

การถ่ายทอดลักษณะความยาวของเมล็ด ในการผสมข้ามระหว่างข้าวอินดิกากับข้าวจาปอนิกา

Inheritance of Grain Length of Crosses between Indica and Japonica Rice

ปฐุม คลิ่งทอง, ประภา ศรีพิจิตต์*, รัตติกาน เกิดผล และธานี ศรีวงศ์ชัย

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Purim Klingthong, Prapa Sripichitt*, Rattikarn Kerdphol and Tane Sreewongchai

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok Campus,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

การผสมข้ามระหว่างข้าวชนิดอินดิกา CNT1, PTT1 และ SPR1 กับข้าวจาปอนิกา DOA2 พบว่าคู่ผสม SPR1 x DOA2 ให้ลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) เป็นหมันทำให้ไม่สามารถผลิตเมล็ดได้ ส่วนคู่ผสม CNT1 x DOA2 และ PTT1 x DOA2 ให้ลูกผสมชั่วที่ 1 ปกติและผลิตเมล็ดได้ เมื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะความยาวของเมล็ดในประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_2 โดยใช้ค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อแม่เป็นเกณฑ์สามารถแบ่งความยาวของเมล็ดแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ลักษณะเมล็ดสั้นและเมล็ดยาว โดยมีการกระจายตัวในอัตราส่วนเมล็ดสั้นต่อเมล็ดยาวเป็น 3:1 แสดงว่าลักษณะความยาวของเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง โดยลักษณะเมล็ดสั้นถูกควบคุมด้วยยีนเด่นที่เข้มแบบสมบูรณ

คำสำคัญ : การผสมข้าม; การถ่ายทอดลักษณะ; ความยาวเมล็ด; ข้าวอินดิกา; ข้าวจาปอนิกา

Abstract

The crossing between indica rice (CNT1, PTT1 and SPR1) with japonica rice (DOA2) were done for this study. The F_1 of the cross SPR1 x DOA2 was sterile. On the other hand, the F_1 of CNT1 x DOA2 and PTT1 x DOA2 were fertile character. The inheritance of rice grain length was performed in BC_1F_2 populations of each cross. Grain length could be divided into two groups by using the average of the both parents with long and short grain. The ratio of grain length showed 3:1 (short grain: long grain) indicating that a single gene controlled this trait. A short grain allele was dominant while long grain allele was recessive.

Keywords: crossing; inheritance; grain length; indica rice, japonica rice

1. คำนำ

ข้าวปลูกเอเชีย (*Oryza sativa* L.) เป็นธัญพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับใช้เป็นอาหารหลักของประชากรโดยเฉพาะประชากรที่อาศัยในทวีปเอเชีย (Bellon *et al.*, 1998) ข้าวชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะรูปร่างของเมล็ด ได้แก่ indica, japonica และ tropical japonica โดยข้าว indica มีลักษณะเมล็ดยาวและรูปร่างเรียวยาว ข้าว japonica มีเมล็ดสั้นและรูปร่างกลม และข้าว tropical japonica เมล็ดมีรูปร่างป้อมและขนาดใหญ่ (Chang, 1976) ซึ่งขนาดของเมล็ดมีความสำคัญต่อคุณภาพการซื้อขายและขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคของแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ผู้บริโภคส่วนใหญ่ของประเทศในแถบเอเชีย ยุโรป และสหรัฐอเมริกา นิยมบริโภคข้าวที่มีเมล็ดยาวและรูปร่างเรียวยาว ส่วนประเทศญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และศรีลังกา นิยมบริโภคข้าวเมล็ดสั้นและกลม (Shao *et al.*, 2010) ขนาดของเมล็ดข้าวถูกควบคุมด้วยยีน GS3 ทำหน้าที่เป็น quantitative trait loci (QTL) หลัก (major QTL) ในการควบคุมลักษณะความยาวและน้ำหนักเมล็ด และเป็น QTL รอง (minor QTL) ควบคุมลักษณะความกว้างและความหนาของเมล็ด โดยยีน GS3 นั้นตั้งอยู่บนโครโมโซมแท่งที่ 3 (Fan *et al.*, 2006; Kai *et al.*, 2009; Yan *et al.*, 2011) Zhou และคณะ (2006) รายงานว่าความถี่ของการกระจายตัวของลักษณะความยาวเมล็ดในประชากรข้าวที่ 2 มีการกระจายตัวของลักษณะความยาวเป็นอัตราส่วนเป็น 3:1 (เมล็ดสั้น : เมล็ดยาว) โดยใช้ค่าเฉลี่ยลักษณะความยาวเมล็ดของสายพันธุ์พ่อแม่เป็นเกณฑ์ แสดงว่าลักษณะความยาวเมล็ดควบคุมด้วยยีนหลัก 1 คู่ (single major gene) ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่มีการผสมข้ามระหว่างข้าวต่างชนิดกันมักเกิดปัญหาการผสมข้าม Araki และคณะ (1988) และ Chen และคณะ (2011) ศึกษาการผสม

