วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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

การประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของสายพันธุ์ข้าวที่ใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงสายพันธุ์ข้าวเหนียวหอม ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

Evaluation of brown planthopper resistance in parental lines for developing aromatic non-photosensitive glutinous rice lines resistance to brown planthopper

บุษกร ผิวเงินยวง[1], ศักดา คงสีลา[2], จิรพงศ์ ใจรินทร์[3], ธีรยุทธ ตู้จินดา[4], ฉันทมาศ เชื้อแก้ว[1] และ สุรีพร เกตุงาม[1]*

Butsakorn Phiwngoenyuang[1], Sakda Kongsila[2], Jirapong Jairin[3], Theerayut Toojinda[4], Chantamart Chueakaew[1] and Sureeporn Katengam[1]*

[1] *ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190*
[1] *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190*
[2] *ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี กรมการข้าว อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000*
[2] *Ubon Ratchathani Rice Research Center, Rice Department, Mueang, Ubon Ratchathani 34000*
[3] *กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900*
[3] *Division of Rice Research and Development, Rice Department, Chatuchak, Bangkok 10900*
[4] *ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120*
[4] *National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, Khlong Luang, Pathum Thani 12120*

บทคัดย่อ: การประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของสายพันธุ์ข้าว เป็นขั้นตอนสำคัญในการตัดสินใจเลือกคู่ผสมเพื่อใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและคัดเลือกสายพันธุ์พ่อแม่ที่มีความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยประเมินความต้านทานสายพันธุ์ข้าวที่จะใช้เป็นคู่ผสมในการปรับปรุงพันธุ์ ได้แก่ RGD13117-MS115-MS52-B-1, RGD19156-MS33-MS1, RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 และหอมนาคา เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ต้านทานที่มียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลแตกต่างกัน ได้แก่ Rathu Heenati, PTB33, Mudgo, ASD7, Babawee และพันธุ์อ่อนแอ TN1 ประเมินความต้านทานในข้าวระยะแตกกอ โดยวิธี Modified mass tiller screening method วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ใช้ประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจากจังหวัดอุบลราชธานี ผลการประเมิน พบว่า หลังจากปล่อยแมลงเข้าทำลาย 11 วัน สายพันธุ์ RGD13117-MS115-MS52-B-1 และ RGD19156-MS33-MS1 ที่มียีนต้านทาน *Bph3* และ *Bph32* แสดงปฏิกิริยาต้านทานมาก (HR) ไม่แตกต่างกับพันธุ์ Rathu Heenati, Babawee และ PTB33 อย่างไรก็ตาม ระดับความต้านทานจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น การจัดกลุ่มพันธุกรรมโดยใช้เมตริกซ์ความเหมือนทางพันธุกรรมของ Dice ซึ่งประเมินจากข้อมูลยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในพันธุ์ข้าวที่ศึกษาและปฏิกิริยาความต้านทานหลังจากปล่อยแมลง 11, 13 และ 15 วัน โดยวิธี Unweighted pair group method with arithmetic mean พบว่า สายพันธุ์ RGD19156-MS33-MS1 และ RGD13117-MS115-MS52-B-1 จัดอยู่ในกลุ่มต้านทาน เช่นเดียวกับพันธุ์ Rathu Heenati, PTB33, Babawee และ ASD7 ส่วนสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 และหอมนาคา จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอและอ่อนแอมากตามลำดับ ผลการศึกษาบ่งชี้ว่า RGD19156-

* Corresponding author: sureeporn.k@ubu.ac.th

Received: date; February 8, 2024 Revised: date; April 2, 2024

Accepted: date; April 19, 2024 Published: date;

MS33-MS1 และ RGD13117-MS115-MS52-B-1 เหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมความต้านทานในการพัฒนาพันธุ์ข้าวเหนียวหอม ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพื่อพื้นที่ปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
คำสำคัญ: ข้าวเหนียว; การปรับปรุงพันธุ์ข้าว; เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล; ยีน *Bph3*; ยีน *Bph32*

ABSTRACT: Evaluation of brown planthopper resistance in rice is important for parental selection in rice breeding programs. This study aims to evaluate and select parental rice lines for brown planthopper resistance. The parental rice lines/varieties, including RGD13117-MS115-MS52-B-1, RGD19156-MS33-MS1, RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35. and Hom Naga, were evaluated for brown planthopper resistance compared to resistant varieties namely Rathu Heenati, PTB33, Mudgo, ASD7, and Babawee. TN1 was used as a susceptible check. The modified mass tiller screening method was used to evaluate all rice entries at the tillering stage. The experiment was carried out in a completely randomized design with three replications. Brown planthopper population from Ubon Ratchathani province was used for the evaluation. The results showed that 11 days after infestation (DAI), RGD13117-MS115-MS52-B-1 and RGD19156-MS33-MS1, carrying the *Bph3* and *Bph32* genes, exhibited high resistance level (HR) comparable to Rathu Heenati, Babawee, and PTB33. However, the resistance level decreased as the duration of brown planthopper infestation increased. A phenogram produced by the unweighted pair group method with arithmetic mean clustering of Dice similarity matrix estimated from *Bph* genes and resistance reactions to brown planthopper at 11, 13 and 15 DAI of 10 rice varieties/lines revealed that RGD19156-MS33-MS1 and RGD13117-MS115-MS52-B-1 belong to the resistance group with Rathu Heenati, PTB33, Babawee, and ASD7 varieties. Contrarily, RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 and Hom Naga fall within susceptible and highly susceptible groups, respectively. These findings suggest that RGD19156-MS33-MS1 and RGD13117-MS115-MS52-B-1 rice lines are suitable as genetic sources for BPH resistance to develop aromatic, non-photosensitive glutinous rice resistant to brown planthopper.
Keywords: glutinous rice; rice breeding; brown planthopper; *Bph3*; *Bph32*

บทนำ

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Brown Planthopper, BPH) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nilaparvata lugens* (stal) เป็นแมลงศัตรูข้าวสำคัญ สามารถทำลายต้นข้าวในทุกระยะการเจริญเติบโตโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงจากต้นข้าว ตัวเต็มวัยทำลายต้นข้าวได้อย่างรุนแรงทำให้ต้นข้าวมีอาการเหี่ยวแห้งคล้ายน้ำร้อนลวก เรียกว่า hopper burn และยังเป็นพาหะนำไวรัสใบหงิก (rice ragged stunt) และไวรัสเขียวเตี้ย (rice grassy stunt) มาสู่ต้นข้าว เป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตข้าวลดลง (Kumar et al., 2022; Wu et al., 2022; Jeevanandham et al., 2023; Muduli et al., 2023) ในประเทศไทยพบว่ามีการระบาดในแปลงปลูกข้าวทุกภาค โดยเฉพาะภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ทำความเสียหายในแปลงนาเกษตรกรจนไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ (กรมการข้าว, 2560) ปัจจุบันมีการค้นพบตำแหน่งของยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลบนโครโมโซมของข้าวไม่น้อยกว่า 45 ยีน (Li et al., 2023) และมียีนที่ได้รับการโคลนแล้ว จำนวน 9 ยีน ได้แก่ *Bph3, Bph6, Bph9, Bph14, Bph15, Bph18, Bph26, bph29* และ *Bph32* (ชื่อเดิม *Bph3* บนโครโมโซม 6) (Zheng et al., 2021; Jeevanandham et al., 2023) แหล่งพันธุกรรมความต้านทานส่วนใหญ่มาจากข้าว Indica ที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียใต้และข้าวป่า ยีน *Bph11, bph12, Bph14, Bph15* และ *Bph32* สามารถต้านทานต่อประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบในประเทศไทยได้ (จิรพงศ์, 2564; Jairin et al., 2009) และพบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากประเทศศรีลังกา Rathu Heenati ซึ่งมีความต้านทานแบบกว้าง (broad-spectrum resistance) สามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดีในประเทศไทย (Liu et al., 2014, Jairin et al., 2017a; Pannak et al., 2023) ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมียีน *Bph3, qBph3, Bph14* และ *Bph32* (Sun et al., 2005; Jairin et al., 2007b; Jairin et al., 2009; Kumari et al., 2010; Liu et al., 2014; Pannak et al., 2023)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศ มีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 38.6 ล้านไร่ แบ่งเป็นข้าวเจ้า 24.9 ล้านไร่ และข้าวเหนียว 13.8 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกข้าวเหนียวเพื่อบริโภคในครัวเรือนและปลูกข้าวเจ้าไว้จำหน่าย พันธุ์ข้าวเหนียวที่ใช้ปลูกส่วนใหญ่ คือ พันธุ์ กข6 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง และยังอ่อนแอต่อโรคและแมลง โดยเฉพาะเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นปัญหาหลักของพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝน พื้นที่ที่มีการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

