

**พันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงในข้าวพันธุ์ดีเด่นบางพันธุ์
ของประเทศไทย**
Genetics of Photoperiod Sensitivity in Some Elite Cultivars of Rice (*Oryza sativa* L.)
in Thailand

ธีรภัทร์ ธรรมไชยงกูร¹ และธีรวัฒน์ ศรุตโยภาส¹

บทคัดย่อ

ศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงในข้าวพันธุ์ดีเด่นของประเทศไทยจำนวน 4 พันธุ์ โดยการผสมระหว่างพันธุ์ที่ตอบสนองต่อช่วงแสง หรือพันธุ์ไวแสง คือ ข้าวดอกมะลิ 105 กับพันธุ์ไม่ไวแสง 3 พันธุ์ คือ สุพรรณบุรี 1 หอมนิล และ กข 21 แล้วนำลูกผสมชั่วที่ 2 และพันธุ์พ่อ – แม่ ไปปลูกในสภาพวันยาว (ก.พ. – ก.ค. 2553) ที่แปลงทดลองของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ตรวจสอบการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 และทดสอบสัดส่วนระหว่างต้นไม่ไวแสง : ต้นไวแสง ใช้ไคสแควร์ (chi-square; χ^2) เป็นค่าสถิติในการทดสอบ โดยลูกผสมชั่วที่ 2 ต้นใดออกดอกในสภาพวันยาวแสดงว่าไม่ไวแสง ส่วนต้นที่ไม่ออกดอกแสดงว่าไวแสง ผลการทดลองพบว่าลูกผสมชั่วที่ 2 ของคู่ผสมข้าวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1 มีต้นออกดอก 70 ต้น ไม่ออกดอก 107 ต้น สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม่ไวแสง : จำนวนต้นไวแสงเป็น 7 : 9 แสดงว่ามียีนหลัก 2 ยีนซึ่งควบคุมการไวแสงในข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ซ้ำยีนควบคุมการไม่ไวแสงในพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และยีนซ้ำ 2 ตำแหน่งนี้มีปฏิกริยาซ้ำข้ามตำแหน่งด้วย (epistasis) ส่วนลูกผสมชั่วที่ 2 ของคู่ผสมข้าวดอกมะลิ 105 × หอมนิล และข้าวดอกมะลิ 105 × กข 21 พบว่ามีจำนวนต้นออกดอก 128 และ 120 ต้น และต้นไม่ออกดอก 30 และ 53 ต้น ตามลำดับ สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม่ไวแสง : จำนวนต้นไวแสงเป็น 3: 1 ทั้ง 2 คู่ผสม แสดงว่าข้าวพันธุ์หอมนิล และ กข 21 มียีนหลัก 1 ยีน ซึ่งควบคุมการไม่ไวแสงซ่มสมบูรณ์ (complete dominant) ต่อยีนไวแสงในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 การที่ผลการทดลองที่ได้จาก 2 คู่ผสมนี้แตกต่างจากคู่ผสมแรก อาจเป็นเพราะว่าข้าวพันธุ์หอมนิล และ กข 21 มียีนขัดขวาง (inhibitor allele) การแสดงผลของยีนหลัก 2 ยีน ซึ่งควบคุมการไวแสงที่มีอยู่ในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทำให้ยีนหลัก 2 ยีน ซึ่งเป็นยีนเด่นควบคุมการไวแสงในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่สามารถแสดงผลออกมาได้ ทำให้ลูกผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × หอมนิล และข้าวดอกมะลิ 105 × กข 21 แสดงลักษณะการไม่ไวแสงซ่มการไวแสง

คำสำคัญ : ข้าวพันธุ์ดีเด่น พันธุ์ไวแสง – ไม่ไวแสง พันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วง

Abstract

Genetics of photoperiod sensitivity in 4 elite cultivars of Thai rice were studied. KDML 105, a photoperiod – sensitive cultivar was used as a female parent in crossing with 3 photoperiod – insensitive cultivars including Suphanburi 1, Homnil and RD 21. Three segregated F_2 populations and their parents were grown under long-day condition (Feb – Jul, 2010) at the experimental field of the Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. The numbers of heading (photoperiod – insensitive) and non – heading (photoperiod – sensitive) F_2 – plants of each population were recorded, and Chi – square (χ^2) was used

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

as a test statistic for the proportion of the number of heading : non – heading. The results showed that the photoperiod – insensitive and photoperiod – sensitive in the F_2 of KDML 105 × Suphanburi 1 was 70 and 107 plants , fitting to the expected ratio of 7 : 9, indicating that the KDML 105 carried 2 major dominant photoperiod – sensitive alleles and these 2 major genes also expressed interallelic interaction. The segregation in F_2 populations of KDML 105 × Homnil, and KDML 105 × RD 21 were 128 : 30 and 120 : 53 plants, respectively, supporting a segregation ratio of 3 : 1, indicating that the Homnil and RD 21 carried 1 major dominant photoperiod – insensitive allele. The results found in these 2 crosses were contrasted to the first cross, suggesting that the Homnil and RD 21 also carried an inhibitor allele to the 2 major dominant photoperiod – sensitive alleles in the KDML 105.

