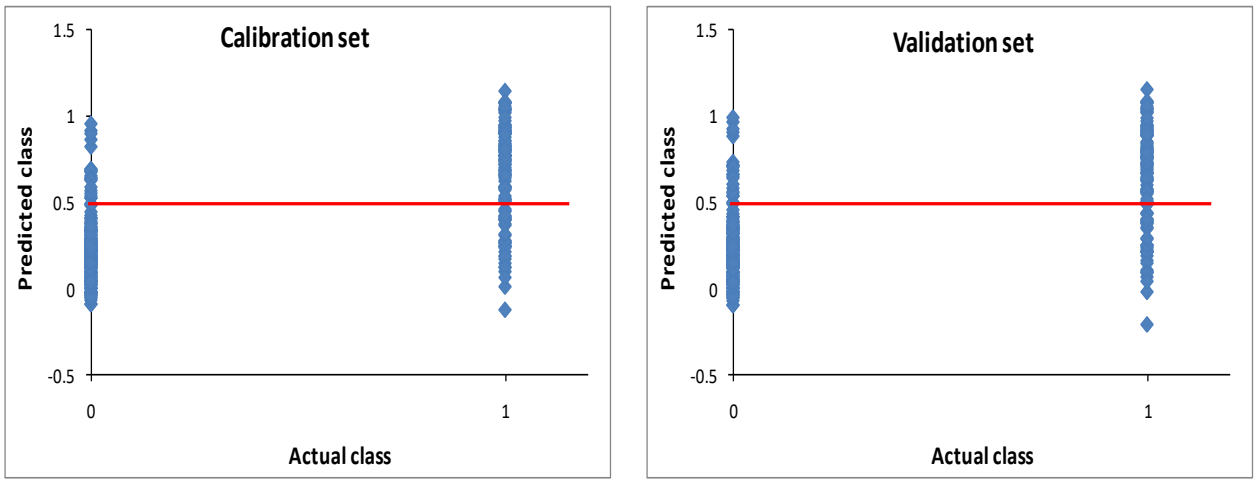
ภาพที่ 2 ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มข้าวที่จะเกิดด้วงงวงข้าวโพด 31-40 ตัว



ภาพที่ 3 ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มข้าวที่จะเกิดด้วงงวงข้าวโพด 21-30 ตัว

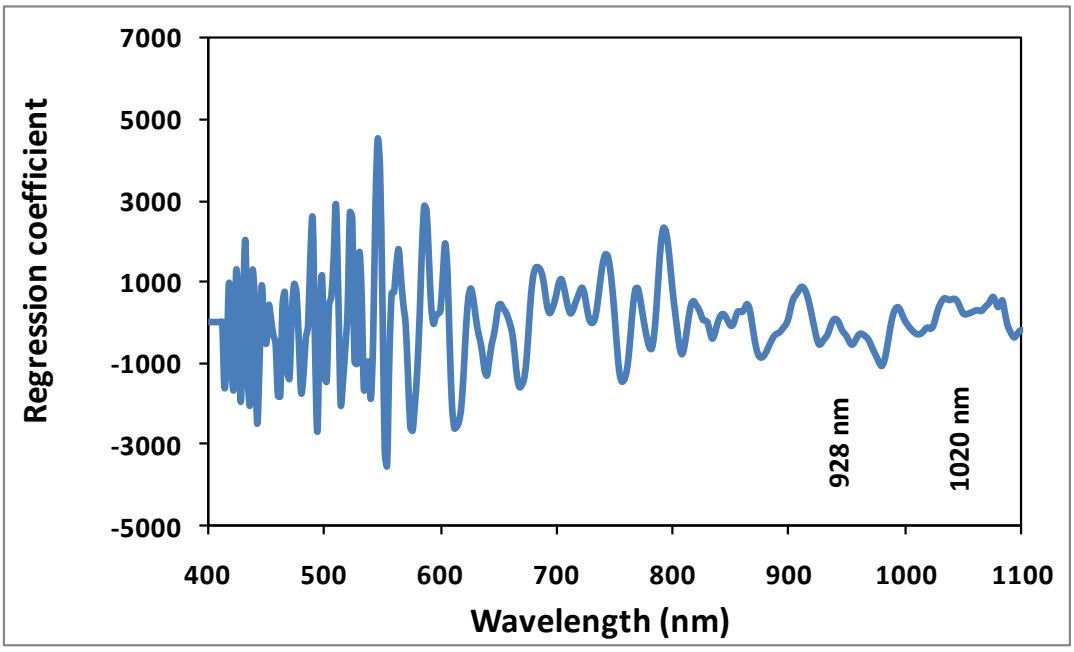


ภาพที่ 4 ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มข้าวที่จะเกิดด้วงงวงข้าวโพด 11-20 ตัว



ภาพที่ 5 ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มข้าวที่จะเกิดด้วงงวงข้าวโพด 1-10 ตัว

