

ปฏิกิริยาของข้าวลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄
(ขาวดอกมะลิ 105/อาบาญา) x ชัยนาท 1 กับเพลี้ยกระโดดหลังขาว

Reactions of Backcross Rice Lines BC₄F₃₋₄
(KDML105/Abhaya) x Chai Nat 1 on Whitebacked Planthopper

วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ^{1/*} สมชาย ธนสินชยกุล^{2/} ไสว บุรณพานิชพันธุ์^{3/} เจตน์ คชฤกษ์^{4/}
และ คณิดา เกิดสุข^{4/}

Weerathep Pongprasert^{1/*}, Somchai Tanasinchayakul^{2/}, Sawai Buranapanichpan^{3/},
Jate Kotcharerk^{4/} and Kanita Kerdruk^{4/}

^{1/}ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

^{1/} Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment Naresuan University,
Mueang, Phitsanulok 65000, Thailand

^{2/}ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

^{2/} Department of Entomology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus,
Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand

^{3/}ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

^{3/} Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

^{4/}ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก อ.วังทอง จ.พิษณุโลก 65000

^{4/} Phitsanulok Rice Research Center, Wang Thong, Phitsanulok 65000, Thailand

*Corresponding author: Email: weerathepp@gmail.com

(Received: 1 August 2016; Accepted: 31 August 2016)

Abstract: Host plant resistance is one of the main post in insect management strategy to control insect pest. Therefore, the total of 6 BC₄F₃₋₄ backcross rice lines ((Abhaya/KDML 105) x Chai Nat 1) were evaluated their reactions on 5 whitebacked planthopper (WBPH) populations collected from paddy fields in lower northern Thailand, Sukhothai, Phitsanulok, Kamphaeng Phet, Phichit, and Nakhon Sawan provinces, under greenhouse condition. All six BC₄F₃₋₄ backcross rice lines and 10 standard varieties were planted in seedling box in insect case and WBPH nymphs at 2nd-3rd instar were released at the rate of 5 insects per plant. The reaction of rice responding to the WBPH infestation was evaluated at day 14 after insects released based on standard evaluation system for rice from International Rice Research Institute (IRRI) and then elite lines were selected. In addition, the relationships of rice damage caused by WBPH infestation at day 14 and simple sequence repeat (SSR) molecular markers was determined. The result revealed that the backcrossed line, A12-26-201-428, was an elite line, significantly high resistance to WBPH populations from all 5 areas in lower northern region.

The marker-trait association analysis, a total of 2 quantitative trait loci (QTLs), potentially resistant to WBPH population from Phichit: *qRmWBPH6* and *qRmWBPH12* was found on chromosome 6 and 12 linked to marker RM463 and RM225 respectively.

Keywords: Whitebacked planthopper resistance, molecular marker, Chai Nat 1, Abhaya, QTL

บทคัดย่อ: พืชต้านทานเป็นวิธีการควบคุมหลักที่สำคัญในกลยุทธ์ของการบริหารจัดการศัตรูพืช จึงได้ทำการศึกษาถึงปฏิกิริยาของ ข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ขาวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) จำนวน 6 สายพันธุ์ ร่วมกับพันธุ์ข้าวมาตรฐานทดสอบ จำนวน 10 พันธุ์ โดยใช้กลุ่มประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาว ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด คือ สุโขทัย พิษณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร และ นครสวรรค์ ในสภาพเรือนทดลอง ปลูกลายพันธุ์ข้าวและพันธุ์ข้าวทดสอบในกระบะเพาะ ภายในกรงเลี้ยงแมลง ปลอยตัวอ่อนเพี้ยกระโดดหลังขาววัยที่ 2-3 จำนวนเฉลี่ย 5 ตัวต่อต้น ตรวจสอบปฏิกิริยาของข้าวต่อการลงทำลายในวันที่ 14 วันหลังปลอยเพี้ยลงทำลาย ด้วยมาตรฐานการประเมินของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ คัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม และทำการวิเคราะห์ลักษณะการแสดงออกของปฏิกิริยาของข้าวต่อการเข้าทำลายของเพี้ยกระโดดหลังขาวกับโมเลกุลเครื่องหมายแบบ SSR พบว่า สายพันธุ์ข้าวที่มีความโดดเด่นมากที่สุดคือ A12-26-201-428 แสดงปฏิกิริยาด้านทานต่อการลงทำลายของประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาวครอบคลุมทั้ง 5 ภูมิภาคเหนือตอนล่างมากที่สุด และพบตำแหน่งของยีนที่แสดงความต้านทานต่อเพี้ยกระโดดหลังขาวใกล้กับโมเลกุลเครื่องหมาย 2 ตำแหน่ง คือ RM463 และ RM225 ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานต่อเพี้ยกระโดดหลังขาวจากจังหวัดพิจิตรและให้ชื่อ QTL เหล่านี้ว่า *qRmWBPH6* และ *qRmWBPH12* ซึ่ง QTL นี้วางตัวอยู่บนโครโมโซมที่ 6 และ 12 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ความต้านทานเพี้ยกระโดดหลังขาว โมเลกุลเครื่องหมาย ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวพันธุ์อาบาญา ตำแหน่งของลักษณะเชิงปริมาณ