Keyword : elite rice cultivar, photoperiod sensitive – insensitive variety, genetics of photoperiod – sensitivity

คำนำ

ช่วงแสง (photoperiod) มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายรูปแบบ แต่ผลของช่วงแสงต่อข้าวที่สำคัญคือ ผลต่อการออกดอก ซึ่งอาจแบ่งพันธุ์ข้าวตามการตอบสนองต่อช่วงแสงออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มพันธุ์ข้าวที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง ข้าวกลุ่มนี้มีอายุออกดอกตามกำหนดเวลาที่ค่อนข้างแน่นอนไม่ขึ้นกับช่วงแสงหรือฤดูกาลจึงสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี อีกกลุ่มคือ พันธุ์ที่ตอบสนองต่อช่วงแสงหรือพันธุ์ไวแสง ข้าวกลุ่มนี้ปลูกได้เฉพาะในบางฤดูกาลเท่านั้น โดยระดับการตอบสนองต่อช่วงแสง (degree of sensitivity) ของข้าวในกลุ่มนี้มีความหลากหลายมาก (Cervantes, 1985; Liang and Lui, 1983) ข้าวพันธุ์พื้นเมืองในแหล่งปลูกต่างๆ ส่วนใหญ่ ตอบสนองต่อช่วงแสงในลักษณะที่เป็นพืชวันสั้น (short-day plant) พันธุ์เหล่านี้เมื่อทำการปลูกในสภาพวันยาว อายุการออกดอกจะช้ากว่าอายุออกดอกปกติ ในบางพันธุ์อายุการออกดอกจะยืดออกไปมาก แต่ในบางพันธุ์อายุการออกดอกจะยืดออกไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หรือในบางพันธุ์อาจไม่มีการออกดอก โดยทั่วไปแล้วข้าวพันธุ์ไวแสงจะต้องได้รับช่วงแสงสั้นกว่าช่วงแสงวิกฤติ (critical day length) ของแต่ละพันธุ์เป็นระยะเวลาหนึ่งทีแน่นอน ข้าวพันธุ์ไวแสงเหล่านี้จึงจะเริ่มการสร้างช่อดอก (floral initiation) และมีกำหนดวันออกดอกที่แน่นอน เช่น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปลูกในประเทศไทยออกดอกประมาณวันที่ 24 – 25 ตุลาคม กข 6 วันที่ 20 – 21 ตุลาคม พลายงามปราจีน วันที่ 24 – 25 พฤศจิกายน เป็นต้น (วัชร, 2539) อายุการออกดอกของข้าวเป็นลักษณะที่ซับซ้อนขึ้นกับพันธุกรรม สภาพแวดล้อม และปฏิกริยาระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม Monton (1987) รายงานว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับอายุการออกดอกของข้าวมีด้วยกันอย่างน้อย 3 กลุ่มประกอบด้วย 1) ยีนควบคุมการเจริญเติบโตทางลำต้น (genetics of basic vegetative phase) 2) ยีนควบคุมการตอบสนองต่อช่วงแสง (genetics of photoperiod sensitivity) และ 3) ยีนควบคุมช่วงแสงวิกฤติ (genetics of critical daylength) โดยปฏิกริยาของยีนแต่ละยีนต่ออายุการออกดอกของข้าวแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน ยีนบางตำแหน่งอาจเป็นยีนหลัก (major gene) ควบคุมการออกดอกของข้าวบางพันธุ์แต่อาจเป็นเพียงยีนเสริม (modifying gene) ในการควบคุมการออกดอกของข้าวพันธุ์อื่น นักวิจัยหลายกลุ่มรายงานว่าการตอบสนองต่อช่วงแสงในข้าวพันธุ์ต่างๆ ถูกควบคุมด้วยยีนน้อยคู่ (Chandraratna, 1955; Poonyarit *et al.*, 1986; Okumoto *et al.*, 1996; Lou *et al.*, 2001; Tsai, 2010; สุพรรณษา และคณะ, 2552) แต่ก็มีนักวิจัยบางส่วนรายงานว่าการตอบสนองต่อช่วงแสงของข้าวถูกควบคุมด้วยยีนหลายยีน (Chandraratna, 1964) ขณะที่นักวิจัยหลายกลุ่มรายงานว่าการไวแสงข่มการไม่ไวแสง (Poonyarit *et al.*, 1989; Okumoto *et al.*, 1996; Lou *et al.*, 2001, 2003) แต่ก็มีนักวิจัยบางกลุ่มรายงานผลตรงข้ามกันคือรายงานว่าการไม่ไวแสงข่มการไวแสง (Kuriyama, 1965; Sampath and Seshu, 1961) ขณะที่ Li (1981) ศึกษาการถ่ายทอดพันธุกรรมควบคุมการตอบสนองต่อช่วงแสงของข้าวที่ปลูกในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนจำนวนหลายพันธุ์ และรายงานไว้ในบางคู่ผสมการไวแสงข่มการไม่ไวแสง แต่ในบางคู่ผสมพบว่าการไวแสงถูกข่มโดยการไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวแสง ประภา และคณะ (2539) รายงานว่าสามารถชักนำพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ให้เกิด somaclonal variation ในหลอดทดลอง และสามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงได้ (photoperiod insensitive R_2/R_2 lines)

การศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะการออกดอกในข้าวพันธุ์ดีเด่นจะช่วยในการวางแผนปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต เนื่องจากข้าวพันธุ์ดีเด่นในอนาคตจะต้องเป็นพันธุ์ที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงเพื่อให้สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ขณะเดียวกันข้าวพันธุ์เหล่านี้ควรจะมีลักษณะดีบางประการที่ได้รับการถ่ายทอดมาจากพันธุ์ที่ตอบสนองต่อช่วงแสง การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงในข้าวพันธุ์ดีเด่นบางพันธุ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูล สำหรับวางแผนการปรับปรุงพันธุ์ข้าวของประเทศไทยในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พืชทดลอง

ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 สุพรรณบุรี 1 หอมนิล และ กข 21

2. อุปกรณ์

2.1.1 กระจกขนาด 14 นิ้ว

2.1.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมเกสร ประกอบด้วย กรรไกร ปากคีบ แวนขยายแบบสวมหัว กระจกแก้ว คลิปหนีบกระดาษ และจานทดลอง

2.1.3 อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ตู้ควบคุมการเจริญเติบโต ตู้อบ เวย์ร์เนียร์คาลิเปอร์ และแผ่นป้ายชื่อ

3. การผสมพันธุ์เพื่อผลิตลูกผสมชั่วที่ 1 (ก.ย. – ธ.ค. 2551)

