



วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at [ThaiJo](https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj)

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj>



การประเมินความเสียหายของข้าวจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Nilaparvata lugens* (Stål)) ด้วยเทคโนโลยีภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นจากอากาศยานไร้คนขับ

Assessment of rice damage caused by brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)) using UAV-based multispectral imagery

พลอยไพลิน ธนิกกุล^{1*}, จินตนา ไชยวงศ์², ปริมาภรณ์ เนตรสว่าง³, ปกรณ์ เผ่าธีระสานต์¹, นัทธพงศ์ พันธุ์ศรี¹, อิงค์ อิงคินันท์¹, นรินทร์ บำรุงกิจ¹, สุกัญญา อรัญมิตร¹, นพดล ประยูรสุข⁴ และ นิตยา รื่นสุข⁵

Ploypilin Thanikkul^{1*}, Jintana Chaiwong², Paramaporn Netsawang³, Pakorn Paoteerasarn¹, Nattapong Phansri¹, Aing Aingkaninun¹, Narin Bamrungkit¹, Sukanya Arunmit¹, Noppadol Prayoonsuk⁴ and Nittaya Ruensuk⁵

¹ กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ 0-2579-7892

¹ Division of Rice Research and Development, Rice Department, Chatuchak, Bangkok 10900 Tel. 0-2579-7892

² ศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ 50250 โทรศัพท์ 0-5337-8093

² Samoeng Rice Research Center, Samoeng, Chiang Mai 50250 Tel. 0-5337-8093

³ สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000 โทรศัพท์ 0-3555-5340

³ Thailand Rice Science Institute, Mueang, Suphan Buri 72000 Tel. 0-3555-5340

⁴ ศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000 โทรศัพท์ 0-3570-9051

⁴ Phra Nakhon Si Ayutthaya Rice Research Center, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000 Tel. 0-3570-9051

⁵ ข้าราชการบำนาญ กรมการข้าว

⁵ Retired government official, Rice Department

บทคัดย่อ: เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Nilaparvata lugens* (Stål)) (Hemiptera: Delphacidae) เป็นแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญที่สร้างความเสียหายรุนแรงต่อระบบการผลิตข้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นจากอากาศยานไร้คนขับในการประเมินความเสียหายของข้าวจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพแปลงนา ดำเนินการทดลองในฤดูนาปี พ.ศ. 2565 และ พ.ศ. 2566 ณ แปลงนาทดลองสถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ โดยชักนำให้เกิดความเสียหายที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับต่างๆ จากนั้นเก็บข้อมูลภาคสนามและข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่น ทุก 7 วันหลังปล่อยแมลง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI, SAVI และ GNDVI กับ ระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าว และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ผลการศึกษาพบว่า ภาพถ่ายทางอากาศที่ความละเอียด 1 ซม./พิกเซล ไม่สามารถมองเห็นจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล แต่สามารถประเมินความผิดปกติของต้นข้าวและบริเวณที่ถูกทำลายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ เมื่อต้นข้าวแสดงอาการผิดปกติตั้งแต่ระดับคะแนน 5 เป็นต้นไป แต่ไม่ปรากฏบริเวณของต้นข้าวที่ถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายในระยะเริ่มต้น (ระดับคะแนน 1-3) โดยค่าดัชนีพืชพรรณมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับคะแนนบ่งชี้ความผิดปกติของต้นข้าวและร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับความเสียหายของต้นข้าวสูงที่สุด และให้ประสิทธิภาพในการทำนายดีที่สุด ($r^2 = 0.506-0.512$) รวมทั้งมีค่า RMSE ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ SAVI และ GNDVI ซึ่งเห็นว่า ภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นจากอากาศยานไร้คนขับมีศักยภาพในการประเมิน

* Corresponding author: ploypilin.t@rice.mail.go.th

Received: date; January 29, 2026 Revised: date; May 11, 2026

Accepted: date; May 14, 2026 Published: date; August 24, 2026

ความเสียหายของต้นข้าวจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และสามารถประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการติดตามการระบาดและการจัดการศัตรูข้าวแบบแม่นยำในนาข้าวได้

คำสำคัญ: ข้าว; เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล; การทำลาย; หลายช่วงคลื่น; ดัชนีพืชพรรณ

ABSTRACT: The brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae), is recognized as a major insect pest causing severe damage to rice production systems. The potential of UAV-based multispectral imagery for assessing BPH damage in rice fields was evaluated in this study. Experiments were conducted at the Thailand Rice Science Institute during the 2022 and 2023 dry seasons. Different levels of BPH damage were induced under field conditions. Field observations and aerial imagery were collected at seven-day intervals following insect release using a UAV equipped with a multispectral camera. Vegetation indices, including NDVI, SAVI, and GNDVI, were analyzed in relation to rice damage scales and the percentage of damaged areas. The results demonstrated that aerial imagery with a spatial resolution of 1 cm/pixel was unable to detect individual BPH populations; however, symptoms and plant damage could be identified once the severity reached a damage scale rating of 5 or higher. In contrast, early-stage infestations (damage scale levels 1–3) could not be detected. Vegetation index values were found to decrease as rice damage scales and the percentage of damaged area increased. Among the evaluated indices, NDVI exhibited the strongest relationship with rice damage and provided the highest predictive performance ($r^2 = 0.506-0.512$), with lower RMSE values than SAVI and GNDVI. These findings indicate that UAV-based multispectral imagery can potentially be applied for assessing rice damage caused by BPH infestation and for supporting pest outbreak monitoring and precision pest management in rice fields.

Keywords: rice; brown planthopper; damage; multispectral; vegetation index

บทนำ

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Nilaparvata lugens* (Stål); BPH) (Hemiptera: Delphacidae) เป็นแมลงจำพวกปากดูดตัวเต็มวัยมีลำตัวสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลปนดำ มีรูปร่าง 2 ลักษณะ คือ ชนิดปีกยาว (macropterous form) และชนิดปีกสั้น (brachypterous form) ชนิดปีกยาวสามารถเคลื่อนย้ายและอพยพไปในระยะทางไกลและไกล โดยอาศัยกระแสลม (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2566) ส่วนชนิดปีกสั้นมีลักษณะปีกยาวเพียงครึ่งท้อง ทำให้ไม่สามารถบินได้ แต่มีความสามารถในการสืบพันธุ์สูง โดยลักษณะดังกล่าวเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลชนิดปีกสั้นจึงอาศัยอยู่บนพืชอาศัยเพื่อกินอาหารและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (Xu et al., 2015) นอกจากนี้ ทั้งระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถดูดกินน้ำเลี้ยงจากเซลล์ท่อลำเลียงอาหาร บริเวณโคนต้นข้าวระดับเหนือผิวน้ำ ทำให้ต้นข้าวมีอาการใบเหลืองแห้ง ลักษณะคล้ายถูกน้ำร้อนลวก แห้งตายเป็นหย่อมๆ เรียก “อาการไหม้ (hopper burn)” โดยทั่วไปพบอาการไหม้ในระยะข้าวแตกกอถึงระยะออกรวง นอกจากนี้ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเป็นแมลงพาหะนำเชื้อไวรัสโรคใบหงิก (rice ragged stunt) และโรคเขียวเตี้ย (rice grassy stunt) (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2566) โดยในปี พ.ศ. 2568 พบรายงานพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั่วประเทศไทยที่ได้รับความเสียหายจากการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลไม่ต่ำกว่า 6,119 ไร่ (กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย, 2568) ดังนั้น เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจึงเป็นแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญต่อระบบการผลิตข้าว

การสำรวจติดตามสถานการณ์การระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าว ทำได้โดยการสุ่มนับด้วยตาเปล่าและการตรวจนับโดยใช้สวิงโอบ จำนวน 20 จุดหรือโอบ ตามแนวทแยงมุมของแปลงนา เพื่อตรวจนับจำนวนประชากรแมลงทุก 7 วัน ในกรณีที่พบตัวอ่อนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลวัยที่ 1-2 จำนวนมากกว่า 5 ตัวต่อต้น หรือพบตัวอ่อนและตัวเต็มวัยชนิดปีกสั้น จำนวนมากกว่า 1 ตัว/ต้น หรือ 10 ตัว/กอ (ระดับเศรษฐกิจ (economic threshold; ET) ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลคือ 1 ตัว/ต้น) สามารถป้องกันกำจัดด้วยสารป้องกันกำจัดแมลงตามคำแนะนำของกรมการข้าว (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2566) มิเช่นนั้นจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตข้าว นอกจากนี้ การติดตั้งกับดักแสงไฟ (conventional light trap) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยตรวจนับจำนวนแมลงทุกวัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพยากรณ์การระบาด (สำนักส่งเสริมการผลิตข้าว, 2564) อย่างไรก็ตาม กิจกรรมดังกล่าวต้องอาศัยแรงงานคนที่มีความเชี่ยวชาญ ต้องใช้ระยะเวลาในการสำรวจและเก็บข้อมูลในพื้นที่ขนาดใหญ่ รวมถึงงบประมาณที่มีอย่างจำกัด ทำให้การดำเนินงานไม่ต่อเนื่องและไม่ทันต่อสถานการณ์