บ่อยครั้งจะเป็นจังหวัดที่มีพรมแดนติดกับประเทศกัมพูชาและลาว เช่น อุบลราชธานี ศรีสะเกษ สุรินทร์ บุรีรัมย์ และนครราชสีมา (Jairin et al., 2017b) ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงเป็นอย่างมาก และเกิดความเสียหายเป็นวงกว้างประจำทุกปี การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมไม่ไวต่อช่วงแสงที่สามารถปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรังและสามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จึงเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้ยีนต้านทาน *Bph32* บนโครโมโซม 6 ยีน *Bph3* และ Terpene synthase (*TPS*) บนโครโมโซม 4 อย่างแพร่หลาย (Jairin et al., 2009; เจตน์ และคณะ, 2552; เจตน์ และคณะ , 2554; เจตน์ และคณะ, 2558; วัชรีวรรณ และคณะ, 2561; คำประดิด และคณะ, 2563) ยีน *Bph32* รู้จักอย่างกว้างขวางในชื่อเดิมว่า *Bph3* มีตำแหน่งบนโครโมโซม 6 ถูกค้นพบในข้าวพันธุ์ Rathu Heenati และ PTB33 (Ikeda, 1985; Lakshminarayana and Khush, 1977; Jairin et al., 2007a,b) ต่อมา Ren et al. (2016) ได้ทำการโคลนยีนดังกล่าวจากข้าวพันธุ์ PTB33 และตั้งชื่อว่า *Bph32* โดยมีกลไกความต้านทานแบบ antibiosis ซึ่งเป็นกลไกความต้านทานที่เกิดขึ้นหลังจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายต้นข้าว มีผลทำให้แมลงมีขนาด น้ำหนัก การสืบพันธุ์ลดลง และมีอัตราการตายของตัวอ่อนมากขึ้น (ภมร และคณะ, 2557; Nguyen et al., 2021) ซึ่งยีน *Bph32* มีตำแหน่งบนโครโมโซม 6 พบการแสดงออกของยีนในส่วนของเนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissue) และเนื้อเยื่อทุกส่วนของข้าวในระยะออกดอก (flowering stage) โดยมีระดับการแสดงออกของยีนสูงสุดบริเวณกาบใบซึ่งเป็นบริเวณที่เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลชอบอาศัยอยู่ รองลงมาคือแผ่นใบ ลำต้น ราก และรวงข้าว โดยผลิตโปรตีน short consensus repeat (SCR) domain ซึ่งสามารถยับยั้งการกินอาหารของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ (Ren et al., 2016; Jairin et al., 2017a) ข้าวที่มียีน *Bph32* สามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดีขึ้นเมื่อข้าวมีอายุเพิ่มขึ้น (Horgan et al., 2018) Liu et al. (2014) รายงานการโคลนยีน *Bph3* บนโครโมโซม 4 ในข้าวพันธุ์ Rathu Heenati พบกลุ่มยีน *OsLecRK1, OsLecRK2* และ *OsLecRK3* โดยมีการแสดงออกของยีนในพลาสมาเมมเบรนโดยผลิตโปรตีน lectin receptor kinases (Zheng et al., 2021) ยีน *Bph3* มีกลไกความต้านทานแบบ antixenosis ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมความไม่ชอบของแมลงซึ่งเป็นลักษณะความต้านทานของข้าวเพื่อขัดขวาง ยับยั้ง หรือลดจำนวนประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ส่งผลให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลไม่ชอบที่จะเข้าไปอาศัย วางไข่ หลบภัย หรือเข้าไปดูดกินน้ำเลี้ยงของต้นข้าว (ภมร และคณะ, 2557; Nguyen et al., 2021) โดยโปรตีนที่ได้จากการแปลรหัสของยีน *Bph32* และ *Bph3* มีรูปแบบการทำงานที่คล้ายคลึงกัน เมื่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลดูดกินน้ำเลี้ยง โดยใช้ส่วนของ stylet แทงผ่านผนังเซลล์ของต้นข้าวและปล่อยน้ำลายเข้าไปในต้นข้าว ส่งผลให้ยีนต้านทานที่มีอยู่ในต้นข้าวสามารถจับสัญญาณได้ และจะกระตุ้นให้ข้าวแสดงความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Jing et al., 2017) ยีน *Bph32* และ *Bph3* เป็นยีนต้านทานหลักที่เสถียรมีความต้านทานแบบกว้าง (broad-spectrum resistance) และคงทน (durable resistance) สามารถต้านทานได้ตั้งแต่ระยะกล้าไปจนถึงระยะข้าวออกดอก (Jairin et al., 2009; Yan et al., 2023)

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการประเมินความสามารถในการต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสายพันธุ์ข้าวที่จะใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมต้านทานโดยใช้ประชากรแมลงที่เก็บรวบรวมจากพื้นที่ที่มีการระบาด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาและคัดเลือกสายพันธุ์พ่อแม่ให้เหมาะสม ถึงแม้ข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวจะผ่านการประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมาแล้ว แต่ประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่แตกต่างกันตามพื้นที่ปลูกข้าวเป้าหมายของการพัฒนาพันธุ์ก็มีผลต่อความต้านทานของสายพันธุ์ข้าวได้เช่นกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสายพันธุ์ข้าวที่จะนำมาใช้เป็นคู่ผสมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอม ไม่ไวต่อช่วงแสง สามารถปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรัง และต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ข้าวเหนียวสายพันธุ์ใหม่นี้จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร (food security)

วิธีการศึกษา

พันธุ์/สายพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการวิจัย

สายพันธุ์ข้าวที่จะใช้เป็นคู่ผสม จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร. ธีรยุทธ ตู้จินดา ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ **(Table 1)** ประกอบด้วย สายพันธุ์ที่จะใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมให้ยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (สายพันธุ์พ่อ) จำนวน 2 สายพันธุ์ ซึ่งมียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล *Bph3* และ *Bph32* ได้แก่ ข้าวเหนียวสายพันธุ์ RGD13117-MS115-MS52-B-1 ซึ่งพัฒนามาจากคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์ RGD11259-1-9-25 และ สายพันธุ์ R4-4-2-134-18-57 ใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบจดประวัติและใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก แยก linkage drag ระหว่างแอลลีล Wx^a และ *Bph3* จนได้ข้าวเหนียวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Bph3*, *Bph32)* ต้านทานโรคไหม้ (*qBl1*, *qBl11*) เมล็ดมีกลิ่นหอม (*badh2*) และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (*SSIIa-TT*) และสายพันธุ์ RGD19156-MS33-MS1 พัฒนามาจากคู่ผสมระหว่างข้าวสายพันธุ์ RGD13297-106-2-1-MS1-MS1/RGD13300-172-1-MS3-MS18-MS19-MS1 และ สายพันธุ์ RGD13297-106-2-1-MS1-MS1/RGD13117-115-52-B โดยใช้การปรับปรุงพันธุ์แบบจดประวัติและใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก จนได้ข้าวเหนียวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Bph3*, *Bph32)* ต้านทานโรคไหม้ (*qBl1*, *qBl11*) ต้านทานโรคขอบใบแห้ง (*xa5*, *Xa21*, *xa33*) ไม่ไวต่อช่วงแสง (*hd1*) ทนน้ำท่วมฉับพลัน (*Sub1*) เมล็ดมีกลิ่นหอม (*badh2*) และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (*SSIIa-TT*) [RGDU] และสายพันธุ์ข้าวที่จะใช้เป็นคู่ผสม (สายพันธุ์แม่) จำนวน 2 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์หอมนาคา ซึ่งพัฒนามาจากคู่ผสมระหว่าง RGD10033-77-MS22 และ สายพันธุ์ RGD11169-MS8-5 โดยใช้การปรับปรุงพันธุ์แบบจดประวัติและใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก จนได้ข้าวเหนียวหอม (*badh2*) ไม่ไวต่อช่วงแสง (*hd1*) ต้านทานโรคไหม้ (*qBl1*, *qBl11*) โรคขอบใบแห้ง (*xa5*, *Xa21*, *xa33*) และทนน้ำท่วมฉับพลัน (*Sub1*) [RGDU] และข้าวเจ้าสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 พัฒนามาจากคู่ผสม RGD07343-13-23-3-3B/UBN03170-KPS-33-33 และสายพันธุ์ RGD07343-14-45-38-3B-B/RGD07097-1-8M-4-1-B ใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบจดประวัติและใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือก จนได้ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคขอบใบแห้ง (*xa5*, *Xa21*, *xa33*) และทนน้ำท่วมฉับพลัน (*Sub1*) ส่วนพันธุ์เปรียบเทียบต้านทาน มีจำนวน 5 พันธุ์ ประกอบด้วย Rathu Heenati, PTB33, Mudgo, ASD7 และ Babawee และพันธุ์เปรียบเทียบอ่อนแอ Taichung Native 1 (TN1) รวม 10 พันธุ์/สายพันธุ์ **(Table 1)**

การประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพโรงเรือน ด้วยวิธี modified mass tiller screening (MMTS) ในข้าวระยะแตกกอที่อายุข้าว 25 วัน ตามวิธีการของ Jairin et al. (2007a) โดยใช้ประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เก็บรวบรวมจากจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มไบโอไทป์ที่ 3 สามารถเข้าทำลายสร้างความเสียหายอย่างมากในพื้นที่ปลูกข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จิรพงศ์ และคณะ, 2557) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ดำเนินการทดสอบในโรงเรือน ณ ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี ปลูกข้าวพันธุ์/สายพันธุ์ละ 1 แถว แถวละ 10 ต้น จำนวน 3 ซ้ำ เมื่อข้าวอายุ 25 วัน ดำเนินการปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลวัยสามถึงวัยสี่ (3-4 instar nymphs) จำนวน 30-40 ตัวต่อต้น เริ่มบันทึกข้อมูลความเสียหายของต้นข้าวเมื่อข้าวพันธุ์ TN1 ซึ่งเป็นพันธุ์เปรียบเทียบอ่อนแอตาย โดยใช้เกณฑ์การประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของ standard evaluation system for rice (IRRI, 2013) ซึ่งมีรายละเอียดแสดงใน **Table 2**

การจัดกลุ่มทางพันธุกรรมของพันธุ์/สายพันธุ์ข้าว

คำนวณสัมประสิทธิ์ความเหมือนทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวที่ศึกษา โดยใช้ยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในพันธุ์/สายพันธุ์ข้าว จำนวน 8 ยีน ได้แก่ *Bph1, bph2, Bph3, qBPH3, bph4, Bph14, Bph17-ptb, Bph32* และปฏิกิริยาความต้านทานหลังปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย 11, 13 และ 15 วัน (days after infestation; DAI) โดยบันทึกข้อมูลแบบ binary data กำหนดให้ 1 เป็นปรากฏลักษณะ/ยีนต้านทาน และกำหนดให้ 0 เป็นไม่ปรากฏลักษณะ/ยีนต้านทาน นำข้อมูล binary data มาคำนวณสัมประสิทธิ์ความเหมือนทางพันธุกรรมโดยวิธีของ Dice (*Dice similarity coefficient*, DSC) (Dice, 1945) จากนั้นนำข้อมูล Similarity matrix มาจัดกลุ่มทางพันธุกรรม (cluster analysis) โดยวิธี unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) โดยใช้โปรแกรม NTSYS-pc version 2.1 (Rohlf, 2000)

Table 1 Rice varieties/lines used for brown planthopper evaluation in this study

Lines/varieties	Designation (origin)	Type of rice	BPH R genes	Agronomic traits	Source/Reference
1. RGD13117-MS115-MS52-B-1	Improved genotype	Glutinous	*Bph3, Bph32*	Blast resistance (*qBl11*), Fragrance (*badh2*), Low gelatinization temperature (*SSIIa-TT*)	Rice Gene Discovery Unit, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology
2. RGD19156-MS33-MS1	Improved genotype	Glutinous	*Bph3*, *Bph32*	Blast resistance (*qBl1*, *qBl11*), Bacterial blight resistance (*xa5*, *Xa21*, *xa33*), Submergence tolerance (*Sub1*), Low gelatinization temperature (*SSIIa-TT*), Non-photoperiod sensitivity (*hd1*)	
3. Hom Naga	Improved genotype	Glutinous	-	Blast resistance (*qBl1*, *qBl11*), Bacterial blight resistance (*xa5*, *Xa21*, *xa33*), Submergence tolerance (*Sub1*), Low gelatinization temperature (*SSIIa-TT*), Non-photoperiod sensitivity (*hd1*)	
4. RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35	Improved genotype	Non-Glutinous	-	Bacterial blight resistance (*xa5*, *Xa21*, *xa33*), Submergence tolerance (*Sub1*)	
5. Rathu Heenati	Landraces (Sri Lanka)	Non-Glutinous	*Bph3, qBPH3, Bph14, Bph32*	Photoperiod sensitivity, Non-fragrance and tall plant type	Sun et al. (2005); Jairin et al. (2009); Kumari et al. (2010); Liu et al. (2014); Pannak et al. (2023)
6. PTB33	Landraces (India)	Non-Glutinous	*bph2*, *Bph17-ptb*, *Bph32*, *bph4*	High amylose content, Low gel consistency, Non- fragrance and late maturity	Nguyen et al. (2012); Ren et al. (2016)
7. Mudgo	Landraces (India)	Non-Glutinous	*Bph1*	Slow growth rate and small body size	Kim and Sohn (2005)
8. ASD7	Landraces (India)	Non-Glutinous	*bph2*	Green rice leafhopper resistance,	Sun et al. (2007)
9. Babawee	Landraces (Sri Lanka)	Non-Glutinous	*bph4*	Green rice leafhopper resistance, Bacterial blight resistance	Kawaguchi et al. (2001)
10. Taichung Native 1 (TN1)	Improved genotype (Taiwan)	Non-Glutinous	-	High yield, Poor grain quality and Susceptibility to disease and insects	Li et al. (2019)

Table 2 Standard scoring scale of brown planthopper infestation (IRRI, 2013)

Scale	Symptoms	Resistance Level
0	No injury	Immune
1	Very slight injury	Highly resistant (HR)
3	First and 2nd leaves of most plants partially yellowing	Resistant (R)
5	Pronounced yellowing and stunting or about 10 to 25% of the plants wilting or dead and remaining plants severely stunted or dying	Moderately resistant (MR)
7	More than half of the plants	Moderately susceptible (MS)
9	All plants dead	Susceptible (S)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนความเสียหายจากการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี least significant difference (LSD) Test โดยใช้โปรแกรม STAR-statistical tool for agricultural research (version 2.0.1) นำข้อมูลความเสียหายที่ 11, 13, 15 วันหลังจากปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (11-15 DAI) มาคำนวณความเสียหายจากการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเป็นพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve; AUC) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Litsinger (1991)

ผลการศึกษา

การประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสายพันธุ์ข้าวที่จะใช้เป็นคู่ผสม จำนวน 4 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์ต้านทานซึ่งมียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลแตกต่างกัน จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ Rathu Heenati, PTB33, Mudgo, ASD7 และ Babawee และพันธุ์เปรียบเทียบอ่อนแอ TN1 พบว่าหลังจากปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายไป 11 วัน (11 DAI) พันธุ์ TN1 ได้รับความเสียหายและตาย จึงเริ่มบันทึกคะแนนความเสียหาย ผลการประเมินพบว่า ข้าวสายพันธุ์ RGD13117-MS115-MS52-B-1 และ RGD19156-MS33-MS1 ซึ่งมียีน *Bph3* และ *Bph32* มีลักษณะปลายใบแรกของต้นข้าวแสดงอาการเหลือง มีค่าคะแนนความเสียหายเท่ากับ 2.1 และ 2.6 คะแนน ตามลำดับ แสดงปฏิกิริยาระดับต้านทานมากต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (HR) ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบต้านทาน Rathu Heenati, ASD7, Babawee และ PTB33 ซึ่งมีค่าคะแนนความเสียหายเท่ากับ 2.2, 2.6, 2.7 และ 2.8 คะแนน ตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์ Mudgo และสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 มีลักษณะอาการใบเหลืองและเหี่ยวหรือแห้งตายร้อยละ 10-25 โดยมีค่าคะแนนความเสียหายเท่ากับ 5.3 และ 5.7 คะแนน ตามลำดับ แสดงปฏิกิริยาระดับต้านทานปานกลางต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (MR) และข้าวเหนียวพันธุ์หอมนาคา แสดงอาการใบเหลืองและเหี่ยวหรือแห้งตายร้อยละ 30-45 มีค่าคะแนนความเสียหาย 6.3 คะแนน แสดงปฏิกิริยาค่อนข้างอ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (MS) **(Figure 1, Table 3)** เมื่อเก็บข้อมูลความเสียหายจากการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลต่อไปที่ 13 และ 15 วันหลังจากปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (13-15 DAI) พบว่า ข้าวที่เข้าทดสอบทุกพันธุ์/สายพันธุ์ แสดงปฏิกิริยาต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลลดลง **(Table 3)**