ปลูกข้าวพันธุ์ที่กำหนดให้เป็นพันธุ์พ่อ – แม่ จำนวน 4 พันธุ์ ดังนี้ 1) พันธุ์แม่ คือ ชาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อช่วงแสง 2) พันธุ์พ่อ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงประกอบด้วย สุพรรณบุรี 1 หอมนิล และ กข 21 โดยกำหนดวันปลูกให้พันธุ์พ่อ – แม่ ออกดอกพร้อมๆ กัน นอกจากนี้ได้ปลูกพันธุ์พ่อกำหนดจำนวน 4 รุ่น แต่ละรุ่นห่างกันประมาณ 5 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อพันธุ์แม่พร้อมรับการผสมจะมีละอองเกสรจากพันธุ์พ่อเพื่อการผสมอย่างเพียงพอ ทั้งนี้ก่อนปลูกได้นำเมล็ดพันธุ์แช่น้ำประมาณ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บไว้ในที่มีแสงสลัวเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปหว่านเพาะ เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 25 วัน จึงคัดเลือกต้นกล้าที่แข็งแรงมีขนาดสม่ำเสมอย้ายลงปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นิ้ว โดยการปักดำจำนวน 5 กอต่อกระถาง ใช้ต้นกล้าจำนวน 1 ต้นต่อกอ ใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งแรกใช้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 1.25 กรัมต่อกระถาง (25 กก./ไร่) หลังย้ายกล้า 1 สัปดาห์ ครั้งที่ 2 ที่อายุ 4 สัปดาห์หลังการย้ายกล้าใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 0.5 กรัมต่อกระถาง (10 กก./ไร่) เมื่อข้าวพันธุ์พ่อ – แม่ ออกดอก ได้ทำการผสมพันธุ์สร้างลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1 -hybrid) จำนวน 3 คู่ผสม ประกอบด้วย

1. ชาวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1 ผสมได้เมล็ดลูกผสม (F_1 – hybrid seed) จำนวน 23 เมล็ด

2. ชาวดอกมะลิ 105 × หอมนิล ผสมได้เมล็ดลูกผสมจำนวน 16 เมล็ด

3. ชาวดอกมะลิ 105 × กข 21 ผสมได้เมล็ดลูกผสมจำนวน 16 เมล็ด

4. การตรวจสอบการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 1 และผลิตเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 2 (ส.ค. – ธ.ค. 2552)

นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 3 คู่ผสม (ชาวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1, ชาวดอกมะลิ 105 × กข 21 และชาวดอกมะลิ 105 × หอมนิล) และพันธุ์พ่อ – แม่ มาเพาะใน Petri-dishes โดยวางเมล็ดบนกระดาษกรองชุบน้ำจนชุ่ม แล้วนำไปวางในตู้ควบคุมการเจริญเติบโต (growth chamber) อุณหภูมิ 25 – 28 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 วัน แล้วย้ายต้นอ่อนที่สมบูรณ์ลงปลูกในถาดเพาะเมล็ดที่บรรจุดินผสมจำนวน 1 ต้นต่อหลุม ปฏิบัติดูแลรักษาต้นกล้าจนอายุประมาณ 4 สัปดาห์ จึงย้ายลงปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นิ้วโดยแต่ละกระถางปักดำต้นพ่อ – แม่ และลูกผสมชั่วที่ 1 อย่างละ 1 ต้น ใส่ปุ๋ย 3 ครั้งคือ ครั้งที่ 1 เมื่อข้าวมีอายุ 2 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 2 กรัมต่อกระถาง (40 กก./ไร่) ครั้งที่ 2 เมื่อข้าวมีอายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรัมต่อกระถาง (10 กก./ไร่) ครั้งที่ 3 เมื่อข้าวมีอายุ 6 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 0.5 กรัมต่อกระถาง (10 กก./ไร่) ฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดหนอนกอ จำนวน 2 ครั้ง หลังย้ายปลูก 2 และ 5 สัปดาห์ เก็บเกี่ยวเมล็ดหลังระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาประมาณ 5-7 วันโดยเก็บเมล็ดแยกเป็นรายต้น ซึ่งการปลูกลูกผสมชั่วที่ 1 ในครั้งนี้เป็นการปลูกในสภาพมีช่วงแสงน้อยกว่า 12 ชั่วโมง/วัน (ฤดูนาปี) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อผลิตเมล็ดชั่วที่ 2 สำหรับการศึกษารูปร่างของลูกผสมชั่วที่ 1 และพันธุ์พ่อ - แม่ ไว้ เพื่อใช้ประกอบการศึกษารูปร่างของลูกผสมชั่วที่ 2 ในฤดูถัดไป

5. การตรวจสอบการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 (ก.พ. - ก.ค. 2553)

ตรวจสอบการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 เปรียบเทียบกับพันธุ์พ่อ - แม่ เพื่อศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสง โดยการปลูกทดสอบในสภาพวันยาวหรือนอกฤดูฝนคือ ปลูกทดสอบระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - กรกฎาคม 2553 โดยการสุ่มเมล็ดจากพันธุ์พ่อ - แม่ฝ่ายละ 100 เมล็ด และเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 2 จำนวน 300 เมล็ด/คู่ผสม นำเมล็ดพันธุ์ไปแช่น้ำประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำขึ้นมาหุ้มในที่มืดเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปปลูกในแปลงเพาะกล้า เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 4 สัปดาห์ คัดเลือกต้นพ่อ-แม่ และลูกผสมชั่วที่ 2 ที่มีลักษณะแข็งแรงสมบูรณ์ ย้ายลงปักดำในแปลงนาจำนวน 50, 50 และ 200 ต้นต่อคู่ผสม ตามลำดับ โดยปักดำจำนวน 1 ต้น/กอ ระยะระหว่างต้น 15 × 15 ซม. ใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 หลังปักดำ 2 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 40 กก./ไร่ ครั้งที่ 2 หลังปักดำ 4 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ ครั้งที่ 3 หลังปักดำ 6 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ ฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดหนอนกอ จำนวน 2 ครั้ง หลังย้ายปลูก 2 และ 5 สัปดาห์