ข้ามระหว่างข้าวอินดิกาที่มีอัลลีล 2 แบบ คือ S5-i และ S5-n กับข้าวจาปอนิกาที่มีอัลลีลแบบเดียว คือ S5-j พบว่าเมื่อมีการเข้าคู่กันของอัลลีลแบบ S5-i / S5-n และ S5-n / S5-j ส่งผลให้ข้าวติดเมล็ด ส่วนการเข้าคู่กันของอัลลีลแบบ S5-i / S5-j ส่งผลให้ข้าวเป็นหมันไม่สามารถติดเมล็ดได้ โดยความเป็นหมันของลูกผสมที่เกิดจากการผสมข้ามระหว่างข้าวต่างชนิดนั้นถูกควบคุมด้วยยีน S5 ซึ่งมีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมแท่งที่ 6 แม้จะส่งผลให้ลูกผสมบางส่วนแสดงความเป็นหมันหรือไม่ติดเมล็ด แต่ก็มีข้อดี คือ ได้ลูกผสมที่มีลักษณะบางลักษณะโดดเด่นกว่าพ่อแม่ (hybrid vigor) ซึ่งนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวมีโอกาสเลือกต้นข้าวลูกผสมที่มีลักษณะดีเด่นตามที่ต้องการได้ (Xiong *et al.*, 2010) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะความยาวของเมล็ดและการกระจายตัวของลักษณะความยาวของเมล็ด รวมถึงการผสมข้ามระหว่างข้าวชนิด indica กับ japonica เพื่อเป็นพื้นฐานในการคัดเลือกและปรับปรุงลักษณะขนาดเมล็ดในข้าวลูกผสมระหว่างข้าวชนิด indica กับข้าวชนิด japonica ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 พันธุ์ข้าวที่ใช้เป็นพันธุ์รับ (recurrent parent) คือ ข้าวญี่ปุ่นเมล็ดสั้นพันธุ์ กวก.2 (DOA2) เป็นข้าวเจ้า ไม่ไวต่อช่วงแสง ผลผลิตสูงปรับตัวได้ดีในพื้นที่ดินนาเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เมล็ดข้าวกล้องยาว 5.13 มิลลิเมตร

2.1.2 พันธุ์ข้าวที่ใช้เป็นพันธุ์ให้ (donor parent) มี 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (PTT1) เป็นข้าวเจ้า มีกลิ่นหอม ไม่ไวต่อช่วงแสง ผลผลิตสูง คุณภาพข้าวสุกเหนียว นุ่ม เมล็ดข้าวกล้องยาว 7.6 มิลลิเมตร ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (CNT1) เป็นข้าวเจ้า ไม่มีกลิ่นหอม ไม่ไวต่อช่วง