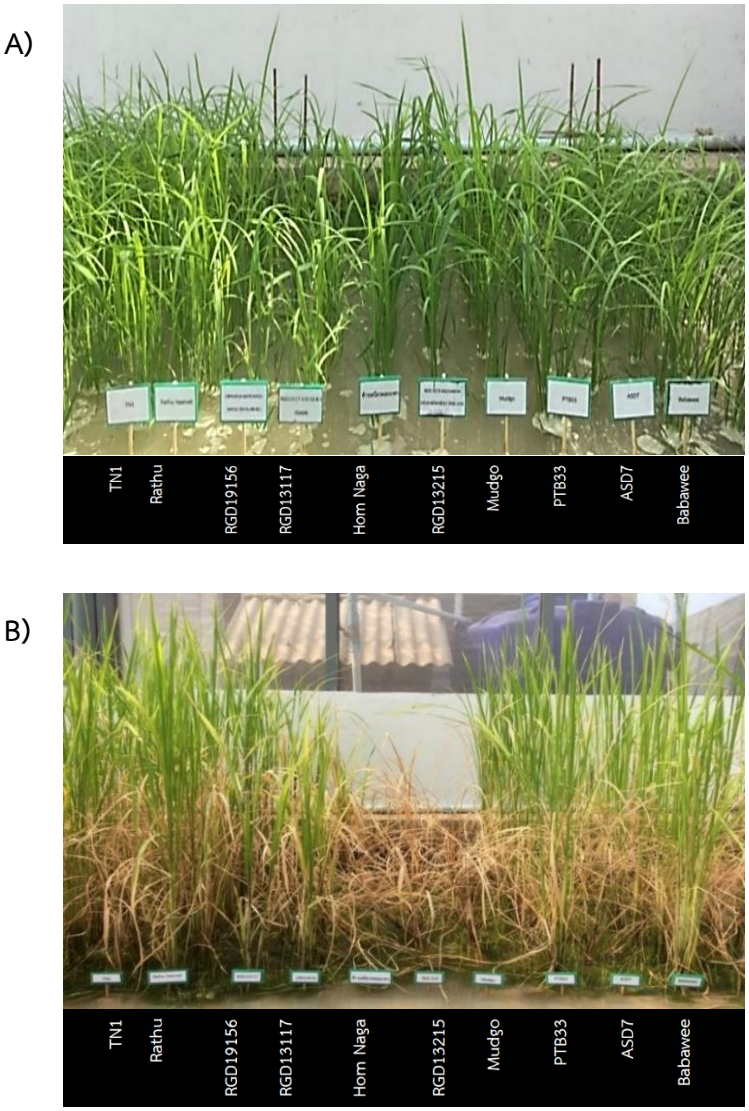

Figure 1 The damage of rice varieties/lines infestation by brown planthopper using modified mass tiller screening method at tillering stage. A) before infestation and B) 15 days after infestation (15 DAI).

Table 3 Average damage score and resistance reactions of the rice varieties / lines after infected by brown planthopper at 11, 13 and 15 days after infestation (DAI)

Lines/varieties	BPH genes	Damage score (resistance reactions)		
		11 DAI[1/]	13 DAI	15 DAI
1. RGD13117-MS115-MS52-B-1	*Bph3, Bph32*	2.1 (HR)	3.6 (R)	4.4 (R)
2. RGD19156-MS33-MS1	*Bph3*, *Bph32*	2.6 (HR)	3.6 (R)	4.5 (R)
3. Hom Naga	*Non-Bph*	6.3 (MS)	8.2 (HS)	9.0 (HS)
4. RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35	*Non-Bph*	5.7 (MR)	6.4 (MS)	7.3 (S)
5. Rathu Heenati	*Bph3, qBPH3, Bph14, Bph32*	2.2 (HR)	3.0 (R)	3.0 (R)
6. PTB33	*bph2, bph4, Bph17-ptb, Bph32*	2.8 (HR)	3.6 (R)	4.5 (R)
7. Mudgo	*Bph1*	5.3 (MR)	6.1 (MS)	7.3 (S)
8. ASD7	*bph2*	2.6 (HR)	3.4 (R)	5.1 (MR)
9. Babawee	*bph4*	2.7 (HR)	4.2 (R)	4.5 (R)
10. TN1	*Non-Bph*	8.5 (HS)	8.9 (HS)	9.0 (HS)

Note: [1/]DAI = Day after infestation, HR (Highly resistant), R (Resistant), MR (Moderately resistant), MS (Moderately susceptible), S (susceptible), HS (Highly susceptible).

จากการวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟ (area under curve; AUC) ความเสียหายของข้าวจากการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ 11 ถึง 15 วันหลังจากปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลาย (11-15 DAI) พบว่า ข้าวสายพันธุ์ RGD19156-MS33-MS1 และ RGD13117-MS115-MS52-B-1 แสดงค่า AUC เท่ากับ 14.08 และ 15.10 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติกับ AUC ของข้าวพันธุ์ Rathu Heenati ส่วนข้าวเหนียวพันธุ์หอมนาคา และข้าวสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 แสดงค่า AUC เท่ากับ 30.60 และ 19.93 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับค่า AUC ของข้าวพันธุ์ Rathu Heenati **(Figure 2)** โดยค่า AUC ที่มีค่าน้อยหรือมากกว่าค่า AUC ของพันธุ์ต้านทาน Rathu Heenati บ่งชี้ว่าพันธุ์ข้าวดังกล่าวมีความต้านทานหรืออ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ต้านทาน Rathu Heenati มีค่า AUC เท่ากับ 12.96 ± 4.69 (8.27 ถึง 17.65 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้นข้าวที่มีระดับความเสียหายของพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) อยู่ในช่วง 8.27 ถึง 17.65 ตารางมิลลิเมตร แสดงว่ามีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลประชากรอุบลราชธานี เช่นเดียวกับพันธุ์ Rathu Heenati ส่วนพันธุ์ TN1 ซึ่งเป็นพันธุ์เปรียบเทียบอ่อนแอ มีค่า AUC สูงเท่ากับ 35.30 ตารางมิลลิเมตร

พันธุ์เปรียบเทียบที่มียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลแตกต่างกัน พบว่า ข้าวพันธุ์ Babawee (*bph4*) และ PTB33 (*bph2, bph4, Bph17-ptb, Bph32)* แสดงค่า AUC เท่ากับ 14.13 และ 14.33 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติกับค่า AUC ของข้าว Rathu Heenati (*Bph3, qBPH3, Bph14, Bph32*) ส่วนข้าวพันธุ์ ASD7 (*bph2*) และ Mudgo (*Bph1*) แสดงค่า AUC เท่ากับ 19.50 และ 21.34 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) กับค่า AUC ของข้าวพันธุ์ Rathu Heenati **(Figure 2)**

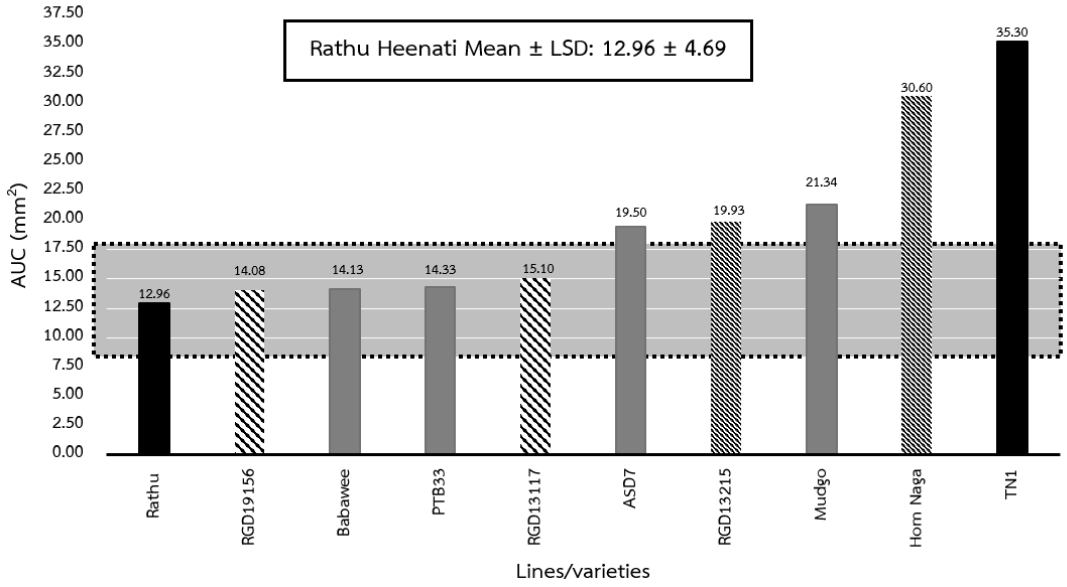

Figure 2 Area under curve (AUC) illustrates the resistance response to Ubon Ratchathani brown planthopper in 10 rice varieties/lines through modified mass tiller screening test, conducted at 11 to 15 days after infestation (DAI).