6. การจัดบันทึกข้อมูล และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 อายุการออกดอก นับจากวันที่เริ่มเพาะเมล็ดถึงวันที่ข้าวแต่ละกอมีช่อดอกแรกโผล่พ้นกาบใบธง (วัน) โดยตรวจนับอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 1 และพันธุ์พ่อ - แม่ ซึ่งปลูกในสภาพวันสั้น (ฤดูนาปี) จนกระทั่งข้าวออกดอกครบทุกกอ จัดบันทึกจำนวนกอที่ออกดอกในช่วงระยะเวลาต่างๆ ส่วนอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 และพันธุ์พ่อ - แม่ ซึ่งปลูกในสภาพวันยาว (นอกฤดูนาปี) ได้ทำการตรวจนับจนกระทั่งข้าวมีอายุ 110 วัน จัดบันทึกจำนวนกอที่ออกดอกในช่วงระยะเวลาต่างๆ โดยกำหนดว่าข้าวกอใดที่มีอายุครบ 110 วัน แล้วยังไม่ออกดอกถือว่าข้าวกอ นั้นไวแสง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงพันธุ์ปลูกในประเทศไทยปัจจุบันไม่มีพันธุ์ใดที่มีอายุออกดอกนานกว่า 110 วัน

6.2 การทดสอบสัดส่วน ระหว่างต้นที่มีการออกดอกและไม่ออกดอกในสภาพวันยาว ในกลุ่มประชากรชั่วที่ 2 แต่ละประชากร เพื่อศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะและการถ่ายทอดลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงของข้าวพันธุ์พ่อ - แม่ จำนวน 4 พันธุ์ โดยค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือไคสแควร์ (Chi-square) และเนื่องจากข้อมูลการออกดอก-ไม่ออกดอกแยกออกเป็น 2 กลุ่ม (กระจายไม่ต่อเนื่อง) ประกอบกับค่า degree of freedom (df) ในการทดสอบ = 1 จึงต้องปรับข้อมูลให้มีการกระจายแบบต่อเนื่องก่อนการทดสอบ โดยใช้สูตรการทดสอบดังนี้ (ไพศาล, 2535)

$$\chi^2 = \sum \frac{(|O_i - E_i| - 0.5)^2}{E_i}$$

โดยที่ i = 1 และ 2 (กลุ่มของข้อมูล)

O = ค่าสังเกต (observed number)

E = ค่าคาดหวัง (expected number)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. อายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 1 และพันธุ์พ่อ – แม่

เมื่อนำลูกผสมชั่วที่ 1 จากทั้ง 3 คู่ผสม (ขาวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1 ขาวดอกมะลิ 105 × กข 21 และ ขาวดอกมะลิ 105 × หอมนิล) ไปปลูกในฤดูนาปีระหว่างเดือนสิงหาคม – ธันวาคม 2552 ซึ่งเป็นสภาพวันสั้น เนื่องจากขณะที่ต้นกล้ามีอายุ 30 วัน ในช่วงต้นเดือนกันยายน ช่วงแสงหรือช่วงเวลากลางวันในแปลงปลูกซึ่งอยู่ใน กรุงเทพฯ น้อยกว่า 12 ชั่วโมง/วัน ผลปรากฏว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งไวแสงมีวันออกดอกที่แน่นอนคือออกดอก ระหว่างวันที่ 26–29 ตุลาคมเมื่อนับอายุออกดอกตั้งแต่วันเพาะกล้า (9 สิงหาคม 2552) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูก ในครั้งนี้มีอายุออกดอกระหว่าง 76 – 79 วัน ส่วนพันธุ์พ่อซึ่งไม่ไวแสงพันธุ์สุพรรณบุรี 1 หอมนิล และ กข 21 มีอายุออก ดอกประมาณ 90 – 95, 60 – 65 และ 90 – 95 วัน ตามลำดับ (Table 1) โดยข้าวพันธุ์พ่อ – แม่ทั้ง 4 พันธุ์ ซึ่งเป็นพันธุ์ แท้มีอายุการออกดอกค่อนข้างสม่ำเสมอ คือแต่ละต้นภายในแต่ละพันธุ์มีอายุการออกดอกใกล้เคียงกันมาก ขณะที่ ลูกผสมชั่วที่ 1 ของทั้ง 3 คู่ผสม มีอายุการออกดอกค่อนข้างสม่ำเสมอเช่นกัน และมีอายุการออกดอกอยู่ระหว่างอายุ การออกดอกของพันธุ์พ่อ – แม่ (Table 1) ซึ่งข้อมูลการออกดอกที่ได้จากการทดลองในฤดูนี้ยังไม่สามารถใช้อธิบาย พันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงในข้าวทั้ง 4 พันธุ์นี้ได้ เนื่องจากเป็นการปลูกทดสอบในสภาพวัน สั้น ประกอบกับอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 1 ทั้ง 3 คู่ผสม กระจายอยู่ระหว่างอายุการออกดอกของพันธุ์พ่อ – แม่ โดยไม่โน้มเอียงไปหาพันธุ์พ่อ – แม่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง อย่างไรก็ตามข้อมูลการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 1 ในฤดูนี้ สามารถใช้ประกอบการศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงร่วมกับข้อมูลการออกดอกของ ลูกผสมชั่วที่ 2 ที่ปลูกตรวจสอบในฤดูถัดไปซึ่งมีช่วงแสงมากกว่า 12 ชั่วโมง/วัน

Table 1 Days to flowering of the F₁-hybrid, photoperiod sensitive female (KDML105) and photoperiod insensitive male parents under short-day condition.