คำนำ

เพี้ยกระโดดหลังขาว (*Sogatella furcifera* (Horvath)) จัดอยู่ในวงศ์ Delphacidae อันดับ Hemiptera เป็นแมลงศัตรูข้าวที่มีความสำคัญในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเอเชียใต้ รวมทั้งในไมโครนีเชีย บราซิลและกลุ่มประเทศในแคริบเบียน ลงทำลายข้าวหลายสายพันธุ์ ทำให้ต้นข้าวมีอาการเหี่ยวและไหม้ (Khush, 1984) นอกจากนี้ยังเป็นแมลงพาหะถ่ายทอดเชื้อไวรัสมาสู่ข้าว ทำให้ข้าวมีอาการแห้งและไหม้ตาย หรือไม่สามารถออกรวง (Renganayaki *et al.*, 2002; Tang *et al.*, 1994) ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงและไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน (สุวัฒน์, 2544) การควบคุมเพี้ยกระโดดหลังขาวมักนิยมใช้สารเคมีฆ่าแมลงเป็นหลัก (สำนวนและวีรเทพ, 2548) ซึ่งมีผลกระทบต่อมนุษย์และ

สภาพแวดล้อมเป็นอย่างรุนแรง การควบคุมโดยใช้ข้าวพันธุ์ต้านทานต่อการเข้าทำลายของเพี้ยกระโดดนั้นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการป้องกันกำจัดแมลงที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และเป็นวิธีการที่ปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม (Jena and Mackill, 2008)

ในช่วง 3 ทศวรรษ ที่ผ่านมามีการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวต้านทานชนิดต่าง ๆ มากมาย เช่น ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 (SPR60), สุพรรณบุรี 90 (SPR90), ปทุมธานี 33 (PTB33), ชัยนาท 1 (CTN1), พิษณุโลก 2, กข29 และ กข41 เป็นต้น ที่มีคุณสมบัติต้านทานต่อเพี้ยกระโดดทั้งเพี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพี้ยกระโดดหลังขาวได้ อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะต้านทานที่มีในข้าวแต่ละสายพันธุ์นั้นมีข้อจำกัดเช่นกัน โดยเมื่อปลูกข้าวพันธุ์นั้น ๆ เป็นพื้นที่กว้างและต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีผลทำให้ระดับความต้านทานลดลงได้ ทำให้ต้องมีการพัฒนาพันธุ์

ข้าวสายพันธุ์ใหม่ ๆ รองรับตลอดเวลา โดยวิธีการพัฒนาพันธุ์ข้าวต้านทานในปัจจุบันมีได้หลายลักษณะวิธีการ แต่การพัฒนาข้าวพันธุ์ต้านทานโดยปรับปรุงข้าวพันธุ์ต้านทานเดิมที่ได้รับความนิยมปลูก และเป็นที่ต้องการของตลาดให้มีคุณสมบัติต้านทานเพิ่มขึ้นเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมมากอีกวิธีหนึ่ง ประกอบกับมีรายงานการวิจัยพบว่ายีนต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลบางชนิดสามารถแสดงความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดหลังขาวได้ (จิรพงศ์ และคณะ, 2552; Tan et al., 2004)

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวลูกผสมกลับระหว่างพันธุ์อาบาญาซึ่งเป็นแหล่งผู้ให้ (donor) ยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลชนิด *Qbph6* และ *Qbph12* กับพันธุ์ชัยนาท 1 โดยวิธี marker assisted selection (MAS) ตั้งแต่ พ.ศ. 2545 จนถึงขณะนี้ได้ลูกผสมกลับรุ่น BC₄F₃₋₄ ที่มียีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล *Qbph6* และ *Qbph12* และมีลักษณะทาง phenotype อื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกับ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มาก จำนวน 6 สายพันธุ์ และได้ทำทดสอบข้าวอาบาญาและข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงบางพันธุ์ในเบื้องต้นกับเพลี้ยกระโดดหลังขาวของจังหวัดพิษณุโลก พบว่ายีนดังกล่าวมีแนวโน้มสามารถแสดงความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวได้ จึงได้จัดทำการศึกษาถึงคุณลักษณะความต้านทานของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับระยะ BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) จำนวน 6 สายพันธุ์ ซึ่งได้รับการถ่ายยีนต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล *Qbph6* และ *Qbph12* แล้ว กับประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวขึ้น เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวลูกผสมกลับดังกล่าวที่สามารถต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวได้ และเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางพันธุกรรมด้วยโมเลกุลเครื่องหมาย ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของลักษณะความต้านทานที่แสดงออกในข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับดังกล่าวกับประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่นาชลประทานของ 5 จังหวัดภาคเหนือตอนล่างขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บรวบรวมประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่นาชลประทานของพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างครอบคลุมพื้นที่ใน 5 จังหวัด คือ สุโขทัย พิษณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร และนครสวรรค์

ทำการเลี้ยงและขยายเพิ่มจำนวนแมลง บนข้าวพันธุ์ไทชุงเนทีฟ 1 (Taichung Native 1, TN1) ซึ่งอ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว

ทำการปลูกข้าวลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) จำนวน 6 สายพันธุ์ ข้าวพันธุ์เปรียบเทียบ คือ อาบาญา, อาบาญา x ข้าวดอกมะลิ 105, พิษณุโลก 2 (PHL2), ชัยนาท 1 (CNT1), สุพรรณบุรี 60 (SPR60), สุพรรณบุรี 90 (SPR90) และ กข29 (RD29) โดยมีข้าวพันธุ์ PTB33 และ ราตุฮีเนติ (Rathu Heenati) เป็นพันธุ์มาตรฐานต้านทาน และพันธุ์ TN1 เป็นพันธุ์มาตรฐานไม่ต้านทาน ในกระเบเพาะ ในสภาพทรงเลี้ยงแมลง ในโรงเรือน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 5 ซ้ำ

ปล่อยประชากรของเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากแหล่งปลูกข้าวของจังหวัดพิษณุโลก ในระยะตัวอ่อนวัยที่ 2-3 จำนวน 5 ตัวต่อต้น ลงในทรงเลี้ยงต้นข้าวทดสอบแต่ละสายพันธุ์ เมื่อข้าวอายุประมาณ 6-7 วัน หรือมีใบประมาณ 2-3 ใบต่อต้น ตรวจการกระจายตัวของแมลงโดยปิดบริเวณแถวข้าวทดสอบเพื่อให้แมลงเคลื่อนย้ายกระจายได้ทั่วบริเวณแถวข้าวทดสอบในกระเบเพาะ

บันทึกผลลักษณะการเข้าทำลายพันธุ์ข้าวทดสอบของเพลี้ยกระโดดหลังขาว และเปรียบเทียบผลที่ 14 วันหลังทำการปล่อยเพลี้ยกระโดดหลังขาวลงทำลาย โดยใช้มาตรฐานตาม Standard Evaluation System for Rice ของ IRRI (2002)

ดำเนินการในทำนองเดียวกันกับประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่จังหวัดสุโขทัย กำแพงเพชร พิจิตร และ นครสวรรค์ จนครบทุกพื้นที่ วิเคราะห์ผล จัดกลุ่มสายพันธุ์ข้าวโดย hierarchical cluster analysis ใช้วิธีการคำนวณการจัดกลุ่มโดย between-group linkage และคำนวณระยะความแตกต่างด้วยวิธี squared Euclidean distance

ทำการคัดเลือกโมเลกุลเครื่องหมายแบบ simple sequence repeat (SSR) ที่แสดงผลเป็น polymorphic ระหว่างข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง ((อาบาญา x ชาวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) โดยใช้โมเลกุลเครื่องหมายแบบ SSR จากโครโมโซมของข้าวทั้ง 12 ชุด ที่ได้รับการพัฒนาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น Rice Cornell SSR 2001 เป็นต้น

ตรวจสอบตำแหน่งของลักษณะเชิงปริมาณทางพันธุกรรมของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง (อาบาญา/ชาวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1 ระยะ BC₄F₃₋₄ ทั้ง 6 สายพันธุ์ โดยการวิเคราะห์ตำแหน่งของลักษณะเชิงปริมาณ (QTL) ของความต้านทานที่แสดงออกในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงดังกล่าวกับประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่นาข้าวแหล่งต่าง ๆ ที่อยู่ในเขตชลประทานของภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย

วิเคราะห์ผลและคัดเลือกคัดเลือกข้าว BC₄F₃₋₄ ที่ผ่านการทดสอบ

ผลการทดลอง

ประเมินความต้านทานและคัดเลือกข้าวต้านทานจากข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ (อาบาญา/ชาวดอกมะลิ 105 X ชัยนาท 1) กับประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาวในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย

ผลการทดสอบปฏิกิริยาของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ชาวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) จำนวน 6 สายพันธุ์ ร่วมกับ พันธุ์ข้าวเปรียบเทียบกับ จำนวน 10 พันธุ์ โดยใช้กลุ่มประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาวจำนวน 5 พื้นที่ ภายหลังการปล่อยเพี้ยกระโดดหลังขาวลงทำลาย 14 วัน (ตารางที่ 1) พบว่าปฏิกิริยาของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ต่อประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก มีระดับความต้านทานในช่วงปานกลางเท่านั้น รวมทั้งในส่วนของพันธุ์เปรียบเทียบกับทุกพันธุ์ โดยจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีความต้านทานระดับปานกลาง (MR) มีจำนวน 1 สายพันธุ์ คือ A12-26-201-428 ซึ่งจัดว่ามีระดับต้านทานสูงที่สุดต่อประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาวจาก

พิษณุโลก กลุ่มที่สอง คือกลุ่มที่ค่อนข้างอ่อนแอ (MS) มีจำนวน 5 สายพันธุ์ คือ A12-11-171-401, A12-11-171-402, A12-26-201-436, A12-11-165-359 และ A12-11-170-381 เทียบเท่ากับพันธุ์เปรียบเทียบกับทุกพันธุ์ทั้งอาบาญา, อาบาญา x ชาวดอกมะลิ 105, CNT1, PTB33, PHL2, SPR60, SPR90, RD29 และ ราตุฮีนติ แม้แต่พันธุ์มาตรฐานไม่ต้านทาน TN1 จัดอยู่ในระดับนี้เช่นกัน (MS)

ปฏิกิริยาของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ต่อประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่จังหวัดสุโขทัยมีระดับความต้านทานจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีความต้านทานระดับปานกลาง (MR) มีจำนวน 4 สายพันธุ์ ประกอบด้วย A12-11-165-359, A12-11-170-381, A12-11-171-401 และ A12-26-201-428 เทียบเท่ากับพันธุ์เปรียบเทียบกับ อาบาญา, อาบาญา x ชาวดอกมะลิ 105, CNT1, SPR90, RD29, PHL2 และราตุฮีนติ กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มที่มีระดับค่อนข้างอ่อนแอ (MS) มีจำนวน 2 สายพันธุ์ ประกอบด้วย A12-11-171-402 และ A12-26-201-436 เทียบเท่ากับพันธุ์มาตรฐานต้านทานเปรียบเทียบกับ PTB33 และ SPR60 แต่อย่างไรก็ตาม ข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ทุกสายพันธุ์มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเพี้ยกระโดดหลังขาวสูงกว่าพันธุ์มาตรฐานไม่ต้านทาน TN1 ที่มีระดับอ่อนแอ (S)

ปฏิกิริยาของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ต่อประชากรเพี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่จังหวัดพิจิตร มีระดับความต้านทานจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความต้านทานระดับปานกลาง (MR) มีจำนวน 1 สายพันธุ์ คือ A12-26-201-428 เทียบเท่ากับพันธุ์เปรียบเทียบกับ อาบาญา x ชาวดอกมะลิ 105 และ SPR90 กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มที่มีระดับ

ค่อนข้างอ่อนแอ (MS) มีจำนวน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย A12-11-165-359, A12-11-170-381, A12-11-171-401, A12-11-171-402 และ A12-26-201-436 เทียบเท่ากับพันธุ์มาตรฐานต้านทานเปรียบเทียบกับอาบาญา, CNT1, PTB33, RD29, PHL2, SPR60 และ ราตุฮีนติ ข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ทุกสายพันธุ์มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเพี้ยกระโดดหลังขาวสูงกว่าพันธุ์มาตรฐานไม่ต้านทาน TN1 ที่มีระดับอ่อนแอ (S)

Table 1. Reactions of 6 ((Abhaya/KDML105) X Chai Nat 1)) backcross lines and 10 standard rice varieties responded to whitebacked planthopper (WBPH) collected from Phitsanulok (PSL), Sukhothai (SKT), Phichit (PHC), Kamphaeng Phet (KPP) and Nakhon Sawan (NKS) at 14 days after WBPH released

Name / plant code	Damage reaction scale				
	PSL	SKT	PHC	KPP	NKS
A12-11-165-359	MS	MR	MS	R	MR
A12-11-170-381	MS	MR	MS	MR	MR
A12-11-171-401	MS	MR	MS	MR	R
A12-11-171-402	MS	MS	MS	MR	R
A12-26-201-428	MR	MR	MR	R	R
A12-26-201-436	MS	MS	MS	R	MS
Abhaya	MS	MR	MS	MR	MS
Abhaya x KDML105	MS	MR	MR	R	MS
CNT1	MS	MR	MS	R	MR
TN1	MS	S	S	S	MS
PTB33	MS	MS	MS	MR	MR
SPR90	MS	MR	MR	MR	MS
RD29	MS	MR	MS	MR	MS
PHL2	MS	MR	MS	MR	MR
SPR60	MS	MS	MS	MS	MS
Rathu Heenati	MS	MR	MS	R	R

R=resistance, MR=mild resistance, MS=mild susceptible, S=susceptible

ปฏิกิริยาของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ต่อประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร มีระดับความต้านทานจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความต้านทานระดับสูง (R) มีจำนวน 3 สายพันธุ์ คือ A12-11-165-359, A12-26-201-428 และ A12-26-201-436 เทียบเท่ากับพันธุ์มาตรฐานเปรียบเทียบกับ อาบาญา x ข้าวดอกมะลิ 105, CNT1 และ ราตูฮีเนติ กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มที่มีระดับค่อนข้างต้านทาน (MR) มีจำนวน 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย A12-11-170-381, A12-11-171-401 และ A12-11-171-402 เทียบเท่ากับพันธุ์มาตรฐานต้านทานเปรียบเทียบกับ อาบาญา, PTB33, SPR90, RD29 และ PHL2 ส่วนพันธุ์ SPR60 มีระดับค่อนข้างอ่อนแอ ข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ทุกสายพันธุ์มีความ

ต้านทานต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดหลังขาวสูงกว่าพันธุ์มาตรฐานไม่ต้านทาน TN1 ที่มีระดับอ่อนแอ (S)

ปฏิกิริยาของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ต่อประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ มีระดับความต้านทานจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความต้านทานระดับสูง (R) มีจำนวน 3 สายพันธุ์ คือ A12-11-171-401, A12-11-171-402 และ A12-26-201-428 เทียบเท่ากับพันธุ์มาตรฐานเปรียบเทียบกับ ราตูฮีเนติ กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มที่มีระดับค่อนข้างต้านทาน (MR) มีจำนวน 2 สายพันธุ์ ประกอบด้วย A12-11-165-359 และ A12-11-170-381 เทียบเท่ากับพันธุ์มาตรฐานต้านทานเปรียบเทียบกับ CNT1, PTB33 และ PHL2 กลุ่มที่สาม คือ กลุ่มที่มีระดับค่อนข้างอ่อนแอ (MS) มีจำนวน 1 สายพันธุ์ คือ A12-26-201-436 เทียบเท่ากับพันธุ์