แสง คุณภาพข้าวสุกร่วน แข็งเมล็ดข้าวกล้องยาว 7.7 มิลลิเมตร และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (SPR1) เป็นข้าวเจ้า ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยกระโดดหลังขาว ผลผลิตสูง คุณภาพข้าวสุกร่วน แข็ง เมล็ดข้าวกล้องยาว 7.3 มิลลิเมตร

2.2 อุปกรณ์วัดขนาดเมล็ด

2.2.1 เครื่องสแกนยี่ห้อ brother รุ่น DCP-J140W สำหรับใช้สแกนเมล็ดข้าว

2.2.2 โปรแกรม RGA (rice grain analysis) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีข้าว ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใช้สำหรับวัดความยาวของเมล็ดข้าวจากภาพที่สแกน

2.3 การสร้างประชากรข้าวในแต่ละชั่ว

2.3.1 ผสมข้ามระหว่างข้าวญี่ปุ่นกับข้าวไทย 3 คู่ผสม ได้แก่ PTT1 x DOA2, CNT1 x DOA2 และ SPR1 x DOA2 เพื่อสร้างประชากรชั่วที่ 1 (F_1)

2.3.2 ปลูกประชากรชั่วที่ 1 ของแต่ละคู่ผสม เมื่อข้าวอยู่ในระยะออกดอกจึงคลุมช่อดอกข้าวเพื่อป้องกันการผสมข้ามเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วนำมานับเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดเพื่อตรวจสอบความเป็นหมันของข้าว จากนั้นเลือกคู่ผสมที่ไม่เป็นหมันสำหรับผสมกลับไปยังพันธุ์รับเพื่อสร้างประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_1

2.3.3 ปลูกประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_1 แล้วปล่อยให้ผสมตัวเองเพื่อสร้างเป็นประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_2

2.3.4 ปลูกประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_2 แล้วปล่อยให้ผสมตัวเองเพื่อเก็บเมล็ดมาใช้สำหรับศึกษาลักษณะความยาวของเมล็ด

2.4 การศึกษาลักษณะการกระจายตัวของเมล็ดข้าว

2.4.1 นำเมล็ดข้าวที่ได้มาจากต้นข้าวลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_2 มาสแกนด้วยเครื่องสแกน

เมล็ดข้าว หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RGA (rice grain analysis) โดยใช้ค่าเฉลี่ยลักษณะความยาวเมล็ดของพันธุ์พ่อแม่เป็นเกณฑ์ และแบ่งกลุ่มที่มีลักษณะเมล็ดยาวเหมือนข้าวไทยและกลุ่มที่มีลักษณะเมล็ดสั้นเหมือนข้าวญี่ปุ่น

2.4.2 วิเคราะห์หาอัตราส่วนการกระจายตัวระหว่างเมล็ดยาวกับเมล็ดสั้นด้วยการทดสอบไค-สแควร์ (Chi-square test)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

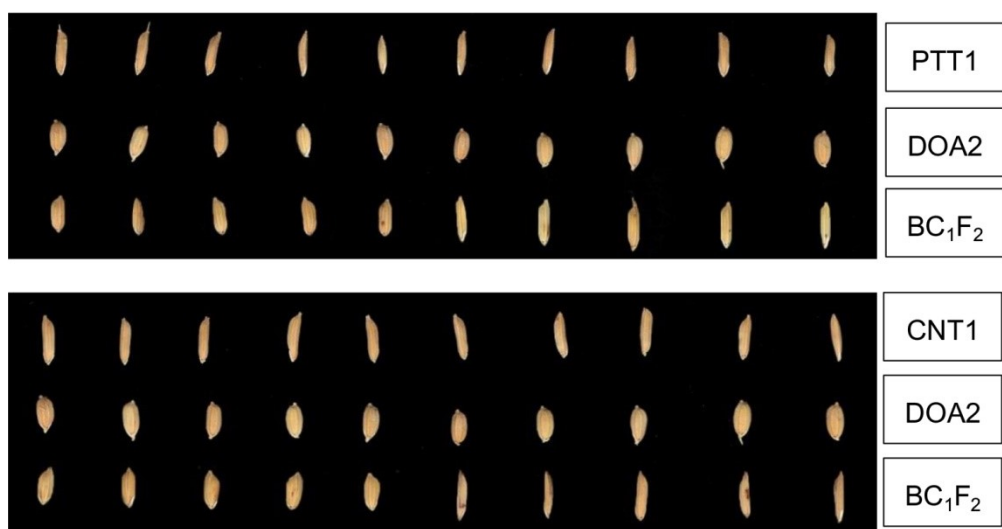
3.1 การผสมข้ามระหว่างข้าวอินดิกา กับข้าวจาปอนิกา