F ₁ , parents	Ave. days to flowering	Number of heading plant									Total
		60-63	64-67	68-71	72-75	76-79	80-83	84-87	88-91	92-95	
KDML105 (female)	77.8	-	-	-	-	21	2	-	-	-	23
Suphanburi 1 (male)	92.8	-	-	-	-	-	-	-	4	19	23
F ₁ – hybrid	85.2	-	-	-	-	-	4	17	2	-	23
KDML105 (female)	77.0	-	-	-	2	14	-	-	-	-	16
Homnil (male)	62.0	14	2	-	-	-	-	-	-	-	16
F ₁ – hybrid	68.0	-	8	6	2	-	-	-	-	-	16
KDML105 (female)	76.3	-	-	-	5	11	-	-	-	-	16
RD 21 (male)	92.3	-	-	-	-	-	-	-	5	11	16
F ₁ – hybrid	69.8	-	1	13	2	-	-	-	-	-	16

2. อายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 และพันธุ์พ่อ – แม่

ปลูกลูกผสมชั่วที่ 2 และพันธุ์พ่อ – แม่ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ – กรกฎาคม 2553 เพื่อตรวจสอบอายุการ ออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 จำนวน 3 ประชากรเปรียบเทียบกับพันธุ์พ่อ – แม่ ในสภาพการปลูกที่มีช่วงแสงยาวนาน กว่า 12 ชั่วโมง/วัน (สภาพวันยาว) คือหลังจากย้ายกล้าในช่วงกลางเดือนมีนาคม ข้าวที่ปลูกได้รับช่วงแสงมากกว่า 12 ชั่วโมง/วัน ไปตลอดอายุการเจริญเติบโต ตรวจนับและบันทึกการออกดอกไปจนกระทั่งข้าวมีอายุ 110 วัน จึงหยุดการ ตรวจนับ เนื่องจากไม่มีข้าวไม่ไวแสงพันธุ์ปลูกพันธุ์ใดในประเทศไทยในปัจจุบันที่มีอายุการออกดอกนานกว่า 110 วัน

ผลการตรวจสอบแสดงใน Table 2 และ Table 3 พบว่าในสภาพช่วงแสงมากกว่า 12 ชั่วโมง/วัน พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์แม่ไม่ออกดอกแม้ว่าจะใช้เวลาในการตรวจสอบนานถึง 110 วัน ก็ไม่พบการออกดอกของข้าวพันธุ์นี้แต่อย่างใด สอดคล้องกับพฤติกรรมการออกดอกของข้าวไวแสงพันธุ์อื่นๆ เช่น พันธุ์ Naizar Shail Aman จากประเทศอินเดียซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสงมาก (strongly photoperiod-sensitive variety) ข้าวพันธุ์นี้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้ปลูกในฤดูหนาวซึ่งเป็นฤดูกาลที่มีช่วงแสงสั้นมาก การนำข้าวพันธุ์นี้ไปปลูกในช่วงต้นฤดูฝนที่ประเทศไต้หวัน พบว่าข้าวพันธุ์นี้จะไม่มีการออกดอก (Tsai, 2010) เป็นต้น ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอายุการออกดอกระหว่าง 83 – 110 วัน แต่ส่วนใหญ่คือ 20 ต้นจาก 35 ต้นมีอายุออกดอก 97 – 103 วัน (Table 2) ขณะที่พันธุ์สุพรรณบุรี 1 ซึ่งปลูกในสภาพวันสั้นในฤดูก่อนหน้า (สิงหาคม – ธันวาคม 2552) ส่วนใหญ่คือ 19 ต้นจาก 23 ต้น มีอายุออกดอก 92 – 95 วัน (Table 1) ซึ่งเร็วกว่าการปลูกในสภาพวันยาวประมาณ 5 – 8 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฤดูกาลเพาะปลูกมีอิทธิพลต่ออายุการออกดอกของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ซึ่งเป็นข้าวไม่ไวแสงด้วยเช่นกัน แต่อิทธิพลของฤดูกาลมีผลต่ออายุการออกดอกของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ไวแสง เช่น ข้าวดอกมะลิ 105 ส่วนข้าวพันธุ์หอมนิล และ กข 21 ซึ่งเป็นพันธุ์ไม่ไวแสงเมื่อเจริญเติบโตถึงกำหนดเวลาก็มีการออกดอกเป็นปกติ โดยอายุการออกดอกของพันธุ์หอมนิลอยู่ระหว่าง 62 – 82 วัน ส่วนพันธุ์ กข 21 อยู่ระหว่าง 76 – 96 วัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ นรินาม (2554) ที่รายงานว่าข้าวหอมนิลเป็นข้าวพันธุ์เบา (early variety) มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 95 – 105 วัน และกรมการข้าว (2554) รายงานว่าข้าวพันธุ์ กข 21 เป็นข้าวพันธุ์หนัก (late variety) มีอายุเก็บเกี่ยว 120 – 130 วัน

Table 2 Days to flowering of F_2 populations, photoperiod sensitive female (KDML 105) and photoperiod insensitive male parents under long-day condition.

F_2 , parents	No. of standing	Ave. days to flowering	Number of heading plant							Total	
			55-61	62-68	69-75	76-82	83-89	90-96	97-103		104-110
KDML105 (female)	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Suphanburi 1 (male)	35	98.6	-	-	-	-	2	8	20	5	35
F_2 – population	177	80.8	1	-	43	4	3	1	13	5	70
KDML105 (female)	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Homnil (male)	32	69.8	-	15	12	5	-	-	-	-	32
F_2 – population	158	78.7	2	14	35	39	17	19	-	2	128
KDML105 (female)	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
RD 21 (male)	47	88.5	-	-	-	11	8	28	-	-	47
F_2 – population	173	74.2	-	56	27	8	10	14	1	4	120

การออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 ระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1 จำนวน 177 ต้น พบว่ามีต้นที่ออกดอกซึ่งจัดว่าเป็นต้นที่ไม่ไวแสง (photoperiod-insensitive) จำนวน 70 ต้น และมีต้นที่ไม่ออกดอกซึ่งจัดว่าเป็นต้นที่ไวแสง (photoperiod-sensitive) จำนวน 107 ต้น (Table 3) และอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 กระจายระหว่าง 55 – 110 วัน (Table 2 and Figure 1a) ส่วนการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 ระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × หอมนิล จำนวน 158 ต้น พบว่ามีต้นไม่ออกดอก (ไวแสง) 30 ต้น ต้นที่ออกดอก (ไม่ไวแสง) 128 ต้น ขณะที่ลูกผสมชั่วที่ 2 ระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × กข 21 จำนวน 173 ต้น มีต้นไม่ออกดอก 53 ต้น ต้นที่ออกดอก 120 ต้น (Table 3) และอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 ระหว่าง 2 คู่ผสมนี้ มีการกระจายกว้างกว่าอายุการออกดอกของพันธุ์พ่อ (Figure 1b and 1c) เช่นเดียวกับลูกผสมชั่วที่ 2 ระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1 เนื่องจากพันธุกรรมควบคุมการออก

