KHON KAEN AGR. J. 48 (5): 1056-1067 (2020)./doi:10.14456/kaj.2020.95.

การยืนยันลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลันของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 เพื่อพัฒนาสายพันธุ์ข้าวเจ้าหอมทนน้ำท่วมฉับพลัน ต้านทานโรคไหม้ และโรคขอบใบแห้ง

Submergence tolerance validation of F_3 rice lines for developing aromatic rice lines tolerance to submergence and resistance to blast and bacterial blight

ฉันทมาศ เชื้อแก้ว[1], ศรีสวัสดิ์ ขันทอง[2], ธีรยุทธ ตู้จินดา[2] และ สุรีพร เกตุงาม[1*]

Chantamart Chueakaew[1], Srisawat Khanthong[2], Theerayut Toojinda[2] and Sureeporn Kate-ngam[1*]

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ซึ่งได้รับการถ่ายทอดยีน *Sub1* จากฐานพันธุกรรมข้าวเจ้าหอมวาริน จำนวน 25 สายพันธุ์ ซึ่งพัฒนามาจากการผสมระหว่างสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 ซึ่งมี QTLs ต้านทานโรคไหม้บนโครโมโซม 1 และ 11 (*qBl1* และ *qBl11*) และสายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 ซึ่งมียีนต้านทานโรคขอบใบแห้งบนโครโมโซม 5, 11 และ 6 (*xa5, Xa21* และ *xa33*) ซึ่งสายพันธุ์ทั้งสองพัฒนามาจากฐานพันธุกรรมข้าวเจ้าหอมวารินที่มียีน *Sub1* ใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบจดประวัติ และใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือก (marker-assisted selection: MAS) จนได้สายพันธุ์ที่มียีนเป้าหมายในรูปแบบสายพันธุ์แท้จำนวน 25 สายพันธุ์ เครื่องหมาย R10783indel เฉพาะเจาะจงกับยีน *Sub1* ยืนยันว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ดังกล่าวมีแอลลีลของยีน *Sub1* ในรูปแบบสายพันธุ์แท้ ประเมินประสิทธิภาพการใช้เครื่องหมาย R10783indel ช่วยติดตามยีน *Sub1* โดยประเมินความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันในสายพันธุ์ข้าวปรับปรุง F_3 ใช้เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (PPE) เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (PPS) และเปอร์เซ็นต์การฟื้นตัวหลังน้ำลด (PR) เป็นเกณฑ์ในการประเมิน พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 มี PPE, PPS และ PR เฉลี่ยเท่ากับ 27.34, 82.12 และ 90-100 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 (PPE = 28.46, PPS = 80.24, PR = 90-100) สายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 (PPE = 23.85, PPS = 84.43, PR = 90-100) และข้าวพันธุ์ตรวจสอบทนน้ำท่วมฉับพลัน FR13A (PPE = 27.25, PPS = 95.04, PR = 90-100) และ IR57514 (PPE = 24.83, PPS = 96.66, PR = 90-100) แต่แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (PPE = 65.84, PPS = 33.90, PR = 20-39) และ กข6 (PPE = 47.02, PPS = 9.00, PR = 0-19) ซึ่งเป็นพันธุ์

Received May 25, 2020

Accepted September 21, 2020

[1] ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, 34190

[2] ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) คลองหลวง ปทุมธานี 12120

National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Khlong Luang, Pathum Thani, 12120

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

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 5: 1056-1067 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.95.

ตรวจสอบไม่ทนน้ำท่วมฉับพลัน ผลจากการศึกษาครั้งนี้ สามารถยืนยันได้ว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ที่มียีน *Sub1* มีความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลัน และเครื่องหมาย R10783indel สามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยคัดเลือกและติดตามยีน *Sub1* ควบคุมลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลันในข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ
คำสำคัญ: การปรับปรุงพันธุ์ข้าว, ยีน *Sub1*, น้ำท่วมฉับพลัน, การใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือก (MAS)

ABSTRACT: The research was aimed to validate submergence tolerance of F_3 rice lines carrying *Sub1* gene derived from Khao Jao HomWarin (JHW) genetics background. The 25 selected F_3 lines obtained from a cross between UBN14008-858-1 carrying blast resistance QTLs on chromosome 1 and 11 *(qBl1* and *qBl11*) and RGD13215-MS13-MS37-MS68 carrying bacterial blight resistance genes on chromosome 5, 11 and 6 *(xa5, Xa21* and *xa33*). The parental rice lines were derived from JHW and both of them carrying *Sub1* gene. The improved F_3 rice lines were developed through pedigree breeding method and marker-assisted selection (MAS) was performed to select target genotypes underlying traits of interest. R10783indel marker, specific to *Sub1* gene were employed to corroborate that the 25 F_3 rice lines carrying homozygous alleles of *Sub1* gene. Submergence tolerance evaluation of these F_3 rice lines was carried out to validation the efficacy of MAS. The traits responsive to submergence were measured including percentage of plant elongation (PPE), percentage of plant survival (PPS) and percentage of plant recovery (PR). The results showed that average of PPE, PPS and PR of F_3 rice lines were 27.51, 85.26 and 90-100 respectively, which were not significance difference from those of female parent UBN14008-858-1 (PPE = 28.46, PPS = 80.24, PR = 90-100), male parent RGD13215-MS13-MS37-MS68 (PPE = 23.85, PPS = 84.43, PR = 90-100) and submergence tolerance check varieties, FR13A (PPE = 27.25, PPS = 95.04, PR = 90-100) and IR57514 (PPE = 24.83, PPS = 96.66, PR = 90-100). Nevertheless they were significance difference ($P<0.05$) from those of susceptible check varieties, KDML105 (PPE = 65.84, PPS = 33.90, PR = 20-39) and RD6 (PPE = 47.02, PPS = 9.00, PR = 0-19). The results from present study confirmed that the 25 F_3 rice lines tolerance to submergence. R10783indel marker effectively displayed MAS efficacy for submergence tolerance in rice breeding program.
Keyword: rice breeding, *Sub1*, submergence, marker-assisted selection (MAS)