ปัจจุบันการสำรวจระยะไกล (remote sensing) ด้วยอากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle; UAV) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างคล่องตัว มีการใช้งานที่สะดวก ราคาถูก และมีความละเอียดสูงในการแสดงผลของภาพถ่าย (ปริญญ์, 2563; Aslan et al., 2022) นอกจากนี้ การใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเซนเซอร์ต่างๆ เช่น กล้องถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่น (multispectral camera) กล้องถ่ายภาพแบบช่วงคลื่นความละเอียดสูง (hyperspectral camera) เป็นต้น ซึ่งให้ภาพถ่ายที่มีความละเอียดแตกต่างกัน ทั้งในด้านเวลา พื้นที่ และช่วงคลื่น โดยสามารถนำแหล่งข้อมูลเหล่านี้มาใช้ในการติดตามตรวจจับโรคและแมลงศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Zheng et al., 2023) โดยหลักการของการตรวจติดตามศัตรูพืชในนาข้าวด้วยการสำรวจระยะไกล คือ ศัตรูพืชจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเซลล์ของพืช ปริมาณรงควัตถุ (pigment) ปริมาณน้ำและไนโตรเจน รวมถึงรูปร่างของใบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลต่อช่วงคลื่นการสะท้อนแสงของพืช (Cao et al., 2022)

การสะท้อนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด (near-infrared; NIR) ของพืชที่แสดงอาการผิดปกติจะต่ำกว่าพืชที่มีสุขภาพดีอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงคลื่น NIR ซึ่งอาจเกิดจากการลดลงของชีวมวล เนื่องจากใบม้วนและใบร่วงที่เกิดจากการทำลายของศัตรูพืช การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพและเคมีของพืชที่เกิดจากศัตรูพืช จึงเป็นวิธีการที่สำคัญในการตรวจพบและระบุชนิดของศัตรูพืชได้อย่างแม่นยำ โดยค่าดัชนีพืชพรรณ (vegetation index) ที่วิเคราะห์จากช่วงคลื่น NIR ของภาพถ่ายทางอากาศ และนิยมใช้ในการติดตามและเฝ้าระวังศัตรูพืช เช่น normalized difference vegetation index (NDVI) soil-adjusted vegetation index (SAVI) green normalized difference vegetation index (GNDVI) เป็นต้น (Zheng et al., 2023) อีกทั้งยังมีการประยุกต์ใช้ช่วงคลื่นที่มีความไวต่อศัตรูพืชร่วมกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาดัชนีพืชพรรณที่สามารถสะท้อนถึงเปลี่ยนแปลงของพืชได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น (Zheng et al., 2023)

เมื่อต้นข้าวถูกทำลายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจะแสดงอาการใบเหลือง เหี่ยวแห้ง แครกเกอร์ และเกิดอาการ hopper burn ซึ่งส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ โครงสร้างใบ และความสามารถในการสะท้อนแสงของพืช โดยเฉพาะในช่วงคลื่น visible และ NIR ดังนั้น กล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่นที่สามารถตรวจวัดการสะท้อนแสงในช่วงคลื่น Blue, Green, Red, Red edge และ NIR จึงมีศักยภาพในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นข้าวที่เกิดจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และอาจนำมาใช้ประเมินระดับความรุนแรงของการระบาดได้ จึงเป็นไปได้ว่าการสำรวจระยะไกลด้วย UAV ในการประเมินความเสียหายจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จะเป็นเครื่องมือในการช่วยติดตามความเสียหายที่เกิดจากการระบาดของแมลงศัตรูข้าวดังกล่าวในเบื้องต้นได้ รวมทั้งช่วยลดแรงงานและระยะเวลาในการสำรวจ

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อประเมินศักยภาพของภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นจาก UAV ในการประเมินความเสียหายของข้าวจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพแปลงนา สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาการสำรวจระยะไกลในการตรวจติดตามศัตรูข้าวอย่างแม่นยำในนาข้าวได้

วิธีการศึกษา

การเตรียมแปลงทดสอบ

1. ดำเนินการที่แปลงนาทดลองสถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ (พิกัดภูมิศาสตร์: ละติจูด 14.479484, ลองจิจูด 100.088334) (Figure 1) ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2565 (อุณหภูมิทรงพุ่มเฉลี่ย 33.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 76.5 เปอร์เซ็นต์) และฤดูนาปรัง พ.ศ. 2566 (อุณหภูมิทรงพุ่มเฉลี่ย 33.8 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 69.6 เปอร์เซ็นต์) ปลุกข้าวพันธุ์ กข41 ซึ่งไม่ต้านทานต่อการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท, 2561) โดยวิธีหว่านน้ำตม จัดการแปลงนาโดยใส่ปุ๋ย จำนวน 2 ครั้ง ตามคำแนะนำของกรมการข้าว (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559) พ่นสารกำจัดวัชพืชหลังหว่าน และไม่ใช้สารป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูข้าว

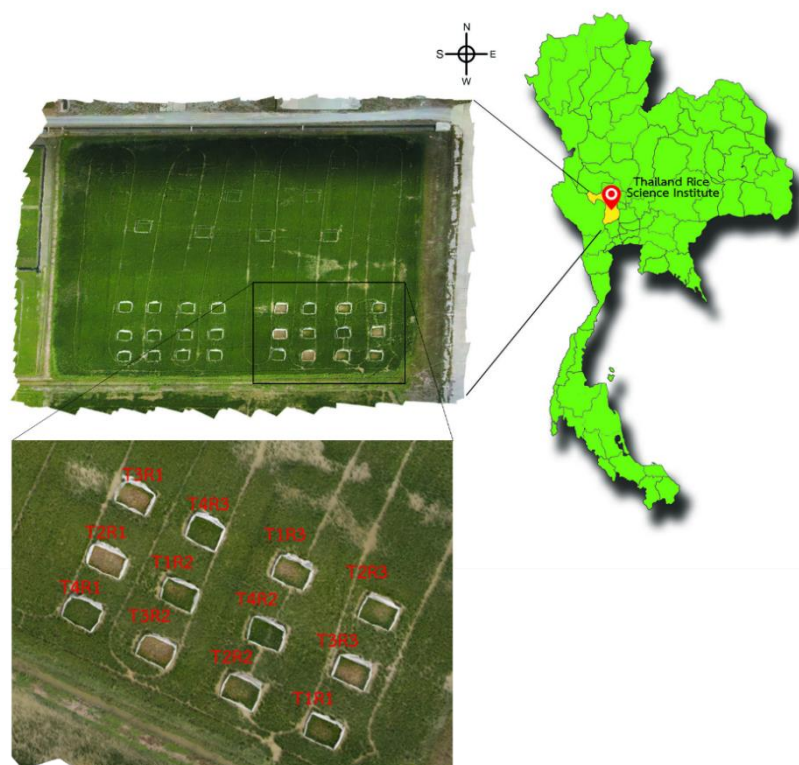


Figure 1 Experimental rice field plots used to evaluate BPH damage using UAV-based multispectral imagery at the Thailand Rice Science Institute, Suphan Buri province, during the dry seasons of 2022 and 2023. The enlarged image shows the arrangement of experimental treatments and replications within the study area (T1: Released BPHs <ET, T2: Released BPHs =ET, T3: Released BPHs >ET, T4: Control (not release BPH)).