มาตรฐานต้านทานเปรียบเทียบ อาบาญา, อาบาญา x ชาวดอกมะลิ 105, RD29, SPR90 และ SPR60 รวมทั้ง TN1

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยรวมระหว่างสายพันธุ์ข้าวกับประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่ต่าง ๆ ด้วยวิธี hierarchical cluster analysis และสร้างเป็นแผนผังความสัมพันธ์ (dendrogram) พบว่าข้าวสายพันธุ์ A12-26-201-428 มีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวได้สูงสุด สูงกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ รวมทั้งพันธุ์มาตรฐานเปรียบเทียบ ทั้ง 10 พันธุ์ ในกลุ่มที่มีระดับความต้านทานที่ต่ำกว่า ข้าวสายพันธุ์ A12-26-201-428 ประกอบด้วย 2 กลุ่มใหญ่ ๆ กลุ่มแรก มีเพียงกลุ่มย่อยเดียว มีสายพันธุ์ A12-26-201-436 เพียงสายพันธุ์เดียวใน

กลุ่มนี้ ระดับความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวเทียบเท่ากับ สายพันธุ์ฟอคือ อาบาญา x ชาวดอกมะลิ 105, อาบาญา, SPR90 และ RD29 กลุ่มที่สอง มี 3 กลุ่มย่อย กลุ่มย่อยแรก มีสายพันธุ์ A12-11-170-381 เพียงสายพันธุ์เดียวในกลุ่มนี้ ระดับความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวเทียบเท่ากับ PTB33 และ PHL2 กลุ่มย่อยที่ 2 ประกอบด้วยข้าว A12-11-171-401 และ A12-11-171-402 เท่านั้น ส่วนกลุ่มย่อยที่ 3 ประกอบด้วยสายพันธุ์ A12-11-165-359 เพียงสายพันธุ์เดียวในกลุ่มนี้ ระดับความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวเทียบเท่ากับพันธุ์แม่คือ CNT1 และราตุฮีเนติ ส่วนพันธุ์ SPR60 และ TN1 นั้นเป็นกลุ่มอ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว (ภาพที่ 1)

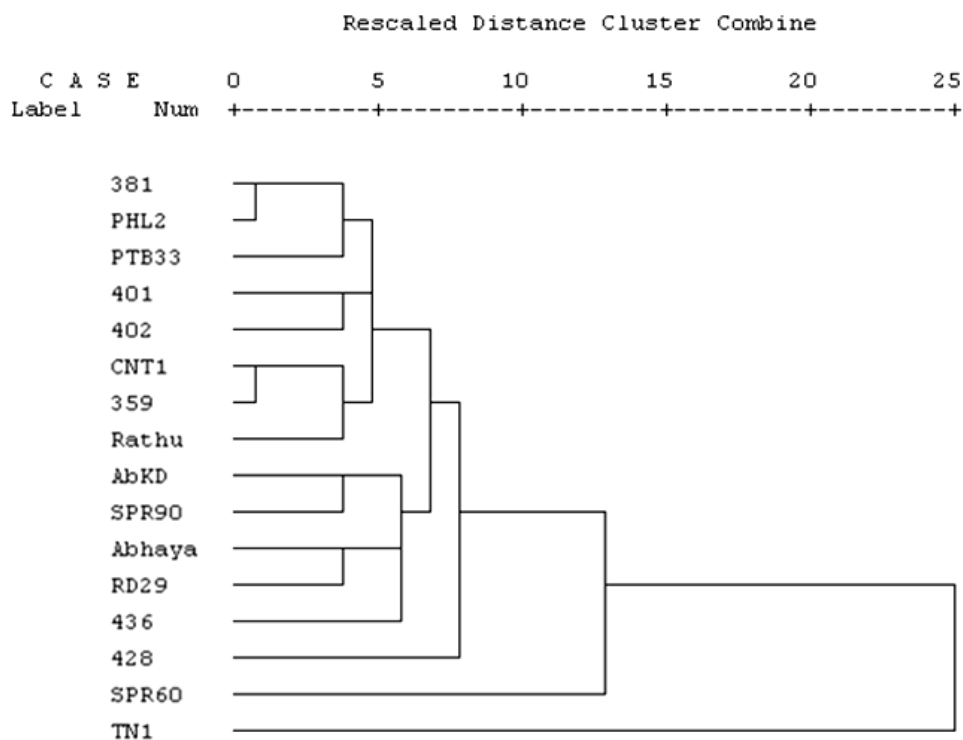


Figure 1. Dendrogram presents the relationship of 6 ((Abhaya/KDML105) x Chai Nat 1) backcross lines A12-11-165-359(359), A12-11-170-381(381), A12-11-171-401(401), A12-11-171-402(402), A12-26-201-428(428), A12-26-201-436(436) and 10 standard rice varieties Abhaya, Abhaya x KDML105 (AbKD), Chai Nat 1 (CNT1), Taichung Native 1 (TN1), PTB33, Suphan Buri 60 (SPR60), Suphan Buri 90 (SPR90), RD29, Phitsanulok 2 (PHL2), Rathu Heenati (Rathu) responded to 6 whitebacked planthopper (WBPH) populations collected from Phitsanulok, Sukhothai, Phichit, Kamphaeng Phet and Nakhon Sawan at 14 days

ตรวจสอบตำแหน่งของลักษณะเชิงปริมาณทางพันธุกรรม (QTL) ของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ (อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105 x ชัยนาท 1)