บทนำ

น้ำท่วมฉับพลัน เป็นปัญหาสำคัญของการปลูกข้าวโดยอาศัยน้ำฝนในเอเชียใต้และเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ มีการรายงานความเสียหายของพื้นที่ปลูกข้าว ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำท่วมฉับพลันกว่า 15 ล้านเฮกเตอร์ (Ray, 2018; Susilawati and Setyanto, 2019) น้ำท่วมฉับพลัน (flash flooding หรือ submergence) เป็นสภาวะที่ข้าวได้รับน้ำในปริมาณมากอย่างรวดเร็ว จนเกิดสภาวะน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งเป็นความเครียดที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและรวดเร็วในพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนของประเทศไทย โดยสภาวะน้ำท่วมฉับพลันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 วัน อาจจะมีระดับน้ำท่วมสูง 1-3 เมตร และน้ำจะลดระดับลงภายใน 1-2 สัปดาห์ (Jackson and Ram, 2003; Mackill et al., 2010; Afrin et al., 2018) ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนรวมทั้งประเทศประมาณ 59 ล้านไร่ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 36 ล้านไร่ (คิดเป็นร้อยละ 62) ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) พื้นที่ดังกล่าวมักประสบปัญหาน้ำท่วมจากการกระจายตัวของน้ำฝนที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) โดยก่อให้เกิดสภาวะฝนทิ้งช่วงจนทำให้เกิดสภาพแห้งแล้งหรือฝนตกหนักจนเกิดน้ำท่วมขัง ซึ่งเป็นปัญหาหลักของการปลูกข้าวในพื้นที่ราบลุ่มอาศัยน้ำฝนบริเวณลุ่มแม่น้ำโขง (Toojinda et al., 2005)

การทนน้ำท่วมฉับพลันของข้าวเป็นความสามารถในการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตต่อได้หลังจากที่น้ำลดระดับลงสู่สภาวะปกติ ซึ่งลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลันมีอัตราการถ่ายทอดทางพันธุกรรมสูง (high heritability) ปัจจัยของสภาพแวดล้อมขณะเกิดน้ำท่วมฉับพลันส่งผลต่อการทนน้ำท่วมของข้าว เช่น ระยะเวลาของการเกิดน้ำท่วม ระดับน้ำ อุณหภูมิ ความขุ่นของน้ำ ค่าแสง photon flux density และ ดิน (Jackson and Ram, 2003; Toojinda et al., 2003) ลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลัน ถูกควบคุมด้วยยีน *Submergence-1* (*Sub1*) มีตำแหน่งบนโครโมโซมคู่ที่ 9 ใกล้กับ centromere บริเวณดังกล่าวจะมียีน *Sub1A, Sub1B* และ *Sub1C* เรียงต่อกัน (Fukao et al., 2009) ซึ่งมีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีน transcription factor ในกลุ่ม ethylene responsive factors ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลีน ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการทนทานน้ำท่วมฉับพลันของข้าว ยีน *Sub1A* พบความแตกต่างของแอลลีล 2 แบบ คือ *Sub1A-1* และ *Sub1A-2* โดยแอลลีล *Sub1A-1* เป็นแอลลีลเฉพาะของข้าวทนน้ำท่วมฉับพลัน (tolerance-specific allele) ส่วนแอลลีล *Sub1A-2* เป็นแอลลีลเฉพาะของข้าวไม่ทนน้ำท่วมฉับพลัน (intolerance-specific allele) ส่วนยีน *Sub1B* พบความแตกต่างของแอลลีลทั้งหมด 8 แบบ คือ *Sub1B-1* ถึง *Sub1B-8* (Fukao et al., 2009) จากรายงานการศึกษาของ Xu et al. (2006) พบว่ายีน *Sub1B* ไม่มีผลต่อการทนน้ำท่วมฉับพลันมากนัก และยีน *Sub1C* พบความแตกต่างของแอลลีลทั้งหมด 6 แบบ คือ *Sub1C-1* ถึง *Sub1C-6* พบว่าในข้าวสายพันธุ์ที่ทนน้ำท่วมฉับพลันจะพบแอลลีล *Sub1A-1* และ *Sub1C-1* ไปด้วยกันเสมอ ยีน *Sub1* ทำหน้าที่ยับยั้งการสร้างเอทิลีนของข้าวระหว่างจมน้ำ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการยืดตัวของปล้อง และลดการใช้คาร์โบไฮเดรตที่สะสมในต้นข้าวช่วงน้ำท่วม เพื่ออนุรักษ์พลังงานไว้สำหรับฟื้นตัวหลังจากน้ำลดระดับลง เพราะคาร์โบไฮเดรตที่ถูกสะสมไว้ในต้นข้าวจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลแบบไม่ใช้ออกซิเจน (alcoholic fermentation) เพื่อให้ข้าวมีพลังงานหมุนเวียนสำหรับกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการทนน้ำท่วมฉับพลันของข้าว (Fukao and Bailey-Serres, 2008; Jung et al., 2018)

จากการค้นพบยีน *Sub1* ในข้าว FR13A ซึ่งเป็นข้าวพื้นเมืองไวต่อช่วงแสง ของประเทศอินเดียที่มีความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันได้ ประมาณ 10-14 วัน ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยสภาพแวดล้อม ต่อมา Xu et al. (2006) โคลนยีน *Sub1* ได้สำเร็จ จากนั้นได้มีการพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอที่เฉพาะเจาะจงกับยีน *Sub1* และใช้เป็นเครื่องมือช่วยคัดเลือกในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวทนทานน้ำท่วมฉับพลัน จนประสบความสำเร็จมากมาย เช่น พันธุ์ Swarna-Sub1 (อินเดีย), IR64 (IRRI), Samba (อินเดีย), Mahsuri (อินเดีย) และ TDK1-Sub1 (สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว) เป็นต้น ตัวอย่างความสำเร็จของการพัฒนาข้าวทนน้ำท่วมฉับพลันในประเทศไทย เช่น พันธุ์ กข51 (รับรองพันธุ์โดยกรมการข้าว เมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2556) และพันธุ์หอมชลสิทธิ์ (พัฒนาพันธุ์โดยสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ) เป็นต้น

การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวเพื่อรองรับสภาพวิกฤตมีความจำเป็นสำหรับการปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีการกระจายตัวของน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ และลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลันจัดเป็นหนึ่งในลักษณะเป้าหมายของข้าวสายพันธุ์ใหม่ดังกล่าว สุรีพร และคณะ (2558) ได้พัฒนาข้าวเจ้าหอมสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้จากฐานพันธุกรรมข้าวเจ้าหอมวาริน (UBN14008-858-1) ต่อมาได้มีการต่อยอดงานวิจัยเพื่อพัฒนาสายพันธุ์ข้าวเจ้าหอมทนน้ำท่วมฉับพลัน ต้านทานโรคไหม้ และขอบใบแห้ง โดยใช้ข้าวสายพันธุ์ UBN14008 ซึ่งมี QTLs ต้านทานโรคไหม้บนโครโมโซม 1 และ 11 (*qBl1* และ *qBl11*) เป็นสายพันธุ์แม่ และ ข้าวสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS37-MS68 ซึ่งมียีนต้านทานโรคขอบใบแห้งบนโครโมโซม 5, 11 และ 6 (*xa5, Xa21* และ *xa33*) เป็นสายพันธุ์พ่อ (ฉันทมาศ และคณะ, 2561) ปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีจดประวัติ และใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือกลักษณะเป้าหมายดังกล่าว ได้สายพันธุ์ข้าวปรับปรุง F_3 จำนวน 25 สายพันธุ์ ที่มียีน *Sub1* ในรูปแบบสายพันธุ์แท้ และมียีนต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้งบางตำแหน่งอยู่ในรูปแบบเฮทเทอโรไซกัส การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวเจ้าหอมทนทานน้ำท่วมฉับพลันต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้งนี้ เมื่อได้สายพันธุ์ที่มียีนเป้าหมายในรูปแบบสายพันธุ์แท้ จำเป็นต้องมีการประเมินการแสดงออกของยีนเป้าหมายเพื่อยืนยันความสำเร็จของการพัฒนาข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงดังกล่าว ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ที่มียีน *Sub1* ในรูปแบบสาย

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 5: 1056-1067 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.95.

พันธุ์แท้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ซึ่งได้รับการถ่ายทอดยีน *Sub1* จากฐานพันธุกรรมข้าวเจ้าหอมวาริน เปรียบเทียบกับสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 สายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 และพันธุ์ FR13A และ IR57514 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนทานน้ำท่วมฉับพลัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาข้าวเจ้าหอมสายพันธุ์ปรับปรุง F_3

การพัฒนาข้าวเจ้าหอมสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ดำเนินการโดยใช้ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง UBN14008-858-1 ซึ่งมียีน *Sub1* ทนน้ำท่วมฉับพลัน, *qBl1* และ *qBl11* ต้านทานโรคไหม้ เป็นสายพันธุ์แม่ ผสมกับข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง RGD13215-MS13-MS37-MS68 เป็นสายพันธุ์พ่อ ซึ่งมียีน *Sub1* ทนน้ำท่วมฉับพลัน, *xa5*, *Xa21*, *xa33* ต้านทานโรคขอบใบแห้ง, *badh2* ควบคุมความหอม และ *Wx*^{b}, *SSIIa-TT* ควบคุมปริมาณอะไมโลสต่ำและอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ตามลำดับ ปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีจดประวัติ (pedigree breeding method) ดำเนินการคัดเลือกทรงต้นและการแตกกอ (plant type selection) และใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือกลักษณะเป้าหมายในประชากร F_2 ได้แก่ ลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลัน [*Sub1*; R10783indel (Toojinda et al., 2005)], ต้านทานโรคไหม้ [*qBl1*: RM212 & RM319 และ *qBl11*: RM144 & RM224 (Wongsaprom et al., 2010)], โรคขอบใบแห้ง [*xa5*: PASAxa5 (Korinsak et al., 2014); *Xa21*: PB7-8 (Chunwongse et al., 1993) และ *xa33*: RM5509 & RM7243 (Korinsak et al., 2009)], ความหอม [*badh2*; Aromarker (Jantaboon et al., 2011)], ปริมาณอะไมโลสต่ำ [*Wx*^{b}; Waxy (Ayres et al., 1997)] และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ [*SSIIa*-TT; SNP2340-41 (Katengam et al., 2008)] โดยสามารถคัดเลือกต้น F_2 ที่มียีนควบคุมลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลัน ความหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ในรูปแบบสายพันธุ์แท้ และมียีนควบคุมลักษณะต้านทานโรคไหม้ และลักษณะต้านทานโรคขอบใบแห้ง บางยีนในรูปแบบเฮทเทอโรไซกัส ได้จำนวน 25 ต้น (**Table 1**) โดยต้นที่ผ่านการคัดเลือกเหล่านี้ปล่อยให้ผสมตัวเองสร้างข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 จำนวน 25 สายพันธุ์

การประเมินความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3

การประเมินความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ในรูปแบบสายพันธุ์แท้ของยีน *Sub1* จำนวน 25 สายพันธุ์ ณ บ่อทดสอบน้ำท่วม หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ซึ่งตั้งอยู่ที่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ แปลงย่อยขนาด 75 X 100 เซนติเมตร ปลูกข้าวจำนวน 3 แถวๆ ละ 4 ต้น ระยะปลูก 25 X 25 เซนติเมตร โดยเปรียบเทียบกับสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 สายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 พันธุ์ตรวจสอบทนน้ำท่วมฉับพลัน FR13A และ IR57514 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข6 ซึ่งไม่ทนน้ำท่วมฉับพลัน เมื่อต้นข้าวอายุ 30 วัน ปล่อยน้ำให้ท่วมสูงจากปลายยอดใบข้าวอย่างสมบูรณ์ (complete submergence) โดยรักษาระดับน้ำไว้ประมาณ 30-50 เซนติเมตร เหนือระดับบนของต้นข้าว นานประมาณ 14 วัน หรือจนกว่าพันธุ์ตรวจสอบไม่ทนน้ำท่วมฉับพลันจะตาย จากนั้นปล่อยน้ำออกทำการบันทึกข้อมูลการยืดตัวหลังปล่อยน้ำออก จากนั้นประเมินความสามารถในการรอดชีวิตหลังจากปล่อยน้ำออกจากแปลงแล้ว 7 วัน โดยใช้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต เปอร์เซ็นต์การยืดตัว และเปอร์เซ็นต์การฟื้นตัวหลังน้ำลดเป็นเกณฑ์ในการประเมิน

เปอร์เซ็นต์การยืดตัวภายใต้สภาวะน้ำท่วม (percentage of plant elongation; PPE) คำนวณจากข้อมูลความสูงของต้นข้าวก่อนปล่อยน้ำท่วม และข้อมูลความสูงของต้นข้าวหลังปล่อยน้ำท่วมออก 14 วัน โดยวัดความสูงของต้นข้าวตั้งแต่ระดับพื้นดินจนถึงระดับสูงสุดปลายใบข้าว (Toojinda et al., 2003)

$$PPE = \frac{PH_A - PH_B}{PH_B} \times 100$$

โดยที่ PH_A = ความสูงของต้นข้าวหลังปล่อยน้ำท่วมจากแปลง (Plant height after submerged)

PH_B = ความสูงของต้นข้าวก่อนปล่อยน้ำท่วมจากแปลง (Plant height before submerged)

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (percentage of plant survival; PPS) เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการรอดชีวิตของต้นข้าวหลังจากผ่านสภาวะน้ำท่วมช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยคำนวณจากจำนวนต้นข้าวที่อยู่รอด หลังจากการปล่อยน้ำออกประมาณ 7 วัน ต่อจำนวนต้นข้าวทั้งหมด ระดับการให้คะแนนอยู่ระหว่าง 0-100 เปอร์เซ็นต์ โดย 0 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง ต้นข้าวตายทุกต้น และ 100 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง ต้นข้าวรอดชีวิตทุกต้น (Siangliw et al., 2003)

$$PPS = \frac{NP_A}{NP_B} \times 100$$

โดยที่ NP_A = จำนวนต้นข้าวที่รอดชีวิตทั้งหมด (Number of plants after submerged)

NP_B = จำนวนต้นข้าวทั้งหมดก่อนปล่อยน้ำท่วม (Number of plants before submerged)

เปอร์เซ็นต์การฟื้นตัวหลังน้ำลด (percentage of plant recovery; PR) ประเมินความสามารถในการฟื้นตัวของต้นข้าวหลังจากการปล่อยน้ำออก 7 วัน เกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ คะแนน 1 แสดงว่า ต้นข้าวสามารถฟื้นตัวหลังได้รับสภาพเครียดจากน้ำท่วม 90-100 เปอร์เซ็นต์, คะแนน 3 แสดงว่า ข้าวสามารถฟื้นตัวหลังได้รับสภาพเครียดจากน้ำท่วม 70-89 เปอร์เซ็นต์, คะแนน 5 แสดงว่า ข้าวสามารถฟื้นตัวหลังได้รับสภาพเครียดจากน้ำท่วม 40-69 เปอร์เซ็นต์, คะแนน 7 แสดงว่า ข้าวสามารถฟื้นตัวหลังได้รับสภาพเครียดจากน้ำท่วม 20-39 เปอร์เซ็นต์ และ คะแนน 9 แสดงว่า ข้าวสามารถฟื้นตัวหลังได้รับสภาพเครียดจากน้ำท่วม 0-19 เปอร์เซ็นต์ (IRRI, 2002)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การยืดตัวภายใต้สภาวะน้ำท่วมและเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของข้าวสายพันธุ์ F_3 ด้วยวิธี Pearson moment correlation และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD) Test โดยใช้โปรแกรม STAR-statistical tool for agricultural research (version 2.0.1)

ผลการวิจัย

การประเมินความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3

เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าวภายใต้สภาวะน้ำท่วม (PPE)

ผลการประเมินเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 เปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 และสายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 และข้าวพันธุ์ตรวจสอบ โดยคำนวณจากข้อมูลความสูงของต้นข้าวก่อนปล่อยน้ำท่วม (plant height before submerged; PH_B) และข้อมูลความสูงของต้นข้าวหลังปล่อยน้ำท่วม 14 วัน (plant height after submerged; PH_A) พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ย 27.49 (19.44-36.41) โดยสายพันธุ์ UBN16195-MS7-MS31 มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำสุด 19.44 และสายพันธุ์ UBN16195-MS12-MS66 มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุด 36.41 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 และสายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 และพันธุ์ FR13A และ IR57514 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนน้ำท่วมฉับพลัน ที่มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว 23.87, 23.87, 27.24 และ 24.82 ตามลำดับ (**Table 1**) ขณะที่ข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข6 ซึ่งเป็นพันธุ์ไม่ทนน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงถึง 65.85 และ 47.03 ตามลำดับ (**Table 1, Figure 1**)

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของข้าว (PPS)

ผลการประเมินเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 จำนวน 25 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 และสายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 และ

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 5: 1056-1067 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.95.