2. เมื่อข้าวอายุ 10-15 วันหลังหว่าน ครอบพื้นที่ทดสอบด้วยกรงผ้าทำจากมุ้งตาข่ายไนลอนสีขาว 32 ตา ขนาดกว้างxยาว 3x3 เมตร สูง 1 เมตร เปิด-ปิด ด้านบนได้ (พื้นที่ 9 ตารางเมตร) จากนั้นใช้เครื่องดูดแมลง (D-vac) ดูดแมลงในกรงทดสอบออกให้หมด เพื่อให้ไม่ให้เป็นแหล่งศัตรูข้าวและศัตรูธรรมชาติชนิดอื่นๆ รบกวณการเข้าทำลายต้นข้าวของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในพื้นที่ทดสอบ

3. เมื่อข้าวอายุ 30 วันหลังหว่าน ดำเนินการนับจำนวนต้นข้าวภายในแต่ละกรงทดสอบและปล่อยตัวเต็มวัยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลชนิดปีกสั้นในระดับต่างๆ โดยคำนวณจำนวนแมลงที่ปล่อยจากต้นข้าวที่นับได้ในกรงทดสอบ และอ้างอิงตาม ET ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (1 ตัว/ต้น) (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2566) จำนวน 4 อัตรา อัตราละ 3 กรง ได้แก่ 1) ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวนน้อยกว่า ET (0.5 ตัว/ต้น) 2) ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวนเท่ากับ ET (1 ตัว/ต้น) 3) ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวนสองเท่าของ ET (2 ตัว/ต้น) และ 4) ไม่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ชุดควบคุม)

การรวบรวมข้อมูล

1. ข้อมูลภาคสนาม (ground-truth data) ดำเนินการตรวจนับแมลงด้วยตาเปล่า ทุก 7 วันหลังปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจนถึงข้าวระยะเก็บเกี่ยว โดยสุ่มนับจำนวนประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จำนวน 10 จุดต่อกรงทดสอบ (1 จุด คือ ต้นข้าว 1 กอ หรือต้นข้าวที่อยู่ใกล้กัน 10 ต้น) และประเมินระดับความผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ดำเนินการตามหลักการให้คะแนนของ standard evaluation system for rice (SES) โดยสถาบันวิจัยข้าวระหว่างประเทศ (International Rice Research Institute; IRRI) (IRRI, 2014) (Table 1) พร้อมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิมิเทียม ภายในพื้นที่ทดสอบขนาด 3x3 เมตร

Table 1 Classification of damage scales and symptoms caused by BPH infestation (IRRI, 2014)

Scale	Symptoms caused by BPH
0	No injury
1	Slight yellowing of a few plants
3	Leaves with partially yellow but with no hopper burn
5	Leaves with pronounced yellowing and stunting or wilting and 10-25% of plants with hopper burn, remaining plants severely stunted
7	More than half of the plants wilting or with hopper burn, remaining plants severely stunted
9	All plants dead

2. ข้อมูลภาพถ่ายจาก UAV โดยใช้ UAV ชนิดปีกหมุน (multirotor) แบบ 4 ใบพัด ยี่ห้อ/รุ่น DJI Phantom 4 พร้อมติดตั้งกล้องดิจิทัลบันทึกภาพเซนเซอร์ CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor) ขนาด 1/2.9 นิ้ว จำนวน 6 ตัว ประกอบด้วยเซนเซอร์ RGB จำนวน 1 ตัว สำหรับการถ่ายภาพในช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible light) และเซนเซอร์ระดับสีเทา (greyscale) จำนวน 5 ตัว สำหรับการถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral imaging) เก็บข้อมูลครอบคลุม 5 ช่วงคลื่น ได้แก่ Blue (450 nm $\pm$ 16 nm) Green (560 nm $\pm$ 16 nm) Red (650 nm $\pm$ 16 nm) Red edge (730 nm $\pm$ 16 nm) และ NIR (840 nm $\pm$ 26 nm) แต่ละเซนเซอร์มีความละเอียด 2.08 ล้านพิกเซล และใช้ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมรับวัดข้อมูลแบบ D-RTK 2 ดำเนินการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (ground control points; GCPs) บริเวณทั้งสี่มุมของแปลง จำนวน 4 จุด อ้างอิงพิกัดตำแหน่งที่ปรากฏอยู่บนภูมิประเทศจริง (Table 2) กำหนดแนวกบินโดยแอปพลิเคชัน DJI GS Pro ที่ระดับความสูง 20 เมตร ที่ความละเอียดของจุดภาพต่อพื้นที่ (ground sampling distance; GSD) 1 ซม./พิกเซล (CM/Px) (ปริมาตร และ กฤษฎาน, 2564) ความเร็วในการบิน 1.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในช่วงความเร็วต่ำที่เหมาะสมสำหรับการเก็บข้อมูลภาพความละเอียดสูง วางแผนการบินเป็นแถวเรียงเป็นระเบียบในแนวตั้งและแนวนอน เริ่มจากการกำหนดจุดเริ่มต้นด้านใดด้านหนึ่งของแผนการบิน และบินถ่ายภาพเป็นแถวอย่างเสถียรตลอดแนวการบิน มีแนวซ้อนทับของภาพ (overlay) ทั้งด้านหน้าและด้านข้าง ตามพารามิเตอร์สำหรับแผนการบินเก็บข้อมูลภายในแปลง (Table 3) และกำหนดช่วงเวลาการบินถ่ายภาพระหว่างเวลา 10.00-12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเหมาะสม สำหรับเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วย UAV สำหรับการติดตามสุขภาพพืช (Ruwanpathirana et al., 2021) เปิดมุ้งตาข่ายเฉพาะด้านบนนอกขณะบินสำรวจเท่านั้น เพื่อให้จับภาพมุมบนของต้นข้าวภายในทรงทดสอบได้อย่างชัดเจน และปิดมุ้งตาข่ายด้านบนทันทีภายหลังการบินเสร็จสิ้น เพื่อป้องกันการอพยพเข้า-ออกของแมลงระหว่างภายในและภายนอกทรงทดสอบ บินสำรวจทุก 7 วันหลังปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จนถึงข้าวระยะเก็บเกี่ยว โดยบินถ่ายภาพในวันเดียวกับที่เก็บข้อมูลภาคสนาม โดยในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2565 และฤดูนาปรัง พ.ศ. 2566 ดำเนินการสำรวจทั้งสิ้น 6 และ 8 ครั้ง ตามลำดับ

Table 2 GCPs in semi-fields at the Thailand Rice Science Institute during the dry seasons of 2022 and 2023

Point_ID	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Height (m)	Easting (m)	Northing (m)	Elevation (m)
1	14.47986	100.0887	-21.2588	617323.1	1601076	-21.2588
2	14.47987	100.0881	-21.1516	617262.4	1601078	-21.1516
3	14.47915	100.0881	-21.5524	617259.4	1600997	-21.5524
4	14.47984	100.0889	-21.1781	617348.4	1601074	-21.1781

DD = decimal degree

Table 3 Key parameters for UAV survey flights

Parameter	Value
Flying Set	Double-Grid
Camera angle	80°
Over-lap	90%
Side-lap	90%
Flight speed	Normal+
GSD	0.01 m (Adjusted flying height)

3. การประมวลผลภาพถ่าย (image processing) จาก UAV ด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape Professional เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ (3D model) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละขั้นตอน การจัดเรียงภาพถ่าย (image alignment) ตั้งค่าความถูกต้องในระดับสูงสุด (highest accuracy) พร้อมเปิดใช้งาน adaptive camera model fitting เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการปรับแบบจำลองกล้อง จากนั้นสร้าง dense point cloud โดยกำหนดคุณภาพระดับสูงมาก (ultra-high quality) และใช้ mild depth filtering เพื่อรักษารายละเอียดของข้อมูล ในขั้นตอนการสร้างพื้นผิวภาพ (texture) ใช้โหมด adaptive ortho-photo และการผสมภาพแบบ mosaic เพื่อให้ได้ภาพที่มีความต่อเนื่องของสีและรายละเอียดที่เหมาะสม สำหรับการสร้างแบบจำลอง tiled model ใช้ข้อมูลจาก dense cloud และกำหนดขนาด tile เท่ากับ 2048 ส่วนการสร้างแบบจำลองระดับความสูง (DEM) ใช้ข้อมูลจาก dense cloud เช่นกัน โดยเปิดใช้งานการประมาณค่า (interpolation) เพื่อเติมเต็มข้อมูลที่ขาดหาย และสร้างภาพออร์โธโมเสก (orthomosaic) อ้างอิงพื้นผิวจากแบบจำลอง DSM เพื่อให้ได้ภาพที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งและความต่อเนื่องของข้อมูลเชิงพื้นที่สูง (ปริญญ์ และ กฤษฎาน, 2564; Pahari, 2023)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ

นำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จาก UAV โดยนำช่วงคลื่น (waveband) มาใช้สกัดค่าดัชนีพืชพรรณต่างๆ ที่ต้องการศึกษาในการทดลองนี้ ได้แก่ ช่วงคลื่น RGB และช่วงคลื่น NIR นำค่าของช่วงคลื่นมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณต่างๆ (Table 4) ด้วยโปรแกรม QGIS v3.22.1