การจัดกลุ่มทางพันธุกรรมของพันธุ์/สายพันธุ์ข้าวที่ศึกษาโดยใช้ค่าความเหมือนทางพันธุกรรม (*Dice similarity*) ซึ่งประเมินได้จากข้อมูลยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จำนวน 8 ยีน (*Bph1, bph2, Bph3, qBPH3, bph4, Bph14, Bph17-ptb, Bph32*) ร่วมกับปฏิกิริยาความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของข้าวที่ 11, 13 และ 15 วัน หลังปล่อยแมลงเข้าทำลาย พบว่า ข้าวสายพันธุ์ RGD19156-MS33-MS1 และ RGD13117-MS115-MS52-B-1 จัดอยู่ในกลุ่มต้านทาน (I-R group) เช่นเดียวกับข้าว Rathu Heenati, PTB33, Babawee และ ASD7 ส่วนสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 และ Mudgo *(Bph1)* จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (III-S group) และ พันธุ์หอมนาคา จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอมาก (II-HS group) เช่นเดียวกับข้าว TN1 **(Figure 3C)** ผลของการจัดกลุ่มทางพันธุกรรมนี้สอดคล้องกับการจัดกลุ่มทางพันธุกรรมโดยใช้ปฏิกิริยาความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของข้าวที่ 11, 13 และ 15 วัน หลังปล่อยแมลงเข้าทำลาย (Figure 3B) โดยพันธุ์ที่แสดงปฏิกิริยาต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (I-R group) ประกอบด้วยสายพันธุ์ RGD19156-MS33-MS1, RGD13117-MS115-MS52-B-1, Rathu Heenati, PTB33 และ Babawee แยกกลุ่มอย่างชัดเจนกับสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 และ Mudgo ที่แสดงปฏิกิริยาอ่อนแอ (II-S group) และ พันธุ์หอมนาคา และ TN1 ที่แสดงปฏิกิริยาอ่อนแอมากต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (III-HS group) อย่างชัดเจน ส่วนการจัดกลุ่มพันธุกรรมโดยใช้ยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จำนวน 8 ยีน (*Bph1, bph2, Bph3, qBPH3, bph4, Bph14, Bph17-ptb, Bph32*) พบว่า สายพันธุ์ RGD19156-MS33-MS1, RGD13117-MS115-MS52-B-1 และ Rathu Heenati จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 (I group) ที่มียีน *Bph32* และ *Bph3* ส่วนกลุ่มที่ 2 (II group) ประกอบด้วย พันธุ์ข้าวที่มียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลหนึ่งยีน (II-i group) ได้แก่ พันธุ์ Babawee (*bph4*), ASD7 (*bph2*), และ Mudgo (*Bph1*), และพันธุ์ข้าวที่ไม่มียีน (II-ii group) ได้แก่ หอมนาคา, RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 และ TN1 ส่วนพันธุ์ PTB33 ไม่สามารถรวมกลุ่มกับพันธุ์อื่นได้เนื่องจากมียีน *bph2, bph4, Bph17-ptb* และ *Bph32*

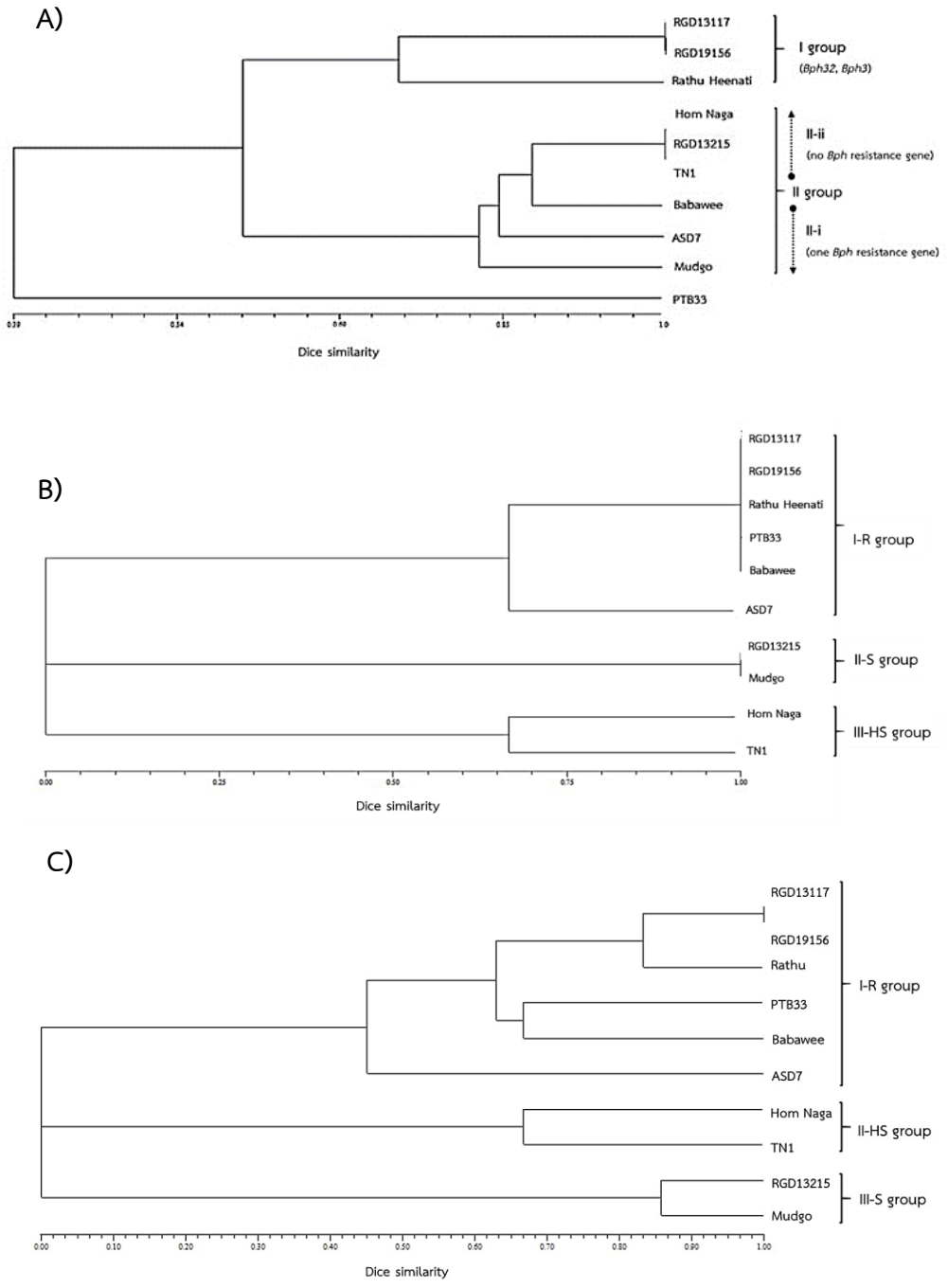

Figure 3 A phenogram produced by UPGMA clustering of Dice similarity matrix estimated from (A) 8 *Bph* resistance genes (*Bph1, bph2, Bph3, qBPH3, bph4, Bph14, Bph17-ptb, Bph32)* (B) resistance reactions to brown planthopper at 11, 13 and 15 days after infestation of 10 rice varieties/lines and (C) 8 *Bph* resistance genes and resistance reactions to brown planthopper at 11, 13 and 15 days after infestation of 10 rice varieties/lines. (R=resistant, S=susceptible, HS=highly susceptible)

วิจารณ์

ผลการประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในครั้งนี้ พบว่า ข้าวสายพันธุ์ RGD13117-MS115-MS52-B-1 และ RGD19156-MS33-MS1 ซึ่งมียีน *Bph32* และ *Bph3* แสดงปฏิกิริยาระดับต้านทานมาก (HR) ไม่แตกต่างกับพันธุ์ต้านทาน Rathu Heenati **(Table 3, Figure 2, 3)** ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jairin et al. (2009) ซึ่งรายงานว่าสายพันธุ์ปรับปรุง BC_3F_2 ซึ่งได้รับการถ่ายทอดยีน *Bph32* จาก Rathu Heenati แสดงความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลประชากรอุบลราชธานี, น่าน, กำแพงเพชร และพิษณุโลก ไม่แตกต่างจากพันธุ์ Rathu Heenati เช่นเดียวกับงานวิจัยของเจตน์ และคณะ (2554) ซึ่งรายงานว่าสายพันธุ์ปรับปรุง BC_4F_3 ซึ่งได้รับการถ่ายทอดยีน *Bph32* จาก KD-BPH (ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีการผนวกยีน *Bph32*) เข้าสู่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แสดงความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลประชากรพิษณุโลก, ตาก และปทุมธานี ไม่แตกต่างทางสถิติกับ Rathu Heenati และสายพันธุ์ KD-BPH และสอดคล้องกับการศึกษาของวัชรีวรรณ และคณะ (2561) ซึ่งรายงานว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ที่มียีน *Bph32, Bph3* และ terpene synthase (TPS) จากคู่ผสมระหว่างปทุมธานี 1 กับ KD-BPH สามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ไม่แตกต่างจาก Rathu Heenati และสายพันธุ์ KD-BPH ซึ่งให้ยีน *Bph32*