ข้าวพันธุ์ตรวจสอบ คำนวณโดยใช้ข้อมูลจำนวนต้นข้าวทั้งหมดก่อนปล่อยน้ำท่วม (number of plants before submerged; NP_B) และจำนวนต้นข้าวที่รอดชีวิตหลังปล่อยน้ำท่วม 14 วัน (number of plants after submerged; NP_A) พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเฉลี่ย 82.12 (59.05-95.47) (**Table 1**) โดยสายพันธุ์ UBN16195-MS8-MS9 มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงสุด 95.47 และสายพันธุ์ UBN16195-MS12-MS72 มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตต่ำสุด 59.05 การรอดชีวิตเฉลี่ยของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของข้าวสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 และสายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 และพันธุ์ FR13A และ IR57514 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนน้ำท่วมฉับพลัน มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต 80.24, 84.43, 95.04 และ 96.66 ตามลำดับ ขณะที่ข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข6 ซึ่งเป็นพันธุ์ไม่ทนน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเพียง 33.52 และ 19.05 ตามลำดับ (**Table 1**, **Figure 1**)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าวภายใต้สภาวะน้ำท่วมและเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของข้าว พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ PPE กับ PPS มีค่าเท่ากับ -0.50** ($P<0.01$)

Table 1 Percentage of plant elongation (PPE), percentage of plant survival (PPS) and percentage of plant recovery (PR) of 25 F_3 rice lines, female parent (UBN14008-858-1), male parent (RGD13215-MS13-MS37-MS68) and check varieties

No.	Lines/varieties	PH_B	PH_A	PPE	NP_B	NP_A	PPS	PR[2/]
1	UBN16195-MS4-MS16	36.67	45.92	25.22	42.00	36.00	85.71	1.00
2	UBN16195-MS4-MS22	35.08	47.08	34.21	60.00	45.00	75.00	1.00
3	UBN16195-MS4-MS39	36.89	47.64	29.14	59.33	41.67	70.23	1.00
4	UBN16195-MS4-MS41	35.83	44.50	24.20	41.00	32.00	78.05	1.00
5	UBN16195-MS5-MS9	35.25	45.58	29.30	49.00	40.00	81.63	1.00
6	UBN16195-MS5-MS17	34.25	43.25	26.28	68.00	58.67	86.28	1.00
7	UBN16195-MS6-MS18	33.75	44.17	30.87	32.00	29.67	92.72	1.00
8	UBN16195-MS7-MS5	36.67	44.50	21.35	61.67	45.00	72.97	1.00
9	UBN16195-MS7-MS14	34.17	43.33	26.81	36.00	33.67	93.53	1.00
10	UBN16195-MS7-MS23	35.92	44.42	23.66	51.33	48.33	94.16	1.00
11	UBN16195-MS7-MS31	36.00	43.00	19.44	37.33	30.00	80.36	1.00
12	UBN16195-MS8-MS8	37.17	47.50	27.79	59.33	42.00	70.79	1.00
13	UBN16195-MS8-MS9	38.25	46.92	22.67	29.33	28.00	95.47	1.00
14	UBN16195-MS8-MS22	34.92	45.25	29.58	58.33	42.00	72.00	1.00
15	UBN16195-MS8-MS53	34.42	43.33	25.89	48.00	44.67	93.06	1.00

Remark: PH_B: plant height before submerged, PH_A: plant height after submerged, NP_B: number of plants before submerged, NP_A: number of plants after submerged, PR: percentage recovery (1 = 90-100%, 3 = 70-89%, 5 = 40-69%, 7 = 20-39%, 9 = 0-19%), ns = non-significant, * significant at 0.05 level, [1/] Mean of the 25 F_3 rice lines, [2/] Data analysis after arcsine transformation

Table 1 Percentage of plant elongation (PPE), percentage of plant survival (PPS) and percentage of plant recovery (PR) of 25 F_3 rice lines, female parent (UBN14008-858-1), male parent (RGD13215-MS13-MS37-MS68) and check varieties (Cont.)

No.	Lines/varieties	PH_B	PH_A	PPE	NP_B	NP_A	PPS	PR[2/]
16	UBN16195-MS10-MS12	32.25	42.42	31.53	35.67	33.00	92.51	1.00
17	UBN16195-MS10-MS18	36.25	45.92	26.68	63.67	38.67	60.74	1.00
18	UBN16195-MS12-MS17	35.00	47.00	34.29	53.33	45.00	84.38	1.00
19	UBN16195-MS12-MS41	37.58	45.67	21.53	45.00	42.67	94.82	1.00
20	UBN16195-MS12-MS45	36.00	48.00	33.33	41.33	38.33	92.74	1.00
21	UBN16195-MS12-MS63	36.42	45.00	23.56	55.00	42.00	76.36	1.00
22	UBN16195-MS12-MS66	34.33	46.83	36.41	63.67	50.00	78.53	1.00
22	UBN16195-MS12-MS67	37.42	47.58	27.15	53.33	47.33	88.75	1.00
24	UBN16195-MS12-MS72	37.67	46.33	22.99	97.67	57.67	59.05	1.00
25	UBN16195-MS12-MS82	33.42	43.33	29.65	81.67	68.00	83.26	1.00
26	FR13A (tolerance check)	37.83	48.14	27.25	40.33	38.33	95.04	1.00
27	IR57514 (tolerance check)	38.83	48.47	24.83	50.00	48.33	96.66	1.00
28	KDML105 (susceptible check)	40.75	67.58	65.84	40.33	13.67	33.90	7.00
29	RD6 (susceptible check)	36.92	54.28	47.02	29.67	2.67	8.93	8.33
30	UBN14008 (female parent)	35.42	45.50	28.46	54.00	43.33	80.24	1.00
31	RGD13215 (male parent)	34.92	43.25	23.85	55.67	47.00	84.43	1.00
	P-value	ns	*	*	*	*	*	*
	LSD (0.05)	-	4.45	13.14	31.46	23.17	19.88	0.33
	Mean[1/]	35.66	45.38	27.34	52.92	42.37	82.12	1.00
	%CV	8.61	5.80	25.92	38.08	36.04	15.38	12.72

Remark: PH_B: plant height before submerged, PH_A: plant height after submerged, NP_B: number of plants before submerged, NP_A: number of plants after submerged, PR: percentage recovery (1 = 90-100%, 3 = 70-89%, 5 = 40-69%, 7 = 20-39%, 9 = 0-19%), ns = non-significant, * significant at 0.05 level, [1/] Mean of the 25 F_3 rice lines, [2/] Data analysis after arcsine transformation

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 5: 1056-1067 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.95.