Table 4 The vegetation indices used for BPH infestation analysis

Spectral index and formula	Reference
NDVI = (NIR – Red) / (NIR + Red)	Rouse et al. (1973)
GNDVI = (NIR – Green) / (NIR + Green)	Gitelson et al. (1996)
SAVI = (NIR – Red)(1 + 0.5) / (NIR + Red + 0.5)	Yang et al. (2007); Liu et al. (2012); Prasannakumar et al. (2014)

ค่า NDVI มีช่วงค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ทำให้ง่ายต่อการแปลผล โดยค่าบวกบ่งชี้ถึงความเขียวขจีที่เพิ่มขึ้น และค่าลบบ่งชี้ถึงลักษณะที่ไม่มีพืชพรรณ เช่น น้ำ พื้นที่แห้งแล้ง น้ำแข็ง หิมะ หรือเมฆ (Pettorelli et al., 2005) ช่วงค่าทั่วไปสำหรับพืชพรรณสีเขียวอยู่ที่ 0.2-0.9 โดยค่าปานกลางแสดงถึงพื้นที่พุ่มไม้และทุ่งหญ้า (0.2-0.3) ในขณะที่ค่าที่สูงกว่านี้บ่งชี้ถึงป่าและพืชผลทางการเกษตร (0.4-0.9) (Weier and Herring, 1999)

ค่า GNDVI (Gitelson et al., 1996) คำนวณในลักษณะเดียวกับ NDVI แต่ใช้แถบสีเขียว (green band) แทนแถบสีแดง (red band) โดยค่า GNDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่พืชดูดซับเพื่อการสังเคราะห์แสง และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และชีวมวล (Ghobadifar et al., 2016) โดยมีช่วงค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 โดยค่า -1 ถึง 0 บ่งชี้ถึงการมีอยู่ของน้ำหรือดิน และค่าบวกบ่งชี้ถึงพืชพรรณสีเขียวที่มีสุขภาพดี

ค่า SAVI เป็นดัชนีวัดพืชพรรณที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดผลกระทบจากความสว่างของดิน ดัชนีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่แห้งแล้งที่มีการปกคลุมของพืชพรรณต่ำ และช่วยเพิ่มความแม่นยำในการประเมินพืชพรรณในพื้นที่ที่เห็นพื้นดินชัดเจน โดยค่า SAVI มีช่วงค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 โดยค่าที่ต่ำบ่งชี้ถึงการปกคลุมของพืชพรรณสีเขียวในปริมาณน้อย (ArcGIS Pro, 2024)

2. การทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรและการสร้างสมการทำนาย

2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่าย UAV ได้แก่ NDVI, SAVI และ GNDVI กับข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ จำนวนประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ระดับคะแนนบ่งชี้การติดปีกของต้นข้าว และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ซึ่งเก็บข้อมูลรายสัปดาห์จากการสุ่มนับด้วยตาเปล่าในแปลงทดลอง โดยกำหนดให้ ตัวแปรต้น (independent variables; x) ได้แก่ ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ GNDVI ส่วนตัวแปรตาม (dependent variables; y) ได้แก่ จำนวนประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ระดับคะแนนบ่งชี้การติดปีกของต้นข้าว และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน แบบ two-tailed test (Pearson correlation coefficient; r) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 16.0 เพื่อประเมินระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยค่า r มีช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งค่า 1 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างสมบูรณ์ ค่า 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ และค่า -1 แสดงถึงความสัมพันธ์ผกผันหรือความสัมพันธ์เชิงลบอย่างสมบูรณ์ (สุภมาส, 2567; Best, 1977; Hair et al., 2010) และได้กำหนดระดับความสัมพันธ์ทั้งเชิงบวกและเชิงลบออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 0.81–1.00 = ความสัมพันธ์กันอย่างมาก 0.61–0.80 = ความสัมพันธ์กันมาก 0.41–0.60 = ความสัมพันธ์กันปานกลาง 0.21–0.40 = ความสัมพันธ์กันต่ำ 0.01–0.20 = ความสัมพันธ์กันต่ำมาก และ 0.00 = ไม่มีความสัมพันธ์กัน (Asawapaisankul et al., 2025)

2.2 การสร้างสมการทำนายด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) เพื่อสร้างสมการสำหรับใช้ทำนายระดับคะแนนบ่งชี้การติดปีกของต้นข้าว และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยกำหนดให้ตัวแปรต้น (x) ได้แก่ ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ GNDVI ส่วนตัวแปรตาม (y) ได้แก่ ระดับคะแนนบ่งชี้การติดปีกของต้นข้าว และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และคัดเลือกสมการที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; r^2) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากค่า r^2 สูง แสดงว่าตัวแปรต้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดี (วุฒิไกร, 2553; คมปรณ์ และ จิระเดช, 2565)

3. การประเมินความคลาดเคลื่อนของสมการทำนาย

ประเมินความคลาดเคลื่อนของสมการทำนายโดยใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (root mean square error; RMSE) จากสูตร

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

โดยที่

y_i คือ ค่าจริง (actual value/observed value) ของข้อมูลลำดับที่ i

$\hat{y}_i$ คือ ค่าที่ทำนายได้ (predicted value) ของข้อมูลลำดับที่ i

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด (sample size)

ผลการศึกษา

ข้อมูลภาคสนามและข้อมูลภาพถ่ายจาก UAV

ข้อมูลภาคสนาม ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2565 (อุณหภูมิทรงพุ่มเฉลี่ย 33.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 76.5 เปอร์เซ็นต์) พบว่า ประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลรุ่นที่ 2 ในวิธีที่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จำนวนเท่ากับ ET (1 ตัว/ต้น) และจำนวนสองเท่าของ ET (2 ตัว/ต้น) มีประชากรเพิ่มขึ้นสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 ของการสำรวจ (เฉลี่ย 1,143.90 และ 1,123.33 ตัว/กอ) (Figure 2a) โดยต้นข้าวเริ่มแสดงอาการเหลืองบริเวณโคนกอข้าวในสัปดาห์ที่ 1 ของการสำรวจ (ระดับคะแนน = 1) และแสดงอาการเหลืองอย่างชัดเจน แคร่แกร็นหรือเหี่ยว มีอาการไหม้ (hopper burn) มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Figure 2b) จนสามารถสังเกตเห็นพื้นที่ความเสียหายจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ชัดเจน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ของการสำรวจ (ระดับคะแนน = 5-7) จากนั้นพบต้นข้าวแสดงอาการไหม้รุนแรงในสัปดาห์ที่ 4 ของการสำรวจ (ระดับคะแนน = 7) โดยต้นข้าวจะแสดงอาการใบเหลืองชัดเจน และแคร่แกร็นหรือเหี่ยว มีอาการไหม้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่ความเสียหายจะขยายขนาดขึ้น พร้อมกับต้นข้าวที่แสดงอาการไหม้ที่รุนแรงขึ้นและแห้งตายต่อเนื่องไปจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ของการสำรวจ (ระดับคะแนน = 9) ส่วนวิธีที่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จำนวนน้อยกว่า ET (0.5 ตัว/ต้น) แม้ต้นข้าวจะแสดงอาการผิดปกติจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลช้ากว่า แต่มีการพัฒนาระดับความเสียหายของต้นข้าวในทำนองเดียวกับวิธีที่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสองอัตราข้างต้น โดยทุกวิธีที่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลพบต้นข้าวแห้งตายทั้งหมดในพื้นที่ทดสอบ (9 ตารางเมตร) ในสัปดาห์ที่ 6 ของการสำรวจ แตกต่างจากชุดควบคุม (ไม่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล) และฤดูนาปรัง พ.ศ. 2566 (อุณหภูมิทรงพุ่มเฉลี่ย 33.8 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 69.6 เปอร์เซ็นต์) พบว่า ประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลรุ่นที่ 2 ของวิธีที่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล มีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1-5 ของการสำรวจ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของระดับคะแนนที่บ่งชี้อาการผิดปกติของต้นข้าว ที่เกิดจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยการปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จำนวนสองเท่าของ ET (2 ตัว/ต้น) มีประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นสูงสุด เฉลี่ย 577.53 ตัว/กอ ในสัปดาห์ที่ 5 ของการสำรวจ ต้นข้าวจะแสดงอาการใบเหลืองชัดเจน และแคร่แกร็นหรือเหี่ยว มีอาการไหม้ 10-25 เปอร์เซ็นต์ (ระดับคะแนน = 5) ในสัปดาห์ที่ 4-5 ของการสำรวจ ต้นข้าวแสดงอาการไหม้ มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และต้นข้าวแคร่แกร็นรุนแรง (ระดับคะแนน = 7) ในสัปดาห์ที่ 6 ของการสำรวจ จากนั้นในสัปดาห์ที่ 7-8 ของการสำรวจ พบว่า ต้นข้าวแห้งตาย (ระดับคะแนน = 9) ในขณะที่วิธีที่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จำนวนน้อยกว่า ET (0.5 ตัว/ต้น) และจำนวนเท่ากับ ET (1 ตัว/ต้น) พบการทำลายลดลงในสัปดาห์ที่ 7-8 ของการสำรวจ เนื่องจากประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลลดลง (Table 5)