ดอกในลูกผสมชั่วที่ 2 มีความแปรปรวน (segregation) ดังนั้นอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 จึงมีการกระจายมากกว่าพันธุ์พ่อแม่ซึ่งเป็นพันธุ์แท้ทั้ง 3 พันธุ์ เนื่องจากอายุการออกดอกของพันธุ์แท้เกิดจากผลของสภาพแวดล้อมเพียงอย่างเดียว

Table 3 Number of heading, non-heading individuals and chi-square test for 3 : 1 and 7 : 9 ratio in F_2 populations.

F_2 -population	No. of F_2 -Plants			χ^2		P
	Heading (Photoperiod- insensitive)	Non-heading (Photoperiod- sensitive)	Total	3 : 1 ratio	7 : 9 ratio	
F_2 (KMDL105 × Suphanburi 1)	70	107	177	116.76**	1.10 ^{ns}	0.50 < P < 0.25
F_2 (KMDL105 × Homnil)	128	30	158	2.73 ^{ns}	-	0.10 < P < 0.05
F_2 (KMDL105 × RD 21)	120	53	173	2.64 ^{ns}	-	0.25 < P < 0.10

ns = expected ratio is acceptable

** = expected ratio is non-acceptable

3. สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นที่ออกดอกกับไม่ออกดอกในลูกผสมชั่วที่ 2

เนื่องจากมีนักวิจัยหลายกลุ่มรายงานว่า การตอบสนองต่อช่วงแสงของข้าวถูกควบคุมด้วยยีนน้อยคู่ ซึ่งลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนน้อยคู่สามารถศึกษาพฤติกรรมของยีนควบคุมลักษณะได้โดยการทดสอบสัดส่วนของลักษณะที่ปรากฏในลูกผสมชั่วที่ 2 โดยใช้ค่าไคสแควร์เป็นค่าสถิติในการทดสอบ (test statistic) (ไพศาล, 2527; Allard, 1960; Sleper and Poehlman, 2006) ผลการตรวจสอบอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 2 ในสภาพวันยาว พบว่าลูกผสมชั่วที่ 2 บางส่วนสามารถออกดอกในสภาพวันยาวได้ แสดงว่าลูกผสมชั่วที่ 2 กลุ่มนี้ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงหรือไม่ไวแสง ขณะที่ลูกผสมชั่วที่ 2 บางส่วนไม่ออกดอกแสดงว่ากลุ่มนี้ไวแสง สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม่ไวแสง : ไวแสง ในลูกผสมชั่วที่ 2 ของคู่ผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1 (70 : 107 ต้น) เป็น 7 : 9 แสดงว่าในคู่ผสมนี้ลักษณะการไวแสงข่มการไม่ไวแสง โดยมียีนข่ม 2 ตำแหน่ง และยีน 2 ตำแหน่งนี้มีปฏิกริยาข่มข้ามคู่ (epistasis) สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม่ไวแสง : ไวแสง ในลูกผสมชั่วที่ 2 จึงเป็น 7 : 9 ผลการทดลองที่ได้จากคู่ผสมนี้ สอดคล้องกับรายงานวิจัยหลายฉบับที่รายงานว่า การไวแสงข่มการไม่ไวแสง (Poonyarit *et al.*, 1989; Okumoto *et al.*, 1996; Lou *et al.*, 2001) โดย Poonyarit *et al.* (1989) ศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงในลูกผสมชั่วที่ 2 จากคู่ผสมระหว่างข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง และพันธุ์ไวแสงระดับต่างๆ ตั้งแต่ไวแสงเล็กน้อย (weakly or slightly photoperiod-sensitive variety) – ไวแสงมาก (strongly photoperiod-sensitive variety) รายงานว่าพันธุกรรมควบคุมการไวแสงในข้าวมีความแปรปรวนตั้งแต่ไม่ข่ม (non-dominant) ข่มบางส่วน (partially dominant) และข่มเกิน (over-dominant) ต่อการไม่ไวแสง นอกจากนี้ Poonyarit *et al.* (1986) ศึกษาพันธุกรรมควบคุมการไวแสงในข้าวพันธุ์น้ำสะกวย 19 (Nam Sagui 19) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไวแสงเล็กน้อย และพันธุ์พวงไร่ (Puang Rai) กับพันธุ์ Sac Nua ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไวแสงมาก รายงานว่าข้าวทั้ง 3 พันธุ์นี้มียีน Se-1 เป็นยีนข่ม (dominant gene) ทำให้ข้าว 3 พันธุ์นี้ไวแสง แต่ระดับความไวแสงแตกต่างกัน เนื่องจากผลของยีนอีกตำแหน่ง คือยีน Se-3(t) โดยรายงานว่าพันธุ์ที่มียีน 2 ตำแหน่งนี้เป็นยีนข่มทั้งคู่ (Se-1 Se-1 Se-3(t) Se-3(t)) จะทำให้ช่วงแสงวิกฤติสั้นลงมาก ซึ่งข้าวพันธุ์พวงไร่ และ Sac Nua มียีนข่ม 2 ตำแหน่งนี้ (Se-1 Se-1 Se-3(t) Se-3(t)) ข่มบางส่วน (partially dominant) ต่อยีน se-1 se-1 se-3(t) se-3(t) ทำให้ข้าว 2 พันธุ์นี้ต้องการช่วงแสงสั้นมากจึงจะออกดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