การผสมข้ามระหว่างข้าวชนิด indica กับ japonica ทั้ง 3 คู่ผสม ได้แก่ PTT1 x DOA2, CNT1 x DOA2 และ SPR1 x DOA2 เมื่อนำต้นข้าวลูกผสมชั่วที่ 1 มาตรวจสอบความเป็นหมันพบว่าคู่ผสม PTT1 x DOA2 และ CNT1 x DOA2 ให้ลูกผสมชั่วที่ 1 ที่มีลักษณะปกติ สามารถใช้ผสมกลับเพื่อสร้างประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_1 ได้ ส่วนคู่ผสม SPR1 x DOA2 ให้ลูกผสมชั่วที่ 1 ที่เป็นหมันไม่สามารถใช้ผสมกลับเพื่อสร้างประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_1 ได้ ซึ่งการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Araki และคณะ (1988) และ Chen และคณะ (2011) ที่ศึกษาการผสมข้ามระหว่างข้าวอินดิกาที่มีอัลลีล 2 แบบ คือ $S5-i$ และ $S5-n$ กับข้าวจาปอนิกาที่มีอัลลีลแบบเดียว คือ $S5-j$ พบว่าเมื่อมีการเข้าคู่กันของอัลลีลแบบ $S5-i / S5-n$ และ $S5-n / S5-j$ ส่งผลให้ข้าวติดเมล็ด ส่วนการเข้าคู่กันของอัลลีลแบบ $S5-i / S5-j$ ส่งผลให้ข้าวเป็นหมันไม่สามารถติดเมล็ดได้ แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 อาจมีพันธุกรรมแบบ $S5-i$ เมื่อเข้าคู่กับยีนที่มีพันธุกรรมแบบ $S5-j$ ของข้าวพันธุ์ DOA2 แล้วทำให้ลูกผสมชั่วที่ 1 ที่ได้แสดงความเป็นหมัน

3.2 จำนวนยีนและลักษณะการแสดงออกของยีนที่ควบคุมลักษณะความยาวของเมล็ด

การผสมข้ามระหว่างข้าวชนิด indica กับ japonica ทั้ง 3 คู่ผสม แล้วนำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) มาศึกษาลักษณะความยาวของเมล็ดพบว่า เมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 ทุกเมล็ดมีลักษณะเมล็ดสั้นเหมือนข้าวพันธุ์ DOA2 และการศึกษาการกระจายตัวทางพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะความยาวของเมล็ดในประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_2 พบว่าการกระจายตัวของความยาวเมล็ดมีทั้งลักษณะสั้นและยาว (รูปที่ 1) ในคู่ผสม PTT1 x DOA2 พบว่ามีความยาวเมล็ดอยู่ในช่วง 6.91-11.36 มิลลิเมตร มี

ค่าเฉลี่ยความยาวเมล็ดเท่ากับ 8.59 มิลลิเมตร สามารถจัดกลุ่มต้นที่มีลักษณะเมล็ดสั้นกับเมล็ดยาวได้จำนวน 17 และ 3 ต้น ตามลำดับ โดยใช้ความยาวเมล็ดของพันธุ์พุ่มธานี 1 และ กวก.2 มีค่า 9.97 ± 0.59 และ 7.27 ± 0.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ เป็นเกณฑ์ในการจัดกลุ่ม และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างต้นที่มีลักษณะเมล็ดสั้นกับต้นที่มีลักษณะเมล็ดยาวพบว่ามีอัตราส่วนเมล็ดสั้นต่อเมล็ดยาวเท่ากับ 3:1 โดยมีค่า Chi-square เป็น 0.60 และมีค่า p-value เป็น 0.439 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จึงยอมรับอัตราส่วนดังกล่าว