Table 5 BPH population and damage scale caused by BPH during the dry seasons of 2022 and 2023

Week of survey Treatment		Average no. of BPHs per hill (Damage scale ^{1/})															
		1		2		3		4		5		6		7		8	
Dry season, 2022																	
T1: Released BPHs <ET		25.63	(0)	301.70	(1)	232.77	(3)	248.20	(5)	347.23	(7)	239.10	(9)	- ^{2/}	-	-	-
T2: Released BPHs =ET		27.90	(1)	568.70	(3)	366.10	(5)	1,143.90	(7)	358.17	(9)	155.33	(9)	-	-	-	-
T3: Released BPHs >ET		34.40	(1)	657.63	(5)	520.20	(7)	1,123.33	(7)	534.37	(9)	0.00	(9)	-	-	-	-
T4: Control (not release)		0.10	(0)	2.43	(0)	3.47	(0)	2.03	(0)	2.73	(0)	0.33	(0)	-	-	-	-
Dry season, 2023																	
T1: Released BPHs <ET		4.10	(0)	19.37	(0)	53.17	(0)	67.33	(1)	45.70	(1)	47.57	(3)	1.50	(1)	0.97	(1)
T2: Released BPHs =ET		8.53	(0)	40.47	(0)	100.13	(1)	131.70	(3)	57.30	(3)	94.43	(3)	2.37	(1)	0.67	(1)
T3: Released BPHs >ET		22.50	(0)	128.47	(1)	422.93	(3)	422.67	(5)	577.53	(5)	425.10	(7)	37.00	(9)	8.33	(9)
T4: Control (not release)		0.10	(0)	1.53	(0)	0.23	(0)	0.47	(0)	0.77	(0)	13.07	(0)	2.67	(0)	27.60	(1)

^{1/} Damage scales caused by BPH infestation was evaluated according to the SES for rice (IRRI, 2014), where 0 = no injury; 1 = slight yellowing of a few plants; 3 = leaves partially yellow with no hopper burn; 5 = pronounced yellowing, stunting or wilting, and 10–25% hopper burn; 7 = more than half of the plants wilting or showing hopper burn with severe stunting; and 9 = all plants dead

^{2/} - = data not recorded



Figure 2 The BPH population exceeded the ET (a), infested rice plants in the experimental plot and caused hopper burn symptoms (b)

ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจาก UAVs ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2565 และฤดูนาปรัง พ.ศ. 2566 พบว่า รูปแบบความเสียหายและการตอบสนองของดัชนีพืชพรรณมีแนวโน้มสอดคล้องกันทั้งสองฤดูปลูก โดยภาพถ่ายทางอากาศ RGB, NDVI, SAVI และ GNDVI ที่ความละเอียด 1 ซม./พิกเซล ไม่สามารถมองเห็นจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ แต่สามารถบ่งบอกความผิดปกติของต้นข้าว เมื่อต้นข้าวแสดงอาการผิดปกติตั้งแต่ระดับคะแนน 5 เป็นต้นไป และบริเวณที่ถูกทำลายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และสามารถเห็นความแตกต่างระหว่างบริเวณที่ต้นข้าวถูกทำลายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและต้นข้าวปกติ (Table 6)

Table 6 Representative RGB, NDVI, SAVI, and GNDVI images of rice plots showing different levels of BPH damage scale according to the SES for rice (IRRI, 2014) during the dry seasons of 2022 and 2023

Damage scale ^{1/}	0	1	3	5	7	9
Dry season, 2022						
RGB						
NDVI						
SAVI						
GNDVI						
Dry season, 2023						
RGB						
NDVI						
SAVI						
GNDVI						

Note: Increasing damage severity was associated with greater canopy discoloration and lower vegetative index values.

^{1/}Damage scales caused by BPH infestation was evaluated according to the SES for rice (IRRI, 2014), where 0 = no injury; 1 = slight yellowing of a few plants; 3 = leaves partially yellow with no hopper burn; 5 = pronounced yellowing, stunting or wilting, and 10–25% hopper burn; 7 = more than half of the plants wilting or showing hopper burn with severe stunting; and 9 = all plants dead

การวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจาก UAV

การวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ GNDVI จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ของแปลงทดสอบในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2565 และ 2566 พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณต่างๆ ของต้นข้าวที่ถูกทำลายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เริ่มมีค่าลดลงอย่างชัดเจนอย่างต่อเนื่องตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4-5 ของการสำรวจ ซึ่งมีระดับคะแนนที่บ่งชี้อาการผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลอยู่ระหว่างระดับคะแนน 5-7 โดยค่าดัชนีพืชพรรณของต้นข้าวที่ถูกทำลายมีค่าต่ำกว่าค่าดัชนีพืชพรรณของต้นข้าวปกติ (ชุดควบคุม) โดยเฉพาะทรงทดสอบที่ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวนสองเท่าของ ET (2 ตัว/ต้น) ในขณะที่ระดับคะแนนบ่งชี้ความผิดปกติของต้นข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัปดาห์ของการสำรวจ (Table 7)

Table 7 Vegetation indices (NDVI, SAVI, and GNDVI) derived from UAV-based aerial images during the dry seasons of 2022 and 2023

Week of survey		1		2		3		4		5		6		7		8	
Treatment	Vegetation index	Average of vegetation index value (Damage scale ^{1/})															
Dry season, 2022																	
T1: Released BPHs <ET	NDVI	0.458	(0)	0.504	(1)	0.500	(3)	0.424	(5)	0.325	(7)	0.325	(9)	-2/	-	-	-
T2: Released BPHs =ET		0.440	(1)	0.471	(3)	0.437	(5)	0.359	(7)	0.263	(9)	0.263	(9)	-	-	-	-
T3: Released BPHs >ET		0.457	(1)	0.483	(5)	0.375	(7)	0.238	(7)	0.189	(9)	0.190	(9)	-	-	-	-
T4: Control (not release)		0.476	(0)	0.524	(0)	0.585	(0)	0.585	(0)	0.490	(0)	0.493	(0)	-	-	-	-
T1: Released BPHs <ET	SAVI	0.898	(0)	0.975	(1)	0.983	(3)	0.953	(5)	0.870	(7)	0.873	(9)	-	-	-	-
T2: Released BPHs =ET		0.872	(1)	0.947	(3)	0.942	(5)	0.865	(7)	0.758	(9)	0.760	(9)	-	-	-	-
T3: Released BPHs >ET		0.896	(1)	0.966	(5)	0.910	(7)	0.693	(7)	0.613	(9)	0.612	(9)	-	-	-	-
T4: Control (not release)		0.921	(0)	0.993	(0)	1.000	(0)	1.000	(0)	1.000	(0)	1.000	(0)	-	-	-	-
T1: Released BPHs <ET	GNDVI	0.444	(0)	0.459	(1)	0.476	(3)	0.402	(5)	0.581	(7)	0.351	(9)	-	-	-	-
T2: Released BPHs =ET		0.427	(1)	0.434	(3)	0.438	(5)	0.364	(7)	0.506	(9)	0.303	(9)	-	-	-	-
T3: Released BPHs >ET		0.443	(1)	0.442	(5)	0.418	(7)	0.293	(7)	0.409	(9)	0.254	(9)	-	-	-	-
T4: Control (not release)		0.446	(0)	0.462	(0)	0.510	(0)	0.485	(0)	0.716	(0)	0.430	(0)	-	-	-	-
Dry season, 2023																	
T1: Released BPHs <ET	NDVI	0.437	(0)	0.558	(0)	0.547	(0)	0.529	(1)	0.464	(1)	0.493	(3)	0.402	(1)	0.213	(1)
T2: Released BPHs =ET		0.407	(0)	0.502	(0)	0.519	(1)	0.463	(3)	0.367	(3)	0.421	(3)	0.337	(1)	0.200	(1)
T3: Released BPHs >ET		0.395	(0)	0.498	(1)	0.490	(3)	0.377	(5)	0.111	(5)	-0.004	(7)	-0.163	(9)	-0.242	(9)
T4: Control (not release)		0.433	(0)	0.627	(0)	0.613	(0)	0.578	(0)	0.556	(0)	0.562	(0)	0.486	(0)	0.212	(1)
T1: Released BPHs <ET	SAVI	0.655	(0)	0.836	(0)	0.821	(0)	0.793	(1)	0.696	(1)	0.740	(3)	0.603	(1)	0.319	(1)
T2: Released BPHs =ET		0.610	(0)	0.752	(0)	0.779	(1)	0.695	(3)	0.550	(3)	0.631	(3)	0.505	(1)	0.301	(1)
T3: Released BPHs >ET		0.592	(0)	0.748	(1)	0.734	(3)	0.565	(5)	0.166	(5)	-0.006	(7)	-0.244	(9)	-0.363	(9)
T4: Control (not release)		0.650	(0)	0.940	(0)	0.919	(0)	0.867	(0)	0.833	(0)	0.844	(0)	0.729	(0)	0.318	(1)