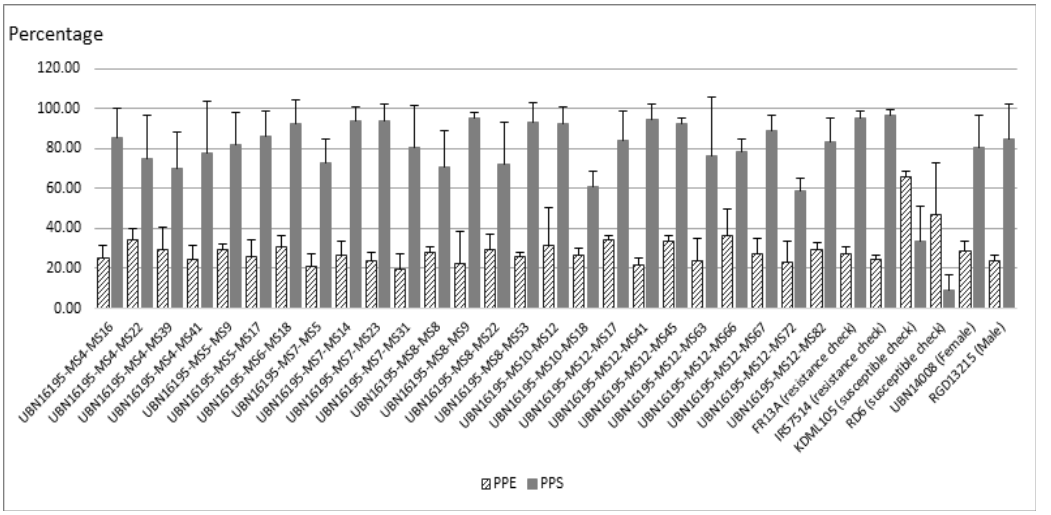

Figure 1 Percentage of plant elongation (PPE) and percentage of plant survival (PPS) of 25 F_3 rice lines comparing to UBN14008-858-1 (female parent), RGD13215-MS13-MS37-MS68 (male parent), FR13A and IR57514 (submergence tolerance check varieties) and KDML105 and RD6 (susceptible check varieties)

เปอร์เซ็นต์การฟื้นตัวของข้าวหลังน้ำลด (PR)

ผลการประเมินคะแนนการฟื้นตัวของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 จำนวน 25 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 และสายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 และข้าวพันธุ์ตรวจสอบ พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ที่มียีน *Sub1* มีคะแนนการฟื้นตัวเฉลี่ย 1.00 คือ ข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวสามารถฟื้นตัวหลังได้รับสภาพเครียดจากน้ำท่วมฉับพลันได้ 90-100 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์แม่ UBN14008-858-1 และสายพันธุ์พ่อ RGD13215-MS13-MS37-MS68 และพันธุ์ FR13A และ IR57514 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนน้ำท่วมฉับพลัน ที่มีคะแนนการฟื้นตัวเท่ากับ 1.00 ขณะที่ข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนการฟื้นตัวของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข6 ซึ่งเป็นพันธุ์ไม่ทนน้ำท่วมฉับพลัน ที่มีคะแนนการฟื้นตัวเท่ากับ 7.00 คือสามารถฟื้นตัวหลังได้รับสภาพเครียดจากน้ำท่วมฉับพลันได้เพียง 20-39 เปอร์เซ็นต์ และคะแนน 8.33 คือสามารถฟื้นตัวหลังได้รับสภาพเครียดจากน้ำท่วมฉับพลันได้เพียง 0-19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการประเมินความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 จำนวน 25 สายพันธุ์ ซึ่งยืนยันว่ามียีน *Sub1* ในรูปแบบสายพันธุ์แท้ โดยใช้เครื่องหมาย R10783indel พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงดังกล่าว แสดงความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าวภายใต้สภาวะน้ำท่วม (PPE) เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของข้าว (PPS) และเปอร์เซ็นต์การฟื้นตัวหลังน้ำลด (PR) เป็นเกณฑ์ในการประเมินลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.34, 82.12, และ 90-100 (ค่าคะแนนเท่ากับ 1.00) ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์พ่อแม่ (ซึ่งพัฒนามาจากฐานพันธุกรรมของข้าวเจ้าหอมวาริน โดยได้รับยีน *Sub1* มาจากข้าวสายพันธุ์ IR57514) และข้าว

พันธุ์ FR13A ซึ่งเป็นข้าวพื้นเมืองประเทศอินเดีย มีลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลัน ยีน *Sub1* ควบคุมลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลันในข้าว (phenotypic variance explained) สูงถึง 69 เปอร์เซ็นต์ (Xu and Mackill, 1996) โดยจะทำหน้าที่ยับยั้งการสร้างเอทิลีน ทำให้ข้าวมีการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของลำต้นน้อยลง และจำกัดการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต เพื่อเก็บรักษาไว้ใช้เป็นพลังงานฟื้นตัวหลังน้ำลด ดังนั้น ข้าวทนน้ำท่วมฉับพลัน (tolerance lowland rice) จึงสามารถรอดชีวิตและฟื้นตัวได้ดีหลังน้ำลด (Fukao and Bailey-Serres, 2008) ขณะที่ข้าวไม่ทนน้ำท่วม (intolerance lowland rice) จะพยายามยืดตัวขึ้นเหนือน้ำเพื่อสังเคราะห์แสงและแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนกับอากาศ ส่งผลให้เกิดการใช้คาร์โบไฮเดรตที่สะสมในลำต้นหมดไปก่อนที่จะยืดตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ ทำให้เกิดการตายของข้าวภายใต้สภาวะน้ำท่วมฉับพลัน อย่างไรก็ตาม พบว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 มีความผันแปรของเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (59.05-95.47) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวหลังจากน้ำลด (19.44-36.41) ทั้งนี้เป็นผลมาจากลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลันนอกจากถูกควบคุมด้วยยีนหลัก *Sub1* บนโครโมโซมที่ 9 แล้ว ยังพบว่ามี minor QTLs บนโครโมโซมที่ 1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11 และ 12 (Siangliw et al., 2003; Toojinda et al., 2003) ซึ่งมีผลต่อลักษณะดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ความขุ่นของน้ำ และความเข้มของแสง เป็นต้น ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวหลังจากน้ำลด (Xu and Mackill, 1996; Siangliw et al., 2003)