รูปที่ 1 ความยาวเมล็ดในพันธุ์พ่อแม่ เปรียบเทียบกับประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_2 ที่เกิดจากการผสมข้ามระหว่างข้าวญี่ปุ่นกับข้าวไทย 2 คู่ผสม ได้แก่ PTT1 x DOA2 และ CNT1 x DOA2

สำหรับเมล็ดในประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_2 จากคู่ผสม CNT1 x DOA2 พบว่ามีความยาวเมล็ดอยู่ในช่วง 5.91-12.19 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยความยาวเมล็ดเท่ากับ 9.32 มิลลิเมตร สามารถจัดกลุ่มต้นที่มีลักษณะเมล็ดสั้นในประชากรที่ 1, 2 และ 3 ได้จำนวน 11, 23 และ 7 ต้น ตาม

ลำดับ และต้นที่มีลักษณะเมล็ดยาวในประชากรที่ 1, 2 และ 3 ได้จำนวน 2, 7 และ 5 ต้น ตามลำดับ โดยใช้ความยาวเมล็ดของพันธุ์ชัยนาท 1 และ กวก.2 มีค่า 10.18 ± 0.64 และ 7.27 ± 0.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ เป็นเกณฑ์ในการจัดกลุ่ม เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างต้นที่มีลักษณะ

เมล็ดสั้นกับต้นที่มีลักษณะเมล็ดยาวพบว่ามีอัตราส่วนเมล็ดสั้นต่อเมล็ดยาวเท่ากับ 3:1 โดยมีค่า Chi-square เป็น 0.23, 0.00 และ 1.00 ตามลำดับ และมีค่า p-value เป็น 0.632, 1.000 และ 0.317 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จึงยอมรับอัตราส่วนดังกล่าว (ตารางที่ 1) ซึ่งการทดลองครั้งนี้

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fan และคณะ (2006) และ Kai และคณะ (2009) และ ภัทรธรรณ และคณะ. 2556 ที่พบว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะความยาวของเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง ซึ่งลักษณะเมล็ดสั้นถูกควบคุมด้วยยีนเด่นที่ข้ามแบบสมบูรณ์ โดยยีนดังกล่าวคือยีน GS3 อยู่บนโครโมโซมที่ 3

ตารางที่ 1 การกระจายตัวของต้นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดสั้นและเมล็ดยาวในประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC₁F₂

คู่ผสม	ประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC ₁ F ₁	กลุ่มข้าวในประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC ₁ F ₂ (ต้น)			ช่วงความยาวของเมล็ด (มม.)	ค่าเฉลี่ยความยาวของเมล็ด (มม.)	χ^2 (3:1)	p-value
		เมล็ดสั้น	เมล็ดยาว	รวม				
DOA2 x PTT1	1	17	3	20	5.91-12.19	9.32	0.60 ^{ns}	0.439
DOA2 x CNT1	1	11	2	13	6.91-11.36	8.59	0.23 ^{ns}	0.632
	2	23	7	30			0.00 ^{ns}	1.000
	3	7	5	12			1.00 ^{ns}	0.317