ข้าวพันธุ์ Mudgo ซึ่งมียีน *Bph1* แสดงอาการอ่อนแอ สอดคล้องกับ จิรพงศ์ (2553) ซึ่งรายงานว่าพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ซึ่งมียีน *Bph1* และ *bph2* ปัจจุบันไม่สามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เก็บรวบรวมจากพื้นที่ปลูกข้าวที่มีการระบาดในประเทศไทยจำนวน 75 ประชากรได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงไบโอไทป์ของแมลงทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีการปรับตัวเพื่อเข้าทำลายพันธุ์ต้านทาน โดยในช่วงแรกข้าวพันธุ์ Mudgo สามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ (Wan et al., 2019; Muduli et al., 2021) ข้าวพันธุ์ Mudgo มีกลไกความต้านทานแบบ antixenosis โดยข้าวมีลักษณะสัณฐานวิทยาและเคมีที่มีผลต่อพฤติกรรมของแมลงทำให้แมลงไม่ชอบและเข้าทำลายข้าวได้น้อยลง พบว่า ข้าวที่สร้างกรดอะมิโน asparagines ต่ำกว่าปกติ สามารถยับยั้งการดูดกิน (anti-feeding) ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้าทำลายข้าวได้น้อยลง มีอัตราการอยู่รอดต่ำ และมีจำนวนลดลง ส่วนข้าวที่อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เช่น TN1 พบว่ามีปริมาณ asparagines สูง จะกระตุ้นให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเข้ามาดูดกินน้ำเลี้ยงจากต้นข้าว (feeding stimulant) ได้มากขึ้น (Sogawa and Pathak, 1970; ภมร และคณะ, 2557; Stout, 2014) แต่ในปัจจุบันพบว่าข้าวพันธุ์ Mudgo อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถเข้าทำลายดูดกินได้ทุกส่วนของต้นข้าวได้ (Wan et al., 2019; Muduli et al., 2021) ทั้งนี้ยังมีการรายงานว่าในช่วงแรกของการปรับปรุงพันธุ์ต้านทานในประเทศไทยได้มีการพัฒนาพันธุ์ข้าวต้านทานจากยีน *Bph1*, *bph2*, *Bph3* และ *bph4* ซึ่งข้าวพันธุ์ต้านทานแต่ละพันธุ์มียีนต้านทานเพียงยีนเดียว ต่อมาพันธุ์ข้าวเหล่านั้นส่วนใหญ่แสดงอาการอ่อนแอต่อประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่พบในประเทศไทย ทั้งนี้เป็นผลมาจากมีการปลูกข้าวพันธุ์ต้านทานอย่างต่อเนื่องและปลูกติดต่อกันนานหลายปี ส่งผลทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถปรับตัวเอาชนะพันธุ์ข้าวดังกล่าวได้ (จิรพงศ์, 2564)

การสูญเสียความต้านทานของข้าวพันธุ์ Mudgo ซึ่งมียีน *Bph1* นั้น ส่งผลให้การจัดกลุ่มทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวที่ศึกษาในครั้งนี้โดยใช้ข้อมูลยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จำนวน 8 ยีน (*Bph1, bph2, Bph3, qBPH3, bph4, Bph14, Bph17-ptb, Bph32*) **(Figure 3A)** ให้ผลไม่สอดคล้องกับปฏิกิริยาความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของข้าวที่ 11, 13 และ 15 วัน หลังปล่อยแมลงเข้าทำลาย **(Table 3)** การจัดกลุ่มทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวโดยใช้ยีนต้านทานเพียงอย่างเดียวจึงไม่สอดคล้องกับการจัดกลุ่มทางพันธุกรรมของพันธุ์/สายพันธุ์ข้าวโดยใช้ปฏิกิริยาความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของข้าวที่ 11, 13 และ 15 วัน หลังปล่อยแมลงเข้าทำลาย **(Figure 3B)** และ การจัดกลุ่มทางพันธุกรรมของพันธุ์/สายพันธุ์ข้าวโดยใช้ข้อมูลยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลร่วมกับปฏิกิริยาความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของข้าวที่ 11, 13 และ 15 วัน หลังปล่อยแมลงเข้าทำลาย **(Figure 3C)** ผลจากการศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ว่า การจัดกลุ่มทางพันธุกรรมของพันธุ์/สายพันธุ์ข้าวโดยใช้ข้อมูลยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลร่วมกับปฏิกิริยาความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลของข้าวมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ข้อมูลยีนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากในปัจจุบันเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีการเปลี่ยนแปลงไบโอไทป์ ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีการปรับตัวเพื่อเข้าทำลายพันธุ์ต้านทานได้มากขึ้น ส่งผลให้พันธุ์ข้าวที่มียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูญเสียความต้านทานไป ตัวอย่างเช่น กรณีของพันธุ์ Mudgo และ ปทุมธานี 1 ซึ่งมียีน *Bph1* ปัจจุบันไม่สามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ (จิรพงศ์, 2564)

Rathu Heenati เป็นข้าวพื้นเมืองของประเทศศรีลังกา มีความสามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดีและคงทน ทั้งนี้เนื่องจากมียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลหลายยีน ประกอบด้วย *Bph3, qBPH3, Bph14* และ *Bph32* ส่งผลให้แสดงความต้านทานแบบกว้าง (broad-spectrum resistance) ครอบคลุมความหลากหลายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลไม่เฉพาะในประเทศไทย ยังต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่พบในประเทศลาว เวียดนาม จีน ญี่ปุ่น เกาหลี ฟิลิปปินส์ บังคลาเทศ (Sun et al., 2005; Jairin et al., 2009; Kumari et al., 2010; Liu et al., 2014; Pannak et al., 2023) การปรับปรุงพันธุ์ข้าวต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้แหล่งพันธุกรรมความต้านทานมาจากข้าว Rathu Heenati โดยเฉพาะยีนต้านทานหลัก *Bph32*-Ch6 และยีน *Bph3*-Ch4 (Jairin et al., 2009; เจตน์ และคณะ, 2552; เจตน์ และคณะ, 2554; เจตน์ และคณะ, 2558; วัชรีวรรณ และคณะ, 2561; คำประดิด และคณะ, 2563) ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่มียีนต้านทานอย่างน้อยสองยีนจะทำให้ข้าวสามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดีมากกว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงที่มียีนต้านทานเพียงยีนเดียว (Hu et al., 2012; Qiu et al., 2012)

ยีน *Bph32* แสดงลักษณะต้านทานได้ดีขึ้นเมื่ออายุข้าวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของธนาธิป และคณะ (2559) ซึ่งรายงานว่าอายุข้าวมีผลต่อการแสดงออกของยีน *Bph32* โดยพบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงที่มียีน *Bph32* แสดงปฏิกิริยาต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ระยะกล้า (อายุ 7 วัน) ไม่แตกต่างกันกับข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงที่ไม่มียีน *Bph32* แต่กลับพบความแตกต่างของปฏิกิริยาต้านทานของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงทั้งสองกลุ่มในระยะแตกกอ (อายุ 25 วัน) ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในการศึกษาครั้งนี้จึงดำเนินการในข้าวระยะแตกกอเพื่อให้ยีน *Bph32* มีการแสดงออกสูงสุด ยีน *Bph32* ในข้าวพื้นเมือง Rathu Heenati ตำแหน่งใกล้ชิด (linkage) กับแอลลีล Wx^a ของยีน *Waxy* ที่ควบคุมลักษณะปริมาณอะไมโลสสูง ทำให้การพัฒนาข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลซึ่งได้รับยีน *Bph32* จาก Rathu Heenati มักมีปริมาณอะไมโลสสูง ดังนั้นหากต้องการปรับปรุงพันธุ์ข้าวต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่มียีน *Bph32* และมีปริมาณอะไมโลสต่ำที่ถูกควบคุมโดยแอลลีล Wx^b หรือ ลักษณะข้าวเหนียวที่ถูกควบคุมด้วยแอลลีล *wx* จะต้องทำการแยก linkage drag ระหว่างยีนทั้งสอง ตัวอย่างเช่น การพัฒนาพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ให้ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ยังคงลักษณะปริมาณอะไมโลสต่ำของขาวดอกมะลิ 105 (Jairin et al., 2009) และ การพัฒนาข้าวเหนียวสายพันธุ์ RGD13117-MS115-MS52-B-1 ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ธนาธิป, 2559)

ข้าวเหนียวสายพันธุ์ RGD13117-MS115-MS52-B-1 พัฒนามาจากข้าวเหนียวสายพันธุ์ปรับปรุง RGD11259-1-MAS-9-MAS-25 (สายพันธุ์แม่) และสายพันธุ์ปรับปรุง R4-4-2-134-18-57 (สายพันธุ์พ่อ) ซึ่งมียีน *Bph3* และ *Bph32* มีลักษณะเป็นข้าวเหนียว (*wx*) เมล็ดมีกลิ่นหอม (*badh2*) ต้านทานโรคไหม้ (*qBl11*) และต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Bph3, Bph32*) (ธนาธิป, 2559) ส่วนสายพันธุ์ปรับปรุง RGD19156-MS33-MS1 ได้รับการถ่ายทอดยีน *Bph3* และ *Bph32* มาจากสายพันธุ์ปรับปรุง RGD13117-MS115-MS52-B-1 และ RGD13300-172-1-MS3-MS18-MS19-MS1 ตามลำดับ นอกจากต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลแล้วยังมีลักษณะต้านทานโรคไหม้ (*qBl1*, *qBl11*) ต้านทานโรคขอบใบแห้ง (*xa5 Xa21* และ *xa33*) ทนน้ำท่วมฉับพลัน (*Sub1*) ความหอม (*badh2*) และไม่ไวต่อช่วงแสง (*hd1*) (ได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร.ธีรยุทธ ตู้จินดา) **(Table 1)** ดังนั้น ข้าวสองสายพันธุ์นี้จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และลักษณะทนทานสภาพเครียดอื่น ๆ เช่น ทนน้ำท่วมฉับพลัน ต้านทานโรคไหม้ และต้านทานโรคขอบใบแห้ง เป็นต้น