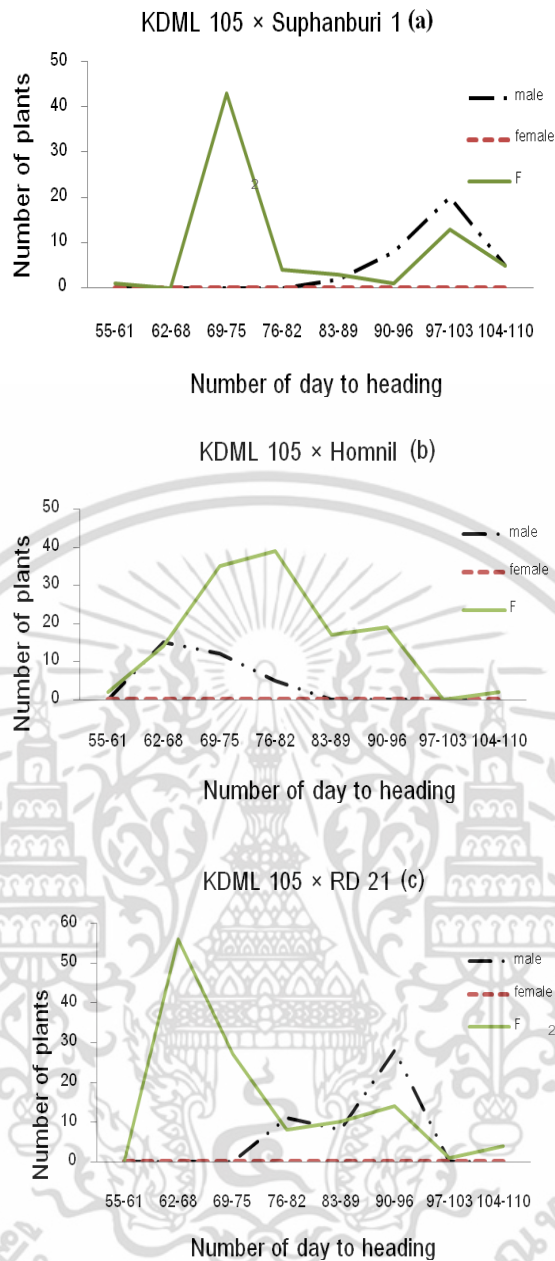


Figure 1 Frequency distributions for number of days to heading of F₂ populations and parents in 3 rice crosses.

ลูกผสมชั่วที่ 2 จากคู่ผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × หอมนิล มีต้นไม่ไวแสงต่อต้นไวแสงเท่ากับ 128 : 30 ต้น และคู่ผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × กข 21 มีต้นไม่ไวแสงต่อต้นไวแสงเท่ากับ 120 : 53 ต้น เมื่อทดสอบสัดส่วนโดยค่าไคสแควร์ ปรากฏว่าสัดส่วนระหว่างต้นไม่ไวแสงต่อต้นไวแสงเป็น 3 : 1 ในทั้ง 2 คู่ผสม (Table 3) แสดงว่าข้าวพันธุ์หอมนิล และ กข 21 มียีนหลัก (major gene) จำนวน 1 ยีนซึ่งควบคุมลักษณะไม่ไวแสงขมลักษณะไวแสงในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และเมื่อพิจารณาพร้อมกับอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 1 เปรียบเทียบกับพันธุ์พ่อ – แม่ ที่แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน Table 1 สามารถสรุปได้ว่า ยีนหลักซึ่งควบคุมลักษณะไม่ไวแสงในข้าวพันธุ์หอมนิล และ กข 21 แสดงลักษณะการข่มแบบข่มบางส่วน (partially dominant) ต่อลักษณะไวแสงในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เนื่องจากอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 1 กระจายอยู่ระหว่างอายุการออกดอกของพันธุ์พ่อ – แม่ ผลการทดลองที่ได้จาก 2 คู่ผสมนี้แตกต่างจากผลการทดลองที่ได้จากคู่ผสมแรก (ข้าวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1 ที่พบว่าการไวแสงข่มการไม่ไวแสง) อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Kuriyama (1965) และ Sampath and Seshu (1961) ที่รายงานว่า การไม่ไวแสงข่มการไวแสง ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าข้าวพันธุ์หอมนิล และ กข 21 มียีนขัดขวาง (inhibitor allele) ขัดขวางการทำงานของยีนหลักซึ่งควบคุมการไวแสงที่มีอยู่ในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งอาจเป็นยีน E1, E2, E3, Se-1, Hd1, Hd2, Hd3, Hd5 หรือ Hd6 โดยยีนขัดขวางการทำงานของยีนหลักเหล่านี้ อาจเป็น i-E1, i-E2, i-E3, i-Se-1, i-Hd1, i-Hd2, i-Hd3, i-Hd5 และ i-Hd6 ตามลำดับ ทำให้ยีนเด่นซึ่งควบคุมการไวแสงในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่สามารถแสดงผลออกมาได้ (non-expressed) ผลของยีนในลูกผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × หอมนิล และข้าวดอกมะลิ 105 × กข 21 จึงปรากฏว่าการไม่ไวแสงข่มการไวแสง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอายุการออกดอกของข้าวเป็นลักษณะที่ซับซ้อน การศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงในข้าวพันธุ์ต่างๆ จะช่วยให้การปรับปรุงพันธุ์ประสบความสำเร็จได้ง่ายขึ้น