Table 7 Vegetation indices (NDVI, SAVI, and GNDVI) derived from UAV-based aerial images during the dry seasons of 2022 and 2023 (continued)

Week of survey		1	2	3	4	5	6	7	8								
Treatment	Vegetation index	Average of vegetation index value (Damage scale ^{1/})															
T1: Released BPHs <ET	GNDVI	0.220	(0)	0.252	(0)	0.299	(0)	0.329	(1)	0.289	(1)	0.326	(3)	0.251	(1)	0.166	(1)
T2: Released BPHs =ET		0.202	(0)	0.220	(0)	0.271	(1)	0.285	(3)	0.231	(3)	0.274	(3)	0.194	(1)	0.153	(1)
T3: Released BPHs >ET		0.190	(0)	0.220	(1)	0.257	(3)	0.221	(5)	0.06	(5)	-0.027	(7)	-0.145	(9)	-0.141	(9)
T4: Control (not release)		0.216	(0)	0.308	(0)	0.355	(0)	0.356	(0)	0.336	(0)	0.384	(0)	0.299	(0)	0.162	(1)

^{1/} Damage scales caused by BPH infestation was evaluated according to the SES for rice (IRRI, 2014), where 0 = no injury; 1 = slight yellowing of a few plants; 3 = leaves partially yellow with no hopper burn; 5 = pronounced yellowing, stunting or wilting, and 10–25% hopper burn; 7 = more than half of the plants wilting or showing hopper burn with severe stunting; and 9 = all plants dead

^{2/} - = data not recorded

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล การสร้างสมการทำนาย และการประเมินความคลาดเคลื่อนของการทำนาย

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ GNDVI และข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ จำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ระดับคะแนนที่บ่งชี้อาการผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบว่า จำนวนประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล มีความสัมพันธ์เชิงบวกปานกลางอย่างมีนัยสำคัญ กับระดับคะแนนบ่งชี้อาการผิดปกติของต้นข้าว ($r = 0.447^{**}$) และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ($r = 0.455^{**}$) อย่างไรก็ตาม จำนวนประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีความสัมพันธ์เชิงลบต่ำมากอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า NDVI ($r = -0.202^{**}$) และค่า GNDVI ($r = 0.045^{ns}$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า SAVI ($r = 0.004^{ns}$) ขณะที่ระดับคะแนนบ่งชี้อาการผิดปกติของต้นข้าว มีความสัมพันธ์กันเชิงบวกอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญ กับร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่ ($r = 0.994^{**}$) นอกจากนี้ ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กันเชิงบวกอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า SAVI ($r = 0.887^{**}$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า GNDVI ($r = 0.691^{**}$) ส่วนค่า SAVI มีความสัมพันธ์กันเชิงบวกอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า GNDVI ($r = 0.898^{**}$) ในทางตรงกันข้าม ระดับคะแนนบ่งชี้อาการผิดปกติของต้นข้าว มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า NDVI ($r = -0.711^{**}$) มีความสัมพันธ์เชิงลบปานกลางอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า SAVI ($r = -0.467^{**}$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบต่ำอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า GNDVI ($r = -0.293^{**}$) เช่นเดียวกับร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า NDVI ($r = -0.715^{**}$) มีความสัมพันธ์เชิงลบปานกลางอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า SAVI ($r = -0.471^{**}$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบต่ำอย่างมีนัยสำคัญ กับค่า GNDVI ($r = -0.306^{**}$) กล่าวคือ เมื่อระดับคะแนนบ่งชี้อาการผิดปกติของต้นข้าว หรือร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีพืชพรรณจะมีค่าลดลง (Table 8)

Table 8 Correlation heat map between ground-truth data (number of BPHs, damage scale, and percentage of damage area caused by BPHs) and vegetation indices (NDVI, SAVI, and GNDVI) during the dry seasons of 2022 and 2023

	No. BPHs	Damage scale	% Damage area	NDVI	SAVI	GNDVI
No. BPHs	1					
Damage scale	0.447**	1				
% Damage area	0.455**	0.994**	1			
NDVI	-0.202**	-0.711**	-0.715**	1		
SAVI	0.004 ^{ns}	-0.467**	-0.471**	0.887**	1	
GNDVI	0.045 ^{ns}	-0.293**	-0.306**	0.691**	0.898**	1

** = Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

ns = not significant

เมื่อนำข้อมูลค่าดัชนีพืชพรรณต่างๆ มาสร้างสมการทำนายการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อทำนายระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และพิจารณาจากค่า r^2 พบว่า สมการจากค่า NDVI ให้ค่า r^2 สูงที่สุด สามารถทำนายระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าว ($r^2 = 0.506$) และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ($r^2 = 0.512$) ได้ดีกว่าสมการจากค่า SAVI ($r^2 = 0.218$ และ 0.222 ตามลำดับ) และสมการจากค่า GNDVI ($r^2 = 0.086$ และ 0.094 ตามลำดับ) จากการประเมินความคลาดเคลื่อนของการทำนาย พบว่า การทำนายระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ด้วยสมการจากค่า NDVI มีค่า RMSE ต่ำที่สุด เท่ากับ 2.26 (Table 9) ดังนั้น ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI มีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาใช้ในการทำนายเพื่อประเมินระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพแปลงนา

Table 9 Equation of damage scale and percentage of damage area caused by BPHs, and coefficient of determination

Vegetation index	Damage scale			% Damage area		
	Prediction equation	r^2	RMSE	Prediction equation	r^2	RMSE
NDVI	$y = 7.196 - 12.004x$	0.506	2.26	$y = 75.650 - 127.520x$	0.512	42.06
SAVI	$y = 5.855 - 4.814x$	0.218	2.84	$y = 61.527 - 51.306x$	0.222	41.88
GNDVI	$y = 4.230 - 5.768x$	0.086	3.07	$y = 44.875 - 63.609x$	0.094	42.04

วิจารณ์

จากการรวบรวมภาพถ่ายทางอากาศรายสัปดาห์ของแปลงทดสอบ ชี้ให้เห็นว่าภาพถ่ายดังกล่าวไม่สามารถตรวจจับความเสียหายจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระยะเริ่มต้น ตั้งแต่ระดับคะแนน 1-3 แต่สามารถบ่งชี้ความแตกต่างระหว่างต้นข้าวที่แสดงอาการผิดปกติ ตั้งแต่ระดับคะแนน 5 เป็นต้นไป เนื่องจากลักษณะการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและอาการผิดปกติในระยะแรกเกิดขึ้นบริเวณโคนกอของต้นข้าว อีกทั้งต้นข้าวในแปลงนามีใบหนาแน่น ทำให้การถ่ายภาพมุมบนด้วย UAV สามารถตรวจจับได้เมื่อเกิดลักษณะอาการผิดปกติบนใบข้าวอย่างชัดเจนแล้วเท่านั้น เช่นเดียวกับ Huang et al. (2015) แสดงให้เห็นว่า การประเมินการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, red-edge chlorophyll index ($CI_{red\ edge}$) และ GNDVI ไม่สามารถตรวจจับการระบาดในระยะเริ่มต้นได้ (ระดับคะแนน 1-3) นอกจากนี้ Jang et al. (2024) ได้รายงานไว้ว่า ต้นข้าวที่ถูกทำลายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระยะแรก ลำต้นจะแสดงอาการที่ชัดเจนมากกว่าใบ ซึ่งเป็นอุปสรรคในการตรวจพบความเสียหายของต้นข้าวในระยะ

เริ่มต้น ดังนั้น การศึกษาข้อมูลทางชีววิทยาของศัตรูข้าวและขีดจำกัดของวิธีการตรวจจับจึงเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาวิธีการตรวจจับที่เหมาะสมในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งจะช่วยให้มีโอกาสในความสำเร็จของงานวิจัยนี้