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4. สรุป

การผสมข้ามระหว่างข้าวชนิด indica กับ japonica อาจทำให้ลูกผสมชั่วที่ 1 (F₁) บางคู่ผสมแสดงความเป็นหมัน เนื่องจากข้าวชนิด indica บางพันธุ์อาจมีพันธุกรรมแบบ S5-i เมื่อเข้าคู่กับยีนที่มีพันธุกรรมแบบ S5-j ของข้าวชนิด japonica แล้วทำให้ลูกผสมชั่วที่ 1 ที่ได้แสดงความเป็นหมัน ส่วนลักษณะความยาวของเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ลักษณะเมล็ดสั้นและลักษณะเมล็ดยาว เมื่อยีนที่ควบคุมลักษณะความยาวของเมล็ดอยู่ในสภาพเฮเทอโรไซกัส (heterozygous) เมล็ดจะมีลักษณะสั้นทั้งหมด แสดงว่าลักษณะความยาวของเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง ซึ่งลักษณะเมล็ดสั้นแสดงลักษณะข้ามแบบสมบูรณ์ (complete dominant) และลักษณะเมล็ดยาวถูกควบคุมด้วยยีนด้อย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวลูกผสมเพื่อเพิ่มผลผลิตและการแปรรูปเชิงอุตสาหกรรม

6. รายการอ้างอิง

- ภัทรธรรณ จันทรเพ็ญ, จักรกฤษณ์ ศรีแสง, ประภา ศรีพิจิตร และธานี ศรีวงศ์ชัย, 2556, การถ่ายทอดลักษณะขนาดเมล็ดในข้าวคู่ผสมระหว่างข้าวอินดิกาและจาโปนิกา, น. 478-482, รายงานการประชุมทางวิชาการ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51, กรุงเทพฯ.
- Araki, H., Toya, K. and Ikehashi, H., 1988, Role of Wide Compatibility Genes in Hybrid Rice Breeding, pp. 79-83, In Hybrid Rice, IRRI, Los Baños.

- Bellon, M.R., Brar, D.S., Lu, B.R. and Pham, J.L., 1998, Rice Genetic Resources, pp. 251-238, In Dowling, N.G., Greenfield, S.M. and Fischer, K.S. (Eds.), Sustainability of Rice in the Global Food System, The Pacific Basin Study Center and International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños.
- Chang, T.T., 1976, The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and African rices, *Euphytica* 25: 425-441.
- Chen, L., Zhao, Z., Liu, X., Liu, L., Jiang, L., Liu, S., Zhang, W., Wang, Y., Liu Y. and Wan, J., 2011, Marker-assisted breeding of a photoperiod-sensitive male sterile japonica rice with high cross-compatibility with indica rice, *Mol. Breeding* 27: 247-258.
- Fan, C., Xing, Y., Mao, H. and Zhang, Q., 2006, GS3, a major QTL for grain length and weight and minor QTL for grain width and thickness in rice encodes a putative transmembrane protein, *Theor. Appl. Genet.* 112: 1164-1171.
- Kai, N.T., Jiang, H., Kubo, T. and McCouch, S., 2009, Evolutionary history of GS3, a gene conferring grain length in rice, *Genetics* 182: 1323-1334.
- Shao, G., Tang, S., Luo, J. and Hu, P., 2010, Mapping of *qGL7-2*, a grain length QTL on chromosome 7 of rice, *J. Genet. Genomics* 37: 523-531.
- Xiong, Z., Zhang, S., Wang, Y., Ford-Lloyd, B.V., Tu, M., Jin, X., Wu, Y., Yan, H., Yang, X., Liu, P. and Lu, B.R., 2010, Differentiation and distribution of *indica* and *japonica* rice varieties along the altitude gradients in Yunnan province of China as revealed by InDel olecular markers, *Genet. Resour. Crop Evol.* 57: 891-902.
- Yan, S., Zou, G., Li, S. and Tao, Y., 2011, Seed size is determined by the combinations of the genes controlling different seed characteristics in rice, *Theor. Appl. Genet.* 123: 1173-1181.
- Zhou, L.Q., Wang, Y.P. and Li, S.G., 2006, Genetic analysis and physical mapping of *Lk-4(t)*, a major gene controlling grain length in rice, with a BC_2F_2 population, *Acta Genetica Sinica* 33: 72-79.