สรุป

การศึกษาพันธุกรรมควบคุมลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงในข้าวพันธุ์ดีเด่นจำนวน 4 พันธุ์ โดยการผสมระหว่างข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง (ข้าวดอกมะลิ 105) กับพันธุ์ไม่ไวแสง (สุพรรณบุรี 1 หอมนิล และ กข 21) แล้วตรวจสอบสัดส่วนระหว่างการไม่ไวแสง : การไวแสง ในลูกผสมชั่วที่ 2 ซึ่งปลูกในสภาพวันยาว พบว่าสัดส่วนระหว่างการไม่ไวแสง : การไวแสงในลูกผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × สุพรรณบุรี 1 เป็น 7 : 9 แสดงว่ามียีนหลัก 2 ยีน ซึ่งควบคุมการไวแสงในพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 ข่มการไม่ไวแสงในพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และยีน 2 ตำแหน่งนี้มีปฏิกริยาข่มข้ามตำแหน่งระหว่างกันด้วย ส่วนในลูกผสมระหว่างข้าวดอกมะลิ 105 × หอมนิล และข้าวดอกมะลิ 105 × กข 21 พบว่าสัดส่วนระหว่างการไม่ไวแสง : การไวแสง เป็น 3 : 1 แสดงว่าข้าวพันธุ์หอมนิล และ กข 21 มียีนหลักจำนวน 1 ยีน ซึ่งควบคุมการไม่ไวแสงข่มการไวแสงในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 การที่ผลการทดสอบที่ได้จาก 2 คู่ผสมนี้ แตกต่างจากคู่ผสมแรกอาจเป็นเพราะว่าข้าวพันธุ์หอมนิล และ กข 21 มียีนขัดขวางการแสดงผลของยีนหลัก 2 ยีน ซึ่งควบคุมการไวแสงที่มีอยู่ในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทำให้ยีนหลัก 2 ยีน ซึ่งเป็นยีนเด่นควบคุมการไวแสงในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่สามารถแสดงผลออกมาได้ และเมื่อพิจารณาร่วมกับอายุการออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 1 และพันธุ์พ่อ – แม่ พบว่าการไม่ไวแสงในพันธุ์หอมนิล และ กข 21 ข่มแบบข่มบางส่วนต่อการไวแสงในพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2554. พันธุ์ข้าวนาสวนไม่ไวต่อช่วงแสง, กข 21 [Online] เข้าถึงได้จาก : http://www.brrd.in.th/rkb/data_002/a2/ rice_xx2-03_ricebreed_RD21.html. 9 กรกฎาคม 2554.
- นิรนาม. 2554. ข้าวหอมนิล [online] เข้าถึงได้จาก : http://www.sininrice.com/insight_sinin.html. 9 กรกฎาคม 2554.
- ประภา ศรีพิจิตต์, อภิชาติ วรณวิจิตร, ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ, อรอนงค์ นัยวิกุล และวิทยา แสงแก้วสุข. 2539. การคัดเลือกข้าวหอม (Oryza sativa L.) พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสงจากแหล่งความผันแปรทางพันธุกรรมที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ, หน้า 26 – 36. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 34. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2527. หลักการปรับปรุงพันธุ์พืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 320 น.
- ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2535. สถิติสำหรับการวิจัยทางเกษตร. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 298 น.
- วัชรวิ วัชรวิโรจน์กุล. 2539. พันธุ์ข้าวดี, หน้า 1-21. ใน เอกสารวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สุพรรณษา เพชรหิน, วราภรณ์ แสงทอง, ประวิตร พุทยานนท์, ลัดดา วัฒนชะวีระกุล, ประทีป พิณตานนท์ และสมเกียรติ วัฒนภิกขารณต์. 2552. การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสงของข้าวเหนียวลูกผสมกลับชั่วที่ 4 รุ่นที่ 2 (BC₄F₂). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 28:1(69-76).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุวิษ ทาเจริญ. 2535. ระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้น ระดับและพันธุกรรมของลักษณะความไวต่อช่วงแสงของข้าวหอม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 87 น.
- Allard, R.W. 1960. Principles of plant breeding. John Wiley & Sons, New York. 485p.
- Cervantes, E.P. 1985. The Flowering response of the rice plant to photoperiod (fourth edition). The International Rice Research Institute. Laguna, Philippines. 60p.
- Chandraratna, M.F. 1955. Genetics of photoperiod sensitivity in rice. J. Genet. 53: 215-223.
- Chandraratna, M.F. 1964. Genetics and breeding of rice. Longmans, London. 389p.
- Kuriyama, H. 1965. Studies on ear-emergence in rice. Bull. Natl. Inst. Agric. Sci. Jpn. 13: 275-353.
- Li, Z.Y. 1981. A preliminary study of the dominance and recessive of photosensitivity of F_1 hybrid on the local varieties of rice in Yunnan. Hereditas (Beijing). 3(2): 19-22.
- Liang, G.S. and Z.Y. Liu. 1983. Studies on the heading response of the pearl river delta rice cultivars to daylength and temperature. Acta Agron. Sin 9(3): 157-164.
- Lou, L.G., Zhai, H.Q. and J.M. Wan. 2001. Analysis of heading time genotype for a rice male sterile line Zhenshan 97A. PubMed. China. 28(11): 1019-27.
- Lou, L.G., Zhai, H.Q. and J.M. Wan. 2003. Analysis of photoperiod-sensitivity genes in Minghui63, a restorer line of indica rice (*Oryza sativa* L.). PubMed. China. 30(9): 804-10.
- Monton, P. 1987. Genetics of basic vegetative phase photoperiod sensitivity and critical daylength in rice. Ph.D. Dissertation. University of the Philippines of Los Banos. Bibliography. 118-126.
- Okumoto, Y., Ichitani, K., Inoue, H. and T. Tanisaka. 1996. Photoperiod insensitivity gene essential to the varieties grown in the northern limit region of paddy rice (*Oryza sativa* L.) cultivation. Euphytica. 92: 63-66.
- Poonyarit, M., Mackill, D.J. and B.S. Vergara. 1986. Two genes affecting photoperiod sensitivity in rice [online] Available : [http://www.shigen.nig.ac.jp/rice/rgn/vol4/v4p87.html] 28/06/2010.
- Poonyarit, M., Mackill, D.J. and B.S. Vergara. 1989. Genetics of photoperiod sensitivity and critical day length in rice. Crop Sci. 29: 647-652.
- Sampath, S. and D.V. Seshu. 1961. Genetics of photoperiod response in rice. Indian J. Genet. Plant Breed. 21: 38-42.
- Sleper, D.A. and J.M. Poehlman. 2006. Breeding field crop. Blackwell Publishing. Ames. 424p.
- Tsai, K.H. 2010. Genetic analysis for heading time in tropical rice strains. [online] Available : [http://www.shigen.nig.ac.jp/rice/rgn/vol16/v16p55.html] 28/06/2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้