จากการศึกษาของวินิตชาญ และคณะ (2553) พบว่าข้าวสายพันธุ์คู่แฝดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มียีน *Sub1* (KDML105 plus *Sub1* region) มีการยืดตัว ดัชนีความเขียวใบ และเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่มียีน *Sub1* จากการตรวจสอบการแสดงออกของยีนด้วยอะเร (57K affymetrix) พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มียีน *Sub1* มีการแสดงออกของยีนในขบวนการสลายคาร์โบไฮเดรตลดลง ซึ่งแปรผกผันกับการแสดงออกของยีนในขบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้งของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีการแสดงออกสูงถึง 6-7 เท่า

ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Toojinda et al. (2005) ที่ปรับปรุงพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ทนน้ำท่วมฉับพลัน ใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบผสมกลับ และได้รับการถ่ายทอดยีน *Sub1* มาจากข้าว FR13A พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงแสดงความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันโดยมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเฉลี่ยเท่ากับ 80.91 เช่นเดียวกับการศึกษาของ ศรีสวัสดิ์ และคณะ (2555) พบว่าข้าวสายปรับปรุง F_3 [จากคู่ผสมระหว่าง Jasmine IR57514 (BC_3F_3) ที่มียีน *Sub1* กับข้าวสายพันธุ์ RD6-Blast (BC_4F_3)] มีความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันได้ดี โดยมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต เฉลี่ยเท่ากับ 63.77 เปรียบเทียบกับพันธุ์ กข6 ที่ไม่มียีน *Sub1* มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเพียง 8.10 และสอดคล้องกับการศึกษาของ ลดารัตน์ และคณะ (2560) พบว่าข้าวเจ้าหอมสายพันธุ์ปรับปรุง BC_2F_3 ที่มียีน *Sub1* จากฐานพันธุกรรมข้าวเจ้าหอมวารินมีความสามารถในการทนน้ำท่วมฉับพลันได้เป็นอย่างดี โดยมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต เปอร์เซ็นต์การยืดตัว และการฟื้นตัวของข้าวหลังน้ำลด เฉลี่ยเท่ากับ 79.12, 17.22 และ 70.89 (ค่าคะแนนเท่ากับ 3.26) ตามลำดับ

จากผลการศึกษา พบว่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าวภายใต้สภาวะน้ำท่วม (PPE) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้าม (r = -0.50**) กับเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของข้าว (PR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงจะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำ (**Figure 1**) สอดคล้องกับรายงานของ Toojinda et al. (2003) และ Siangliw et al. (2003) พบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของข้าวที่มียีน *Sub1* จะแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าวหลังน้ำท่วม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.57** และ -0.46** ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากการทำงานของยีน *Sub1* บนโครโมโซมคู่ที่ 9 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการลดการยืดตัว การรอดชีวิต และการฟื้นตัวของข้าวภายใต้สภาวะน้ำท่วม การศึกษาครั้งนี้สามารถยืนยันได้ว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ที่มียีน *Sub1* จากฐานพันธุกรรมข้าวเจ้าหอมวารินมีความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันได้เป็นอย่างดี ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงเหล่านี้จะนำไปปลูกขยายเมล็ดพันธุ์เพื่อใช้ในการประเมินความสามารถต้านทานโรคไหม้ และโรคขอบใบแห้งต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง F_3 ที่มียีน *Sub1* ในรูปแบบสายพันธุ์แท้ จำนวน 25 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงดังกล่าวมีความสามารถทนน้ำท่วมฉับพลันได้ดี ข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูง ซึ่งสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การฟื้นตัวของข้าวหลังน้ำลด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สัญญารับทุน เลขที่ TG-22-24-59-025M โครงการยกระดับสมรรถนะนักวิจัยไทยเพื่อสร้างขีดความสามารถในการแข่งขัน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

ฉันทมาศ เชื้อแก้ว ศักดา คงสีลา ศิริพร กออินทรศักดิ์ ธีรยุทธ ตู้จินดา และสุรีพร เกตุงาม. 2561. การประเมินความต้านทานโรคขอบใบแห้งและการตรวจสอบเครื่องหมายโมเลกุลช่วยคัดเลือกยีน *xa5*, *Xa21* และ *xa33* ในสายพันธุ์พ่อแม่เพื่อพัฒนาสายพันธุ์ข้าวเจ้าหอมต้านทานโรคขอบใบแห้ง. ใน การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 5 วันที่ 23–24 พฤษภาคม 2561 ณ โรงแรมเซ็นทราศูนย์ราชการและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ แจ้งวัฒนะ กรุงเทพฯ. 72.

ลดารัตน์ ทันที ศักดา คงสีลา ธีรยุทธ ตู้จินดา อุไรวรรณ คชสถิตย์ และ สุรีพร เกตุงาม. 2560. การประเมินลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลันเบื้องต้นในข้าวเจ้าหอมสายพันธุ์ปรับปรุง BC_2F_3 ที่มียีน *Sub1*. แก่นเกษตร. 45: 1105-1111.

วินิตชาญ รื่นใจชน สมวงษ์ ตระกูลรุ่ง และ อภิชาติ วรรณวิจิตร. 2553. ผลของการทำงานของยีนที่ควบคุมลักษณะทนน้ำท่วมบริเวณ *Sub1* ที่มีต่อยีนทั้งจีโนมภายใต้สภาวะน้ำท่วมฉับพลันด้วยเทคนิคดีเอ็นอะเร. ใน การประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งปฐมฤกษ์ วันที่ 15–17 ธันวาคม 2553. ณ อาคารสารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ. 9.