จากการศึกษาสัดส่วนทางพันธุกรรมของประชากรข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) จำนวน 6 สายพันธุ์เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ CNT1 โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR ทั้งหมด 163 ตำแหน่ง พบว่ามีเครื่องหมายโมเลกุลที่ให้ความแตกต่างระหว่างข้าวพันธุ์ CNT1 และอาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105 (polymorphism) จำนวน 48 ตำแหน่ง โดยการเกิด polymorphism ในแต่ละโครโมโซมเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 28.93 ซึ่งโครโมโซมที่ 3 มีการเกิด polymorphism สูงที่สุดคือร้อยละ 42.85 ส่วนโครโมโซมที่ 7 มีการเกิด polymorphism น้อยที่สุดคือร้อยละ 9.10 (ตารางที่ 2) และจากการคำนวณค่าสัดส่วน

ทางพันธุกรรมข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในสายพันธุ์ที่คัดเลือกไว้ (percent of recurrent parent, %RP) พบว่า อยู่ระหว่าง 84.38-91.67%

การวิเคราะห์ตำแหน่งของลักษณะเชิงปริมาณ (QTL) ของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ (อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105 x ชัยนาท 1) ที่ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวโดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุลกับคะแนนความเสียหายของข้าวที่อายุ 14 วันหลังปล่อยเพลี้ยกระโดดหลังขาวลงทำลาย พบว่ามีเครื่องหมายโมเลกุล 2 ตำแหน่ง คือ RM463 และ RM225 มีความสัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากจังหวัดพิจิตร วางตัวอยู่บนโครโมโซมที่ 6 และ 12 และให้ชื่อว่า *qRmWBPH6* และ *qRmWBPH12* (ตารางที่ 3)

Table 2. Ratio of polymorphic markers between Chai Nat 1 and Abhaya/KDML105

Chromosome number	Numbers of markers	Numbers of polymorphic markers	Numbers of monomorphic markers	Polymorphism (%)
1	14	4	10	28.57
2	16	5	11	31.25
3	14	6	8	42.85
4	16	4	12	25.00
5	13	4	9	30.76
6	16	6	10	37.5
7	11	1	10	9.09
8	14	5	9	35.71
9	12	4	8	33.33
10	12	3	9	25.00
11	12	3	9	25.00
12	13	3	10	23.07

Table 3. Numbers of QTLs based on RM markers/damage score linkage found on chromosome 6 and 12

RGM	QTL	Chr.	Marker	Mean of damage			Effect
				CNT1	Het	Abhaya/KDML105	
PHC	<i>qRmWBPH12</i>	12	RM463	4.20	-	2.67	1.53
	<i>qRmWBPH6</i>	6	RM225	4.20	-	2.67	1.53

วิจารณ์

จากผลการประเมินปฏิกิริยาของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC_4F_{3-4} ทั้ง 6 สายพันธุ์ ร่วมกับพันธุ์ข้าวมาตรฐาน 10 สายพันธุ์กับประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่ 5 จังหวัดในภาคเหนือตอนล่าง พบว่าปฏิกิริยาของข้าวในการตอบสนองต่อการเข้าทำลายของเพลี้ยกระโดดหลังขาวนั้นมีความแตกต่างไปตามแหล่งที่มาของประชากรของเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่ต่าง ๆ อาการใบเหลืองของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีความหลากหลายและชัดเจนเมื่อทำการประเมินที่ 14 วันหลังปล่อยเพลี้ยกระโดดหลังขาวลงทำลาย

ความรุนแรงของปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการเข้าทำลายของข้าวเกิดขึ้นกับประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากจังหวัดพิษณุโลก และพิจิตรมากที่สุด ในขณะที่ปฏิกิริยาการตอบสนองของข้าวต่อประชากรของเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากกำแพงเพชรพบความรุนแรงน้อยที่สุดสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุพร และคณะ (2556) ซึ่งพบว่า ประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากจังหวัดพิษณุโลก มีความรุนแรงในการลงทำลายมากที่สุด รองลงมาคือพิจิตรและสุโขทัย แสดงถึงสภาพของเพลี้ยกระโดดหลังขาวในภาคเหนือตอนล่างว่าปัจจุบันมีความหลากหลาย มีความจำเพาะต่อพื้นที่เช่นเดียวที่พบในกรณีของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (พุมิพงษ์ และคณะ, 2555) และแมลงบัว (วีรเทพ และคณะ, 2557) ในภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งความหลากหลายดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายเหตุปัจจัยทั้งจากพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูก การดูแล และการจัดการของเกษตรกรโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของการใช้สารควบคุมศัตรูพืช (Savary *et al.*, 2012; Tanaka *et al.*, 2000) และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Mackill *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานเพลี้ยกระโดดหลังขาวที่แน่นอนเกี่ยวกับชีวชนิด

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาของข้าวพันธุ์เปรียบเทียบต่าง ๆ พบว่าข้าวพันธุ์ที่แสดงความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวได้ดีมีเพียง 2 พันธุ์เท่านั้น คือ CNT1 และราตุฮีนดี อย่างไรก็ตามความต้านทานที่พบจากข้าวทั้ง 2 พันธุ์จำกัดอยู่เฉพาะประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจาก

พื้นที่ของจังหวัดสุโขทัย นครสวรรค์ และกำแพงเพชรเท่านั้น ส่วนประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกและพิจิตรนั้น ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวได้ลดลง ส่วนพันธุ์ PTB33 ซึ่งต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดีกลับต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวได้น้อยมาก เป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของสุพร และคณะ (2556) ส่วนข้าวพันธุ์ SPR60 นั้น สุพร และคณะ (2556) พบว่า มีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวได้ดีมาก แต่จากการศึกษาทดสอบในครั้งนี้ข้าวพันธุ์ SPR60 มีปฏิกิริยาอ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวอย่างสิ้นเชิง เทียบได้กับข้าวมาตรฐานไม่ต้านทาน TN1

ผลการประเมินปฏิกิริยาของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ กับเพลี้ยกระโดดหลังขาวคือ 14 วันของข้าวลูกผสมกลับ BC_4F_{3-4} ทั้ง 6 สายพันธุ์ พบข้าวที่มีความโดดเด่นมากที่สุดคือ A12-26-201-428 สามารถต้านทานต่อการลงทำลายของประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากกำแพงเพชรและนครสวรรค์ได้ดี ด้านทานปานกลางกับเพลี้ยเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพิษณุโลก พิจิตร และสุโขทัย ตามด้วย A12-11-171-401, A12-11-165-359 และ A12-11-170-381 ด้านทานได้ดีกับประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากสุโขทัย กำแพงเพชร และนครสวรรค์ A12-11-171-402 ด้านทานได้ดีกับประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจาก กำแพงเพชรและนครสวรรค์ ซึ่งข้าวสายพันธุ์ A12-26-201-428 มีคุณสมบัติต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในภาคเหนือตอนล่าง (พุมิพงษ์ และคณะ, 2555) และต้านทานแมลงบัวจากพื้นที่จังหวัดตากได้ดี (วีรเทพ และคณะ, 2557) ข้าวสายพันธุ์ A12-26-201-428 จึงมีความโดดเด่นมากต่อการพัฒนาต่อขยายในอนาคต ในส่วนของปรับปรุงพันธุ์ และแม้ว่าระดับความต้านทานไม่สูงมากนักแต่จากแนวคิดและผลของการศึกษาประสิทธิภาพข้าวต้านทานต่อแมลงศัตรูพืชพบว่าข้าวที่มีลักษณะต้านทานในระดับกลาง มักแสดงความต้านทานต่อแมลงได้ยาวนาน และทนทานได้นานกว่าข้าวที่มีลักษณะความต้านทานในระดับสูงแบบเดี่ยว ๆ (Heinrichs, 1986; Bosque-Perez and Buddenhagen, 1992) ข้าวสายพันธุ์ A12-26-201-428 จึงมีแนวโน้มสามารถพัฒนาสู่การใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการศัตรู

ข้าวได้ในอนาคต ทั้งนี้จากการศึกษาตำแหน่งเชิงปริมาณของยีนที่แสดงความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับโมเลกุลเครื่องหมาย SSR พบว่ายีนดังกล่าวอยู่ใกล้กับโมเลกุลเครื่องหมาย 2 ตำแหน่ง คือ RM463 และ RM225 ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากจังหวัดพิจิตร วางตัวอยู่บนโครโมโซมที่ 6 และ 12 และให้ชื่อ QTLs ว่า *qRmWBPH6* และ *qRmWBPH12* ซึ่งมีแหล่งที่มาจากข้าว CNT1 สอดคล้องกับผลปฏิกิริยาต้านทานเพลี้ยกระโดดหลังขาวของข้าว CNT1 และปฏิกิริยาของสายพันธุ์ผสมกลับ อาบาญา x ข้าวดอกมะลิ 105 กับ CNT1 มีปฏิกิริยาต้านทานที่สูงขึ้นได้ชัดเจนแบบก้าวกระโดดจากสายพันธุ์พ่อ อาบาญา x ข้าวดอกมะลิ 105 และครอบคลุมประชากรของเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่ต่าง ๆ เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของสายพันธุ์ A12-26-201-428 เทียบกับ สายพันธุ์พ่อ และพันธุ์แม่ ที่ 14 วัน

สรุป

ในการศึกษาปฏิกิริยาของ ข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) จำนวน 6 สายพันธุ์ ร่วมกับ พันธุ์ข้าวมาตรฐานทดสอบจำนวน 10 พันธุ์ โดยใช้กลุ่มประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาว ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด คือ สุโขทัย พิษณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร และนครสวรรค์ พบว่าข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) มีปฏิกิริยาต้านทานต่อการเข้าทำลายของกลุ่มประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากพื้นที่ต่าง ๆ ในภาคเหนือตอนล่างแตกต่างกัน สายพันธุ์ข้าวที่มีความโดดเด่นมากที่สุดคือ A12-26-201-428 แสดงปฏิกิริยาต้านทานต่อการลงทำลายของประชากรเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากจังหวัดกำแพงเพชร และนครสวรรค์ได้ดี ต้านทานปานกลางกับเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากจังหวัดพิษณุโลก พิจิตร และสุโขทัย นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุลกับคะแนนความเสียหายของข้าวที่อายุ 14 วันหลังปล่อยเพลี้ยกระโดดหลังขาวลงทำลาย ของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ

BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) พบตำแหน่งของยีนที่แสดงความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวใกล้กับโมเลกุลเครื่องหมาย RM463 และ RM225 ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวจากจังหวัดพิจิตร และให้ชื่อ QTLs ว่า *qRmWBPH6* และ *qRmWBPH12* ซึ่งวางตัวอยู่บนโครโมโซมที่ 6 และ 12 มีแหล่งที่มาจากข้าว CNT1 และได้ทำการคัดเลือกข้าวสายพันธุ์ A12-26-201-428 เพื่อพัฒนาต่อยอดในส่วนของการปรับปรุงพันธุ์ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยนเรศวร หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก และศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยเป็นอย่างดีทั้งในส่วนของ งบประมาณ เครื่องมือ ข้อมูล และอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

- จิรพงศ์ ไกรรินทร์ วราภรณ์ วงศ์บุญ กิจติพงษ์ เพ็ชรรัตน์ สงวน เทียงดีฤทธิ์ พิภูล ลีลาภุด และ กัลยา สานเสน. 2552. การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและมีคุณภาพเมล็ดเหมือนข้าวดอกมะลิ 105 โดยใช้โมเลกุลเครื่องหมาย. หน้า 187-207. ใน: เอกสารประกอบการประชุมข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2552. กรมการข้าว, กรุงเทพฯ.
- พุดพิงษ์ เพ็งฤกษ์ วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ ไสว บุรณพานิช พันธุ์ จิราพร กุลสาริน สุรเดช ปาละวิสุทธิ และเจตน์ ศษฤกษ์. 2555. ปฏิกิริยาของข้าวลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ระหว่าง อาบาญา/ข้าวดอกมะลิ 105) กับ ชัยนาท 1 ต่อประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล. วารสารเกษตร 28(2): 113-123.
- วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ สมชาย ธนสินชัยกุล สุรเดช ปาละวิสุทธิ เจตน์ ศษฤกษ์ และ คณิตา เกิดสุข.

2557. ปฏิกริยาของข้าวลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ ((อาบาญา/ขาวดอกมะลิ 105) x ชัยนาท 1) กับแมลงบัว ในภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย. วารสารเกษตร 30(2): 151-159.
- สุพร กิมขาว วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ ไสว บุรณพานิชพันธุ์ จิราพร กุลสาริน และเยาวลักษณ์ จันทร์บาง. 2556. ปฏิกริยาของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ BC₄F₃₋₄ (ราตูฮีนติ/ขาวดอกมะลิ 105 x ชัยนาท 1) ต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว ในภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย. วารสารเกษตร 29(1): 45-54.
- สุวัฒน์ รวยอารีย์. 2544. ศึกษารูปแบบการจัดการศัตรูข้าวโดยวิธีผสมผสาน. เอกสารวิชาการ. กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สำนวน ฉิมพกา และวีรเทพ พงษ์ประเสริฐ. 2548. ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวของเกษตรกร อำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร. วารสารเกษตรนเรศวร 8(1): 77-94.
- Bosque-Perez, N. A. and I. W. Buddenhagen. 1992. The development of host-plant resistance to insect pests: outlook for the tropics. pp. 235-249. In: S. B. J. Menken, J.H. Visser and P. Harrewijin (eds.). Proceedings of 8th International Symposium on Insect-Plant Relationships. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Heinrichs, E.A. 1986. Prospectives and directions for the continued development of insect-resistant rice varieties. Agriculture, Ecosystems and Environment 18: 9-36.
- IRRI. 2002. Standard Evaluation System for Rice. International Rice Research Institute, Los Baños. 54 p.
- Jena, K.K. and D.J. Mackill. 2008. Molecular markers and their use in marker-assisted selection in rice. Crop Science 48: 1266-1276.
- Khush, G.S. 1984. Breeding for resistance to insects. Journal of Environmental Protection and Ecology 7: 147-165
- Mackill, D.J., A.M. Ismai, A.M. Pamplona, D.L. Sanchez, J.J. Carandang and E.M. Septininghih. 2010. Stress tolerant rice varieties for adaptation to a changing climate. Crop, Environment and Bioinformatics 7: 250-259.
- Renganayaki, K., K.F. Allan, S. Sadasivam, S. Pammi, S.E. Harrington, S.R. McCouch, S. M. Kumar and A.S. Reddy. 2002. Mapping and progress toward map-based cloning of brown planthopper biotype-4 resistance gene introgressed from *Oryza officinalis* into cultivated rice, *O sativa*. Crop Science 42: 2112-2117.
- Savary, S., F. Horgan, L. Willocquet and K.L. Heong. 2012. A review of principles for sustainable pest management in rice. Crop Protection 32: 54-63.
- Tan, G.X., O.M. Weng, X. Ren, Z. Huang, L.L. Zhu and G.C. He. 2004. Two whitebacked planthopper resistance genes in rice share the same loci with those for brown planthopper resistance. Heredity 92: 212-217.
- Tanaka, K., S. Endo and H. Kazano. 2000. Toxicity of insecticides to predators of rice planthopper: spiders, the mirid bug and the dryinid wasp. Applied Entomology and Zoology 35: 177-187.
- Tang, J.Y., J.A. Cheng and G.A. Norton. 1994. An expert system for forecasting the risk of white-backed planthopper attack in the first crop season in China. Crop Protection 13: 463-473.