ข้าวเหนียวพันธุ์หอมนาคา และข้าวเจ้าสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 ถึงแม้ว่าจะอ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล แต่พันธุ์/สายพันธุ์ดังกล่าวมีลักษณะดีเด่นที่เหมาะสมจะนำมาเป็นคู่ผสมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวหอมต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยข้าวเหนียวพันธุ์หอมนาคามีลักษณะต้านทานโรคไหม้ (*qBl1* และ *qBl11)* ต้านทานโรคขอบใบแห้ง (*xa5 Xa21* และ *xa33*) ทนน้ำท่วมฉับพลัน ไม่ไวต่อช่วงแสง และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ **(Table 1)** อีกทั้งยังมีลักษณะทางการเกษตรที่เหมาะสม ต้นสูงปานกลาง ลำต้นแข็งแรง ไม่หักล้มง่าย อายุเก็บเกี่ยว 130-140 วัน ส่วนข้าวสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-MS10-MS4-MS35 มีลักษณะต้านทานโรคขอบใบแห้ง (*xa5 Xa21* และ *xa33*) และทนน้ำท่วมฉับพลัน (*Sub1*) **(Table 1)** หากมีการปรับปรุงให้ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จะทำให้ได้ข้าวเหนียวหอมสายพันธุ์ใหม่ที่ทนทานสภาพเครียดได้หลายลักษณะ และยังสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีอีกด้วย

สรุป

การประเมินความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยใช้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เก็บรวบรวมจากจังหวัดอุบลราชธานีในระยะแตกกอ พบว่า ข้าวสายพันธุ์ RGD13117-MS115-MS52-B-1 และ RGD19156-MS33-MS1 ที่มียีน *Bph3* และ *Bph32* มีความสามารถในการต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับต้านทานมาก (HR) เช่นเดียวกับพันธุ์ Rathu Heenati ซึ่งเป็นพันธุ์เปรียบเทียบต้านทานมาตรฐาน ข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในการพัฒนาข้าวเหนียวหอมไม่ไวต่อช่วงแสง ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และทนทานสภาพเครียดหลายลักษณะ เพื่อพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (National Science, Research and Innovation Fund), สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ [สัญญารับทุน เลขที่ SCA-CO-2563-12240-TH], และ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและโรงเรือนในการประเมินเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2560. เตือนการระบาดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล. แหล่งข้อมูล: https://www.opsmoac.go.th/suphanburi-warning-files-392791791805. ค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2566.

คำประดิด แก้วอ่อนหล่า, ชเนษฎ์ ม้าลำพอง, ธีรยุทธ ตู้จินดา และวัชรีวรรณ แจ่มบุญศรี. 2563. การตรวจสอบเครื่องหมายโมเลกุลสำหรับคัดเลือกความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคไหม้ในพันธุ์ข้าวเหนียวปรับปรุง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 9(3): 1-15.

จิรพงศ์ ใจรินทร์, พิกุล ลีลากุด, ภมร ปัตตาวะ, เจตน์ คชฤกษ์, สาธิต ทยาพัชร, วรรณพรรณ จันลาภา และวันทนา ศรีรัตนศักดิ์. 2557. ไบโอไทป์และความหลากหลายทางพันธุกรรมของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในประเทศไทย. ใน: การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 31 วันที่ 21-23 พฤษภาคม 2557. ณ โรงแรมรอยัลพลา คลิฟฟ์ บีช รีสอร์ท แอนด์ สปา, ระยอง.

จิรพงศ์ ใจรินทร์. 2553. สถานภาพปัจจุบันของการพัฒนาพันธุ์ข้าวต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลในประเทศไทย. ใน: การประชุมวิชาการข้าว เนื่องในวันข้าวและชาวนาแห่งชาติ วันที่ 3-4 มิถุนายน 2553. ณ โรงแรมอมารี ดอนเมือง, กรุงเทพฯ.

จิรพงศ์ ใจรินทร์. 2564. ความเข้าใจเกี่ยวกับไบโอไทป์ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Nilaparvata lugens* (Stal). วารสารวิชาการข้าว. 12(1): 97-120.

เจตน์ คชฤกษ์, ภมร ปัตตาวะตัง, สุรเดช ปาละวิสุทธิ์ และจิรพงศ์ ใจรินทร์. 2558. การพัฒนาพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ให้ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลโดยใช้โมเลกุลเครื่องหมาย. ใน: สัมมนาวิชาการข้าว กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบนและภาคเหนือตอนล่าง ครั้งที่ 8 วันที่ 25-27 กุมภาพันธ์ 2558. เชียงราย.

เจตน์ คชฤกษ์, วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ, ธีรยุทธ ตู้จินดา และสุรเดช ปาละวิสุทธิ์. 2554. การพัฒนาความต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในพันธุ์ข้าวชัยนาท 1 โดยใช้โมเลกุลเครื่องหมาย. ใน: การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว เนื่องในโอกาสวันข้าวและชาวนาแห่งชาติ ครั้งที่ 2 วันที่ 3-4 มิถุนายน 2554. ณ โรงแรมอเมรี แอร์พอร์ต ดอนเมือง, กรุงเทพฯ.

เจตน์ คชฤกษ์, วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ, สุรเดช ปาละวิสุทธิ์ และศิริพร กออินทร์ศักดิ์. 2552. การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวปรับปรุง ราตูฮีเนติ/ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ชัยนาท 1 รุ่น BC_4F_1 ที่มียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลแบบ *Bph3* โดยเทคนิคการคัดเลือกด้วยดีเอ็นเอเครื่องหมาย. วารสารเกษตร. 25(2): 135-143.

ธนาธิป ทาปลัด, ศรีสวัสดิ์ ขัดทอง, ธีรยุทธ ตู้จินดา และสุรีพร เกตุงาม. 2559. ผลของอายุข้าวต่อการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่มียีน *Bph3* บนโครโมโซม 6. ใน: การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 4 วันที่ 1-3 กันยายน 2559. ณ โรงแรมเซ็นทราศูนย์ราชการและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ แจ้งวัฒนะ, กรุงเทพฯ.

ธนาธิป ทาปลัด. 2559. การค้นหา QTLs ควบคุมลักษณะต้านทานโรคไหม้และการพัฒนาพันธุกรรมข้าวเหนียวหอมที่มียีน *Bph3* ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จากฐานพันธุกรรมข้าวสายพันธุ์ IR57514 เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

ภมร ปัตตาวะ, เจตน์ คชฤกษ์ และสุรเดช ปาละวิสุทธิ์. 2557. การศึกษากลไกความต้านทานของข้าวสายพันธุ์ดีต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล. ใน: สัมมนาวิชาการกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบนและภาคเหนือตอนล่าง วันที่ 25-26 มีนาคม 2557. นครสวรรค์.

วัชรีวรรณ แจ่มบุญศรี, ธนาภรณ์ สายหยุด, มะยุรี ศาลาน้อย และธีรยุทธ ตู้จินดา. 2561. การประเมินประสิทธิภาพของตำแหน่งต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในประชากรข้าวที่พัฒนาจากพันธุ์ปทุมธานี 1. ใน: การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 5 งานวิจัยข้าวไทยสู่ไทยแลนด์ 4.0 วันที่ 23-24 พฤษภาคม 2561. ณ โรงแรมเซ็นทราศูนย์ราชการและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ แจ้งวัฒนะ, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. ข้าวนาปี: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ระดับประเทศ ภาค และจังหวัด ที่ความชื้น 15% ปีเพาะปลูก 2565/66. แหล่งข้อมูล: https://www.oae.go.th/assets/portals/1.pdf. ค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2566.

Dice, L. R. 1945. Measures of the amount of ecologic association between species. Ecological Society of America. 26(3): 297–302.

Horgan, F. G., A. P. Cruz, C. C. Bernal, A. F. Ramal, M. L. P. Almazan, and A. Wilby. 2018. Resistance and tolerance to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal), in rice infested at different growth stages across a gradient of nitrogen applications. Field Crops Research. 217: 53-65.

Hu, J., X. Li, C. Wu, C. Yang, H. Hua, G. Gao, J. Xiao, and Y. He. 2012. Pyramiding and evaluation of the brown planthopper resistance genes *Bph14* and *Bph15* in hybrid rice. Molecular Breeding. 29: 61–69.