ศรีสวัสดิ์ ขันทอง ธีรยุทธ ตู้จินดา และ สุรีพร เกตุงาม. 2555. การใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยในการรวมยีนต้านทานโรคไหม้เข้าสู่ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง IR57514: การประเมินลักษณะทนน้ำท่วมเบื้องต้นของประชากร F_3. แก่นเกษตร. 40: 417-423.

สุรีพร เกตุงาม จิรพงศ์ ใจรินทร์ วชิราพรรณ บุญญา พุทธิพงศ์ สุกัญญา คลังสินศิริกุล และอุไรวรรณ คชสถิตย์. 2558. การพัฒนาสายพันธุ์ข้าว Jasmine IR57514 ให้ต้านทานโรคไหม้และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก. อุบลราชธานี, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร ข้าวนาปี: เนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ รายจังหวัดแยกตามพันธุ์ ปีเพาะปลูก 2560/61. http://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวนาปี/TH-TH. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2562.

Afrin, W., M. H. Nafis, M. A. Hossain, M.M. Islam, and M.A. Hossain. 2018. Responses of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to different levels of submergence. C. R. Biol. 341: 85–96.

Ayres, N. M., A. M. McClung, P. D. Larkin, H. F. J. Bligh, C. A. Jones, and W. D. Park. 1997. Microsatellites and a single-nucleotide polymorphism differentiate apparent amylose classes in an extended pedigree of US rice germ plasm. Theor Appl Genet. 94: 773-781.

Chunwonges, J., G.B. Martin, and S.D. Tanksley. 1993. Pre-germination genotypic screening using PCR amplification of half-seeds. Theor Appl Genet. 86: 694-8. DOI: 10.1007/BF00222658.

Fukao, T., and J. Bailey-Serres. 2008. Ethylene - a key regulator of submergence responses in rice. J. Plant Sci. 175: 43–51.

Fukao, T., T. Harris, and J. Bailey-Serres. 2009. Evolutionary analysis of the *Sub1* gene cluster that confers submergence tolerance to domesticated rice. Ann. Bot. 103: 143–150.

IRRI. 2002. Standard evaluation system for rice. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.

Jackson, M. B., and P. C. Ram. 2003. Physiological and molecular basic of susceptibility and tolerance of rice plants to complete submergence. Ann. Bot. 91: 227-214.

Jantaboon, J., M. Siangliw, S. Im-mark, W. Jamboonsri, A. Vanavichit, and T. Toojinda. 2011. Ideotype breeding for submergence tolerance and cooking quality by marker-assisted selection in rice. Field Crop Res. 123: 206-213.

Jung, K.H., Y.S. Seo, H. Walia, P. Cao, T. Fukao, P. E. Canlas, L. Kaushal K. Ulaganathan, V. Shenoy, and S. M. Balachandran. 2018. Geno-and phenotyping of submergence tolerance and elongated uppermost internode traits in doubled haploids of rice. Euphytica. 214. https://doi.org/10.1007/s10681-018-2305-1.

Kate-ngam, S., W. Kimchaiyong, S. Wanchana, and T. Toojinda. 2008. Association analysis and functional marker development of *soluble starch synthaseIIa* (*SSIIa*) and gelatinization properties in Thai rice. In Proceeding of the 5th International Crop Science Congress & exhibition: Recognizing Past Achievements, Meeting Future Needs. April 13-18, 2008. International Convention Center, Jeju, Korea. 1-4.

Korinsak, S., P. Sirithanya, and T. Toojinda. 2009. Identification of SSR markers linked to a bacterial blight resistance gene in rice cultivar 'Pin Kaset'. KKU Res J. 9: 16–21.

Korinsak, S., P. Sirithanya, and T. Toojinda. 2014. Identifying a source of a bacterial blight resistance gene *xa5* in rice variety 'IR62266' and development of a functional marker 'PAxa5', the easy agarose based ditection. Thai J. Genet. 2014. 7: 164-172.

Mackill, D. J., A. M. Ismail, A. M. Pamplona, D. L. Sanchez, J. J. Carandang, and E. M. Septiningsih. 2010. Stress tolerance rice varieties for adaptation to a changing climate, Crop envi. bioinfor. 7: 250-259.

Ray, B.P. 2018, Genetic analysis and development of submergence tolerance rice (*Oryza sativa* L.) lines through MAS, IJCAM. 1: 244-249.

Siangliw M., T. Toojinda, S. Tragoonrung, and A. Vanavichit. 2003. Thai Jasmine rice carrying QTLch9 (*SubQTL*) is Submergence tolerance. Ann. Bot. 91: 255-261.

Susilawati, H.L., and P. Setyanto. 2019. Climate change adaptation and mitigation strategy through submergence tolerance in rice. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 250. doi: 10.1088/1755-1315/250/1/012030.

Toojinda, T., M. Siangliw, S. Tragoonrung, and A. Vanavichit. 2003. Molecular genetics of submergence tolerance in rice: QTL analysis of key traits. Ann. Bot. 91: 243-253.

Toojinda, T., S. Tragoonrung, A. Vanavichit, J. L. Siangliw, N. Pa-tn, J. Jantaboon, M. Siangliw, and S. Fukai. 2005. Molecular breeding for rainfed lowland rice in the Mekong region. Plant Prod. Sci. 8: 330-333.

Xu, K., and J. D. Mackill. 1996. A major locus for submergence tolerance mapped on rice chromosome 9. Mol. Breed. 2: 219-224.

Xu, K., X. Xu, T. Fukao, P. Canlas, R. M. Rodriguez, S. Heuer, A. M. Ismail, J. B. Serres, P. C. Ronald, and D. J. Mackill. 2006. *Sub1A* is an ethylene response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice. Nature. 442: 705-708.