จาก scatter plot ภาพที่ 1, 2, 3, 4 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า visible และ NIR มีศักยภาพสูงเพียงพอที่จะใช้ในการคัดแยกกลุ่มของข้าวที่จะเกิดด้วงงวงข้าวโพดได้ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มได้อย่างถูกต้องมากกว่า 95% สำหรับข้าวที่มีการวางไข่และเกิดเป็นตัวด้วงงวงมากกว่า 10 ตัว นอกจากนี้หากพิจารณา regression coefficient ของแบบจำลองการคัดแยก (ภาพที่ 6) จะเห็นว่า ตำแหน่งการดูดกลืนที่มีความสำคัญต่อแบบจำลองการคัดแยกอยู่ที่ 928 และ 1120 นาโนเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนของไขมันและโปรตีน (ตามลำดับ) อันเป็นองค์ประกอบหลักของไข่ หรือหนอน ที่จะเจริญเติบโตไปเป็นตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดในข้าวสาร จากหลักการดังกล่าวจึงทำให้แบบจำลองคัดแยกที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มที่มีด้วงงวงข้าวโพดและไม่มีด้วงงวงข้าวโพดของข้าวสารได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 6 Regression coefficient ของแบบจำลองการคัดแยกกลุ่มข้าวที่จะเกิดเป็นตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด หลังเก็บรักษาข้าวสารไว้ 45 วัน

สรุปผลการทดลอง

ระบบการคัดแยกกลุ่มข้าวสารที่มีด้วงงวงข้าวโพด และไม่มีด้วงงวงข้าวโพดที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกกลุ่มได้อย่างถูกต้องมากกว่า 95% สำหรับข้าวที่มีการวางไข่และเกิดเป็นตัวเต็มวัยมากกว่า 10 ตัว อีกทั้งยังเป็นระบบที่สามารถใช้ในการทำนายการเกิดด้วงงวงข้าวโพดในข้าวได้ในขณะที่อยู่ในระยะไข่ หรือระยะหนอนที่อายุไม่เกิน 14 วัน ซึ่งจะยังไม่สามารถเห็นความเสียหายจากภายนอกได้ชัดเจน

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เป็นพื้นฐานการวิจัยในการตรวจสอบเมล็ดพืชที่มีการเข้าทำลายของแมลงที่เป็นศัตรูผลิตผลเกษตร เพื่อการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดตามมาในภายหลัง ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีสำหรับพ่อค้า ผู้ประกอบการ และผู้ส่งออกที่สามารถนำไปใช้ในทางการค้าได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.รณฤทธิ์ ฤทธิรณ และ นางสาวสุรีพร ณรงค์วงศ์วัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

พรทิพย์ วิสารทานนท์ พรรณเพ็ญ ชโยภาส ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม จิราภรณ์ ทองพันธ์ ดวงสมร สุทธิสุทธิ์ ลักขณา ร่มเย็น ภาวินี หนูชนะภัย และอัจฉรา เพชรโชติ. 2551. แมลงที่

พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 170 หน้า

Canada Grain Act. 1975. Canada Grain Regulations. Canada Gazette, Part II, Vol. 109, No. 14.

Dowell, F.E., J.E. Throne, D. Wang and J.E. Baker. 1999. Identifying stored-grain insects using near-infrared spectroscopy. *J.Econ.Entomol.* 92 (1): 165-169.

Edwards, J.P., J.E. Short and L. Abraham. 1991. Large-scale evaluation of the insect juvenile hormone analogue fenoxycarb as a long-term protectant of stored wheat. *J. Stored Prod .Res.* 27 (1): 31-39.

Jood, S., A.C. Kapoor and R. Singh. 1992. Mineral contents of cereal grains as affected by storage and insect infestation. *J. Stored Prod .Res.* 28 (3): 147-151.

Karunakaran, C., D.S. Jayas and N.D.G. White. 2004. Soft x-rays: a potential insect detection method in cereals in grain handling facilities. *In* 2004 International Quality Grains Conference Preceedings. Available at: http://cobweb.ecn.purdue.edu/~grainlab/IQGC1/proc/pdf/karunakaran.pdf Accessed on August 29, 2008.

Liscombe, E.A.R. 1962. Milling losses caused by insect infestation of wheat. *Cereal Chem.* 39: 372-380.

Madrid, F.J. and R.N. Sinha. 1982. Feeding damage of three stored-product moths (Lepidoptera: Pyralidae) on wheat. *J. Econ. Entomol.* 75 (6): 1017-1020.

Pasikatan, M.C. and F.E. Dowell. 2001. Sorting systems based on optical methods for detecting and removing seeds infested internally by insects of fungi: a review 1. Available at: http//www.informaworld.com/smpp/content~content=a713616327?words=using%7cnear%2d%7cinfrared%7cspectroscopy%7cagriculture&hash=1087430276 Accessed on August 29, 2008.

Smith, L.W., J.J. Pratt, I. Nii and A.P. Umina. 1971. Baking and taste properties of bread made from hard wheat flour infested with species of *Tribolium, Tenebrio, Trogoderma* and *Oryzaephilus*. *J. Stored Prod .Res.* 6 (4): 307-316.

Storey, C.L., D.B. Sauer, L.Ecker and D.W. Fulk. 1982. Insect infestations in wheat and corn exported from the United States. *J. Econ. Entomol.* 75 (5): 827-832.

USDA. 1997. Chapter 13: Wheat. *In* Grain Inspection Handbook. Washington, D.C.: USDA Grain Inspection, Packers, and Stockyards Administration, Federal Grain Inspection Service. Available at: www.usda.gov/gipsa/reference-library/handbooks/graininsp/grbook2/bk2ch13.pdf.

White, G.D. 1953. Weight loss in stored wheat caused by insect feeding. *J. Econ. Entomol.* 46(4): 609-610.

White, N.D.G. 1995. Insects, mites, and insecticides in stored-grain ecosystems. *In* Stored-Grain Ecosystems, ed. D.S. Jayas, N.D.G. White and W.E. Muir, 123-168. New York, NY: Marcel Dekker, Inc.