Ikeda, R. 1985. Studies on the inheritance of resistance to the rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) and the breeding of resistant rice cultivars. Bulletin of the National Research Centre. 3: 1-54.

IRRI. 2013. Standard evaluation system for rice (SES). International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Jairin, J., K. Phengrat, S. Teangdeerith, A. Vanavichit, and T. Toojinda. 2007a. Mapping of a broad-spectrum brown planthopper resistance gene, *Bph3*, on rice chromosome 6. Molecular Breeding. 19: 35-44.

Jairin, J., P. Leelagud, T. Saejueng, and V. Chamarerk. 2017a. Loss of resistance to *Nilaparvata lugens* may be due to the low-level expression of *BPH32* in rice panicles at the heading stage. American Journal of Plant Sciences. 8(11): 2825-2836.

Jairin, J., S. Teangdeerith, P. Leelagud, J. Kothcharerk, K. Sansen, M. Yi, A. Vanavichit, and T. Toojinda. 2009. Development of rice introgression lines with brown planthopper resistance and KDML105 grain quality characteristics through marker-assisted selection. Field Crops Research. 110(3): 263–271.

Jairin, J., S. Teangdeerith, P. Leelagud, K. Phengrat, A. Vanavichit, and T. Toojinda. 2007b. Physical mapping of *Bph3*, a brown planthopper resistance locus in rice. Journal of Science and Technology. 1(2): 166–177.

Jairin, J., U. Kotchasatit, S. Saleeto, S. Jearakongman, K. Srivilai, V. Chamarerk, J. Kothcharerk, P. Pattawatang, S. Korinsak, C. Wongsaprom, and T. Toojinda. 2017b. Application of marker-assisted breeding to improve

biotic stress resistance for rainfed lowland rice in northeastern Thailand. Sabrao Journal of Breeding and Genetics. 49(2): 168-178.

Jeevanandham, N., R. Raman, D. Ramaiah, V. Senthilvel, S. Mookaiah, and R. Jegadeesan. 2023. Rice: *Nilaparvata lugens* Stal interaction—current status and future prospects of brown planthopper management. Journal of Plant Diseases and Protection. 130: 125–141.

Jing, S., Y. Zhao, B. Du, R. Chen, L. Zhu, and G. He. 2017. Genomics of interaction between the brown planthopper and rice. Current Opinion in Insect Science. 19: 82–87.

Kawaguchi, M., K. Murata, T. Ishii, S. Takumi, N. Mori, and C. Nakamura. 2001. Assignment of a brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) resistance gene *bph4* to the rice chromosome 6. Breeding Science. 51(1): 13-18.

Kim, S. M., and J. K. Sohn. 2005. Identification of a rice gene (*Bph1*) conferring resistance to brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) using STS markers. Molecules and Cells. 20(1): 30-34.

Kumar, S., S. Hem, P. Aditya, P. J. Nath, and K. Chandra. 2022. Brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Insecta: Delphacidae) a major insect of rice in India: A review. Journal of Entomological Research. 46(2): 333-338.

Kumari, S., J. M. Sheba, M. Marappan, S. Ponnuswamy, S. Seetharaman, N. Pothi, M. Subbarayalu, R. Muthurajan, and S. Natesan. 2010. Screening of IR50 × Rathu Heenati F_7 RILs and identification of SSR markers linked to brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) resistance in rice (*Oryza sativa* L.). Molecular Biotechnology. 46(1): 63-71.

Lakshminarayana, A., and G. S. Khush. 1977. New genes for resistance to the brown planthopper in rice. Crop Science. 17: 96–100.

Li, C., D. Wu, S. Huang, M. Meng, H. Shih, M. Lai, L. Chen, K. K. Jena, S. L. Hechanova, T. Ke, T. Chiu, Z. Tsai, G. Chen, K. Tsai, and W. Leu. 2023. The *Bph45* gene confers resistance against brown planthopper in rice by reducing the production of limonene. International Journal of Molecular Sciences. 24(2): 1798.

Li, Y., Y. F. Huang, S. H. Huang, Y. H. Kuang, C. W. Tung, C. T. Liaoand, and W. P. Chuang. 2019. Genomic and phenotypic evaluation of rice susceptible check TN1 collected in Taiwan. Botanical Studies. 60(1): 19.

Litsinger, J. A. 1991. Crop loss assessment in rice. In: Heinrichs EA, Miller TA (eds) Rice insects: management strategies. Springer Series in Experimental Entomology Springer Verlag, New York.

Liu, Y., H. Wu, H. Chen, Y. Liu, J. He, H. Kang, Z. Sun, G. Pan, Q. Wang, J. Hu, F. Z, K. Zhou, X. Zheng, Y. Ren, L. Chen, Y. Wang, Z. Zhao, Q. Lin, F. Wu, X. Zhang, X. Guo, X. Cheng, L. Jiang, C. Wu, H. Wang, and J. Wan. 2014. A gene cluster encoding lectin receptor kinases confers broad-spectrum and durable insect resistance in rice. Nature Biotechnology. 33(3): 301–305.

Muduli, L., M. Dash, S. D. Mohapatra, K. K. Mohapatra, H. S. Nayak, D. N. Bastia, B. Pradhan, S. K. Tripathy, R. C. Jena, and S. K. Pradhan. 2023. Phenotypic and genotypic assessment of elite rice varieties for brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal.) resistance. Cereal Research Communication. 51: 821–833.

Muduli, L., S. K. Pradhan, A. Mishra, D. N. Bastia, K. C. Samal, P. K. Agrawal, and M. Dash. 2021. Understanding brown planthopper resistance in Rice: Genetics, biochemical and molecular breeding approaches. Rice Science. 28: 532–546.

Nguyen, C. D., S. Zheng, S. Sanada-Morimura, M. Matsumura, H. Yasui, and D. Fujita. 2021. Substitution mapping and characterization of brown planthopper resistance genes from *indica* rice variety, 'PTB33' (*Oryza sativa* L.). Breeding Science. 71(5): 497-509.

Pannak, S., S. Wanchana, W. Aesomnuk, M. K. Pitaloka, W. Jamboonsri, M. Siangliw, B. C. Meyers, T. Toojinda, and S. Arikit. 2023, Functional *Bph14* from Rathu Heenati promotes resistance to BPH at the early seedling stage of rice (*Oryza sativa* L.) as revealed by QTL-seq. Theoretical and Applied Genetics. 136: 2.

Qiu, Y., J. Guo, S. Jing, L. Zhu, and G. He. 2012. Development and characterization of Japonica rice lines carrying the brown planthopper resistance genes *BPH12* and *BPH6*. Theoretical and Applied Genetics. 124: 485-494.

Ren, J., F. Gao, X. Wu, X. Lu, L. Zeng, J. Lv, X. Su, H. Luo, and G. Ren. 2016. *Bph32*, a novel gene encoding an unknown SCR domain-containing protein, confers resistance against the brown planthopper in rice. Scientific Reports. 6: 37645.

Rohlf, F. J. 2000. NTSYS-pc numerical taxonomy and multivariate analysis system, version 2.1. New York: Exeter Software.

Sogawa, K., and M. D. Pathak. 1970. Mechanisms of brown planthopper resistance in Mudgo variety of rice (Hemiptera: Dalphacidae). Applied Entomology and Zoology. 5(3): 145-158.

Stout, M. J. 2014. Host-Plant Resistance in Pest Management. Integrated Pest Management, Louisiana State University, LA, USA.

Sun, L., C. Su, C. Wang, H. Zhai, and J. Wan. 2005. Mapping of a major resistance gene to the brown planthopper in the rice cultivar Rathu Heenati. Breeding Science. 55(4): 391-396.

Sun, L., Y. Liu, L. Jiang, C. Su, C. Wang, H. Zhai, and J. Wan. 2007. Identification of quantitative trait loci associated with resistance to brown planthopper in the *indica* rice cultivar Col.5 Thailand. Hereditas. 144(2): 48-52.

Wan, P. J., R. N. Zhou, S. Nanda, J. C. He, S. Y. Yuan, W. X. Wang, F. X. Lai, and Q. Fu. 2019. Phenotypic and transcriptomic responses of two *Nilaparvata lugens* populations to the Mudgo rice containing *Bph1.* Scientific Reports. 9: 14049.

Wu, S. 2022. The Cross-resistance pattern and the metabolic resistance mechanism of acetamiprid in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal). International Journal of Molecular Sciences. 23(16): 9429.

Yan, L., T. Luo, D. Huang, M. Wei, Z. Ma, C. Liu, Y. Qin, X. Zhou, Y. Lu, R. Li, and Y. Zhang. 2023. Recent advances in molecular mechanism and breeding utilization of brown planthopper resistance genes in rice: An Integrated Review. International Journal of Molecular Sciences. 24(15): 12061.

Zheng, X., L. Zhu, and G. He. 2021. Genetic and molecular understanding of host rice resistance and *Nilaparvata lugens* adaptation. Current Opinion in Insect Science. 45: 14-20.