เมื่อพืชถูกกระตุ้นด้วยความเครียดจากสิ่งมีชีวิต (biotic stress) และสิ่งไม่มีชีวิต (abiotic stress) ทำให้สรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณน้ำ ปริมาณโปรตีน โครงสร้าง เป็นต้น (Shi et al., 2018) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น อาการเหี่ยวเฉา เน่าเสีย เป็นต้น จะสะท้อนให้เห็นอย่างชัดเจนในค่าการสะท้อนแสงของพืช (spectral reflectance) การเปลี่ยนแปลงทางการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้น เป็นพื้นฐานของการติดตามตรวจสอบศัตรูพืชด้วยเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Zheng et al., 2018) จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ GNDVI ของการศึกษารั้วนี้ แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณดังกล่าว มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมาก กับระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล สอดคล้องกับรายงานของ Rakwatin et al. (2016) และพลอยไพลิน และคณะ (2565) พบการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณ NDVI มีค่าลดลง เมื่อต้นข้าวแสดงอาการผิดปกติที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เช่นเดียวกับ Sivaranjani et al. (2023) พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, $CI_{red\ edge}$ และ GNDVI จะค่อยๆ ลดลงเมื่อต้นข้าวที่ถูกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายแสดงอาการผิดปกติในระดับคะแนนเท่ากับ 3 จากนั้นค่าดัชนีพืชพรรณจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อต้นข้าวแสดงอาการผิดปกติถึงระดับคะแนนเท่ากับ 7

จากการทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลและสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อทำนายระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบว่า สมการทำนายที่ใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI เป็นตัวทำนาย มีศักยภาพใช้อธิบายความผันแปรของตัวแปรดังกล่าวได้ดีที่สุด เนื่องจากให้ค่า r^2 สูงกว่าดัชนีพืชพรรณ SAVI และ GNDVI อีกทั้งความคลาดเคลื่อนของการทำนายด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI มีค่าต่ำที่สุด เมื่อใช้ในการทำนายระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล อย่างไรก็ตาม ดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ GNDVI ไม่สามารถตรวจพบการระบาดในระยะเริ่มต้นได้อย่างชัดเจน จึงยากต่อการคาดการณ์และแปลผลในพื้นที่ขนาดใหญ่ (Huang et al., 2015) แม้ว่า NDVI, SAVI และ GNDVI จะแสดงศักยภาพในการทำนายอยู่ในระดับปานกลาง แต่ค่า r^2 ที่ค่อนข้างต่ำบ่งชี้ว่ายังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ด้วยการใช้ข้อมูลเชิงสเปกตรัมเพิ่มเติม ซึ่งการศึกษารั้วต่อไป อาจพิจารณานำข้อมูลค่าการสะท้อนแสงของแต่ละช่วงคลื่นจากภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น ได้แก่ Blue, Green, Red, Red edge และ NIR มาประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองการถดถอยพหุคูณ (multiple linear regression) หรือแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning models) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายความเสียหายของข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในแปลงนา

Prasannakumar et al. (2013; 2014) พัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ระดับการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจากช่วงคลื่นความละเอียดสูง (hyperspectral remote sensing) พบว่า ดัชนีพืชพรรณ NDVI มีความสัมพันธ์กันมาก กับระดับการผิดปกติของต้นข้าวที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล นอกจากนี้ Huang et al. (2015) พบว่า ดัชนีพืชพรรณ modified chlorophyll absorption reflectance index (MCARI) ที่วิเคราะห์ได้จากช่วงคลื่นที่เฉพาะเจาะจง สามารถทำนายความเสียหายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้อย่างแม่นยำแม้ในระดับการระบาดเพียงเล็กน้อย ภายใต้สภาวะแปลงนาที่มีอัตราการใช้ปุ๋ยในโตรเจนแตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาความเสียหายจากการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับแปลงนา โดยใช้เครื่องวัดสเปกตรัมแบบพกพา (hyperspectral radiometer) โดย Sivaranjani et al. (2023) รายงานว่า ดัชนีพืชพรรณ MCARI แสดงผลได้แม่นยำสูงที่สุดตั้งแต่การเข้าทำลายระยะเริ่มต้นจนถึงระยะระบาดรุนแรง ดังนั้น การสำรวจระยะไกลด้วยช่วงคลื่นความละเอียดสูงจึงมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดีกว่าข้อมูลภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น แม้ว่าเซนเซอร์แบบช่วงคลื่นความละเอียดสูงจะมีราคาสูงในปัจจุบัน แต่ถือว่าเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับใช้ในศึกษาวิธีการในการสำรวจระยะไกลด้วย UAV และพัฒนาแบบจำลองสำหรับการประเมินความเสียหายที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าวให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

สรุป

การประเมินความเสียหายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าวด้วยข้อมูลภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น จากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลด้วย UAV พบว่า ภาพถ่ายทางอากาศ RGB, NDVI, SAVI และ GNDVI ที่ความละเอียด 1 ซม./พิกเซล สามารถประเมินความผิดปกติของต้นข้าวและบริเวณที่ถูกทำลายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ เมื่อต้นข้าวแสดงอาการผิดปกติที่เกิดจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตั้งแต่ระดับคะแนน 5 เป็นต้นไป แต่ไม่สามารถตรวจพบการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น (ระดับคะแนน 1-3) โดยค่าดัชนีพืชพรรณของต้นข้าวที่ถูกทำลายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลลดลงอย่างต่อเนื่อง และมีค่าต่ำกว่าค่าดัชนีพืชพรรณของต้นข้าวปกติ ในขณะที่ระดับคะแนนบ่งชี้ความผิดปกติของต้นข้าวและร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่จากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับของการสำรวจ กล่าวคือ เมื่อระดับคะแนนที่บ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีพืชพรรณจะมีค่าลดลง โดยระดับคะแนนบ่งชี้การผิดปกติของต้นข้าวและร้อยละความเสียหายเชิงพื้นที่ มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญกับค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ซึ่งเป็นดัชนีที่ศักยภาพในการนำมาใช้คาดการณ์ระดับความเสียหายของต้นข้าวที่เกิดจากการทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพแปลงนา ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการติดตามการระบาดและสนับสนุนการจัดการศัตรูข้าวแบบแม่นยำได้ อย่างไรก็ตาม การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศในการศึกษานี้ใช้ความละเอียดเชิงพื้นที่สูงระดับ 1 ซม./พิกเซล ซึ่งมีต้นทุนด้านเวลาในการบิน การประมวลผลข้อมูล และทรัพยากรคอมพิวเตอร์ค่อนข้างสูง อาจส่งผลกระทบต่อความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในระดับพื้นที่ขนาดใหญ่ นอกจากนี้ ค่าดัชนีพืชพรรณที่ใช้ในการศึกษายังสามารถอธิบายความแปรปรวนของความเสียหายได้ในระดับปานกลาง จึงควรมีการพัฒนาแบบจำลองเพิ่มเติม ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไป จึงต้องศึกษาผลของความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่าย (GSD) ที่แตกต่างกันต่อความสามารถในการประเมินความเสียหายจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล รวมถึงการประยุกต์ใช้ข้อมูลสเปกตรัมหลายช่วงคลื่นร่วมกับวิธีวิเคราะห์ขั้นสูง เช่น multiple linear regression หรือ machine learning เป็นต้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองการทำนาย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนและส่งเสริมการดำเนินงานวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ภายใต้โครงการวิจัยการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อการเกษตร แผนงานวิจัยนวัตกรรมด้านพันธุ์และเทคโนโลยีการผลิตข้าวเพื่อรองรับการเกษตรสมัยใหม่ ขอขอบคุณทีมงานนักวิจัยจากกลุ่มวิทยาการอารักขาข้าว กองวิจัยและพัฒนาข้าว และสถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ ที่สนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อพัฒนางานวิจัยนี้ ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย. 2568. สถานการณ์การระบาดของศัตรูข้าว กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งข้อมูล:

<https://ppsf.doae.go.th/category/ข้อมูลและสถานการณ์ทางก/การระบาดของศัตรูข้าว/>. ค้นเมื่อ 19 มกราคม 2569.

กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2559. การจัดการดินและปุ๋ยในนาข้าว. องค์ความรู้เรื่องข้าว เวอร์ชัน 3.0. แหล่งข้อมูล:

<https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/index.php-file=content.php&id=12.htm>. ค้นเมื่อ 21 มกราคม 2565.

กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2566. ศัตรูข้าว และการป้องกันกำจัด. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท อาร์ตควอลิตี้ จำกัด, กรุงเทพฯ.

- คมปรกรณ์ ไทยเจริญ และจิระเดช มาจันแดง. 2565. การสร้างสมการเพื่อทำนายผลผลิตอ้อยด้วยค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 41: 317-324.
- ปริญญ์ จุนถาวร. 2563. การศึกษานาข้าวโดยอากาศยานไร้คนขับ: ติดตามการเจริญเติบโตของข้าวด้วยดัชนีพืชพรรณ RGB และการวัดความสูงของต้นข้าวด้วยแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข. เอกสารประกอบงานวิจัยตามหลักสูตรศิลปศาสตรบัณฑิต ปีการศึกษา 2563. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปริญญ์ จุนถาวร และกฤษฎาน อินทร์. 2564. การประเมินแบบจำลองความสูงของต้นข้าวด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV). วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์. 21: 244575.
- พลอยไพลิน ธนิกกุล, จินตนา ไชยวงศ์, ปกรณ์ เผ่าธีระสานต์, วิษุทธิ์ ปริษา, ธนดล ไกรรักษ์ และนิตยา รื่นสุข. 2565. การใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อสำรวจและประเมินการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Nilaparvata lugens* (Stål)) ในนาข้าว. น. 235-246. ใน: การประชุมวิชาการข้าวกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคกลางและภาคตะวันตก และกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคตะวันออก ประจำปี 2565 11-12 พฤษภาคม 2565. ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี, ปราจีนบุรี.
- วุฒิไกร บุญคุ้ม. 2553. การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis). ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. แหล่งข้อมูล: <https://ag2.kku.ac.th/eLearning/100302/Doc%5CRegr>. ค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2567.
- ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท. 2561. พันธุ์ข้าว. หจก.กิตสมบุรณ์ออฟเซ็ทแอนด์อิงค์เจ็ท, ชัยนาท.
- สุภาส อังศุโชติ. 2567. เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- สำนักส่งเสริมการผลิตข้าว. 2564. คู่มือโครงการระบบส่งเสริมเกษตรแบบแปลงใหญ่ ปี 2564 กิจกรรมการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการป้องกันกำจัดศัตรูข้าวและภัยธรรมชาติ. สำนักส่งเสริมการผลิตข้าว, กรมการข้าว.
- ArcGIS Pro. 2024. SAVI. Available: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/arcpy/spatial-analyst/savi.htm#:~:text=The%20Soil%2DAdjusted%20Vegetation%20Index,values%20between%20%2D1.0%20and%201.0.&text=L%2E2%80%94The%20amount%20of%20green%20vegetation%20cover>. Accessed Dec.2, 2024.
- Asawapaisankul, R., W. Rattanapichai, K. Sajjaphan, R. Pitakdantham, R. Sermsak, V. Lukas, K. Klen, and B. Tubana. 2025. Correlation of yield and vegetation indices from unmanned aerial vehicle multispectral imagery in Thailand rice production systems. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 8: e70107.
- Aslan, M. F., A. Durdu, K. Sabanci, E. Ropelewska, and S. S. Gültekin. 2022. A comprehensive survey of the recent studies with UAV for precision agriculture in open fields and greenhouses. *Applied Sciences*. 12: 1047.
- Best, J. W. 1977. *Research Education*. 3rd Edition. Prentice-Hall Inc.
- Cao, Y. F., H. Xu, J. Song, Y. Yang, X. Hu, K. T. Wiyao, and Z. Zhai. 2022. Applying spectral fractal dimension index to predict the SPAD value of rice leaves under bacterial blight disease stress. *Plant Methods*. 18: 67.
- Ghobadifar, F., A. Wayayok, S. Mansor, and H. Z. Shafri. 2016. Detection of BPH (brown planthopper) sheath blight in rice farming using multispectral remote sensing. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 7: 237-247.
- Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, and M. N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 58: 289-298.
- Hair, J. F., W. C. Black, B. J. Babin, and R. E. Anderson. 2010. *Multivariate Data Analysis*. 7th Edition. NJ: Pearson.
- Huang, J. R., J. Y. Sun, H. J. Liao, and X. D. Liu. 2015. Detection of brown planthopper infestation based on SPAD and spectral data from rice under different rates of nitrogen fertilizer. *Precision Agriculture*. 16: 148-163.
- IRRI. 2014. *Standard Evaluation System for Rice (SES)*. 5th Edition. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

- Jang, G., N. J. Choi, J. Wen, H. J. Kim, and Y. S. Chung. 2024. The trap of presumption: A case study of agricultural research for early detection of brown planthopper damage in rice fields. *Korean Journal of Breeding Science*. 56: 439-448.
- Liu, Z., C. Li, Y. Wang, W. Huang, X. Ding, B. Zhou, H. Wu, D. Wang, and J. Shi. 2012. Comparison of spectral indices and principal component analysis for differentiating lodged rice crop from normal ones. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 369: 84-92.
- Pahari, S. 2023. Processing drone image using AgiSoft metashape and comparative analysis of different digital elevation model (DEM). Tribhuvan University.
- Pettorelli, N., J. O. Vik, A. Mysterud, J. M. Gaillard, C. J. Tucker, and N. C. Stenseth. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. 20: 503-510.
- Prasannakumar, N. R., S. Chander, and R. N. Sahoo. 2014. Characterization of brown planthopper damage on rice crops through hyperspectral remote sensing under field conditions. *Phytoparasitica*. 42: 387-395.
- Prasannakumar, N. R., S. Chander, R. N. Sahoo, and V. K. Gupta. 2013. Assessment of brown planthopper, (*Nilaparvata lugens*) [Stål], damage in rice using hyperspectral remote sensing. *International Journal of Pest Management*. 59: 180-188.
- Rakwatin, P., A. Lekfuangfu, G. Pantuwan, S. Ngamsaard, K. Ditkhamma, and W. Nilapan. 2016. Brown planthopper damage monitoring in rice using field imaging spectroscopy. Available: <http://research.gistda.or.th/assets/uploads/pdfs/c5da8-14.brown-plant-hopper-damage-monitoring-in-rice-using-field-imaging-spectroscopy.pdf>. Accessed Mar.8, 2022.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. pp. 309-317. In: *Proceedings of the Third ERTS Symposium 10-14 December 1973*. Washington, D.C., USA.
- Ruwanpathirana, P. P., P. L. A. Madushanka, G. Y. Jayasinghe, W. M. C. J. Wijekoon, A. C. P. Priyankara, and S. Kazuhiro. 2021. Assessment of the optimal flight time of RGB image based unmanned aerial vehicles for crop monitoring. *Rajarata University Journal*. 6: 8-14.
- Shi, Y., W. Huang, P. González-Moreno, B. Luke, Y. Dong, Q. Zheng, H. Ma, and L. Liu. 2018. Wavelet-based rust spectral feature set (WRSFs): A novel spectral feature set based on continuous wavelet transformation for tracking progressive host-pathogen interaction of yellow rust on wheat. *Remote Sensing*. 10: 525.
- Sivaranjani, S., V. Geethalakshmi, S. Pazhanivelan, J. S. Kennedy, and S. P. Ramanathan. 2023. Study on hyperspectral reflectance of brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) infestation in rice. *Agricultural Science Digest*. 43: 707-712.
- Weier, J., and D. Herring. Measuring Vegetation (NDVI & RVI). 1999. Available: <http://Earthobservatory.nasa.gov>. Accessed Nov.17, 2014.
- Xu, H. J., J. Xue, B. Lu, X. C. Zhang, J. C. Zhuo, S. F. He, X. F. Ma, Y. Q. Jiang, H. W. Fan, J. Y. Xu, Y. X. Ye, P. L. Pan, Q. Li, Y. Y. Bao, H. F. Nijhout, and C. X. Zhang. 2015. Two insulin receptors determine alternative wing morphs in planthoppers. *Nature*. 519: 464-467.
- Yang, C. M., C. H. Cheng, and R. K. Chen. 2007. Changes in spectral characteristics of rice canopy infested with brown planthopper and leafhopper. *Crop Science*. 47: 329-335.

Zheng, Q., W. Huang, X. Cui, Y. Shi, and L. Liu. 2018. New spectral index for detecting wheat yellow rust using Sentinel-2 multispectral imagery. *Sensors*. 18: 868.

Zheng, Q., W. Huang, Q. Xia, Y. Dong, H. Ye, H. Jiang, S. Chen, and S. Huang. 2023. Remote sensing monitoring of rice diseases and pests from different data sources: A review. *Agronomy*. 13: 1851.