สมรรถนะในการผสมพันธุ์เพื่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตระหว่างข้าวไร่และข้าวนาสวน

Combining Ability for Yield and Yield Components in Upland and Lowland Rice Crosses

พิมพ์นภา ขุนพิลึก[1/], สุทัศน์ จุลศรีไกวัล[1,*], จักรี เส้นทอง[1/] และ ดำเนิน กาละดี[1/]

Pimnapa Khunpilueg[1/], Suthat Julsrigival[1,], Chuckree Senthong[1/] and Dumnern Kaladee[1/]*

Abstract: The study of combining ability for yield and yield components in upland and lowland rice crosses was conducted during the rainy season (July 2002 – January 2003) at Agronomy Farm, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. Six F2 hybrid crosses derived from diallel cross among 4 conventional upland and lowland rice cultivars namely RD 7, Pathum Thani 1, Jow How and R 258 were planted along with their respective parents. Results from estimation of general and specific combining ability indicated that flowering date, plant height, number of panicles per plant, number of good grains per plant and 1,000-grain weight were controlled by both additive and non-additive genes but additive gene effects seemed to be more influences than non-additive effects. However, non-additive gene effects were found specifically for grain weight per plant. Estimation of general combining ability revealed that two upland rice varieties: Jow How and R 258 performed good general combiner for early flowering, moderate plant height and large in seed size. Two lowland rice varieties; RD 7 and Pathum Thani 1 showed good general combiner for late flowering, short plant height and increasing of panicles per plant. Estimation of broad-sense heritability indicted the flowering date, plant height, number of panicles per plant, number of good grains per plant, 1,000-grain weight and grain weight per plant were rather high for all of these traits. Narrow-sense heritability values were high for flowering date, plant height, number of panicles per plant and 1,000-grain weight but moderate values were observed in number of good grains per panicle and grain weight per plant. In summary, high yielding of upland rice varieties could be developed by selection of promising breeding lines derived from crossing among upland and lowland rice parents which either of them will provide good combining abilities of desirable agronomic traits.

Keywords: combining ability, lowland rice, upland rice

[1/] ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[1/] Deparment of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author

บทคัดย่อ: ศึกษาสมรรถนะการผสมเพื่อผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตในการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวไร่และข้าวนาสวน โดยทดลองปลูกพันธุ์พ่อ-แม่ จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ กข 7 ปทุมธานี 1 เจ้าฮ่อ และ อาร์ 258 ร่วมกับลูกผสมชั่วที่ 2 ที่ได้จากการผสมแบบพบกันหมดจำนวน 6 คู่ผสม ปลูกทดลองในช่วงฤดูฝนระหว่าง เดือนกรกฎาคม 2545 – มกราคม 2546 ที่แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากการวิเคราะห์สมรรถนะการผสมทั่วไปและสมรรถนะการผสมเฉพาะพบว่าอายุออกดอก ความสูง จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด โดยทุกลักษณะถูกควบคุมด้วยยีนส์ที่มีการกระทำแบบผลบวก (additive gene action) และไม่เป็นแบบผลบวก (non-additive gene action) แต่การกระทำของยีนส์ที่เป็นแบบผลบวกมีอิทธิพลมากกว่า ส่วนลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อกอ พบว่าถูกควบคุมด้วยอิทธิพลของยีนส์แบบไม่เป็นผลบวกเพียงอย่างเดียว จากผลการประเมินค่าอิทธิพลของสมรรถนะการผสมทั่วไป พบว่า ข้าวไร่ทั้ง 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เจ้าฮ่อและอาร์ 258 เป็นพันธุ์พ่อ-แม่ที่ดีของการถ่ายทอดลักษณะออกดอกเร็ว ต้นสูง และขนาดเมล็ดใหญ่ ส่วนพันธุ์ข้าวนาสวน ได้แก่ พันธุ์ กข 7 และปทุมธานี 1 เป็นพ่อ-แม่ที่ดีของการถ่ายทอดลักษณะออกดอกช้า ต้นเตี้ย และจำนวนรวงต่อกอที่เพิ่มขึ้น การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมข้าว โดยวิธีการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (broad-sense heritability) พบว่า อายุออกดอก ความสูง จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีค่าค่อนข้างสูง แต่ลักษณะจำนวนเมล็ดดีต่อรวงและผลผลิตเมล็ดต่อกอมีค่าปานกลาง จากผลการศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า การปรับปรุงพันธุ์ข้าวไร่เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและมีองค์ประกอบผลผลิตที่ดีนั้น สามารถกระทำได้โดยวิธีการคัดเลือกพันธุ์ลูกผสมที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ข้าวไร่และข้าวนาสวน เพื่อให้ได้ลักษณะผลผลิตสูงและมีลักษณะทางพืชไร่ที่ดี

คำสำคัญ: สมรรถนะการผสม ข้าวนาผสม ข้าวไร่

คำนำ

ประเทศไทยมีการปลูกข้าวไร่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด กว่าครึ่งหนึ่งอยู่ในเขตภาคเหนือ โดยส่วนใหญ่ปลูกไว้เพื่อบริโภคภายในครัวเรือนและประกอบพิธีกรรมต่าง ๆ จึงนับว่าข้าวไร่เป็นธัญพืชที่มีสำคัญต่อเกษตรกรที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่สูงหรือชาวเขาเป็นอย่างมาก แต่การปลูกข้าวไร่มักประสบปัญหาเกี่ยวกับผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำ (130-296 กิโลกรัม/ไร่) สาเหตุเนื่องมาจาก ปัญหาความแห้งแล้ง หรือการระบาดของโรคและแมลง นอกจากนี้ยังพบว่า การขาดพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสบปัญหาดังกล่าว (บริบูรณ์, 2537; สมเดช และคณะ, 2544) การปรับปรุงพันธุ์ข้าวไร่ให้ได้พันธุ์ดีนั้น ได้มีการปฏิบัติกันมานานแล้ว แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่วิธีการรวบรวมพันธุ์พื้นเมืองและคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์ตลอดจนการทดลองปลูกเปรียบเทียบผลผลิต และทดสอบความสามารถในการปรับตัว ที่แตกต่างกัน จนถึงปี พ.ศ. 2522 เป็นต้นมา กรมวิชาการเกษตรจึงได้รับรองพันธุ์ข้าวไร่ แล้วแนะนำให้เกษตรกรปลูก จำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ซิวแม่จัน ดอกพะยอม กู้เมืองหลวง อาร์ 258 ขาวโป่งไคร้ เจ้าฮ่อ และพันธุ์น้ำรู ส่วนวิธีพัฒนาพันธุ์ข้าวไร่ โดยการผสมพันธุ์ รวบรวมพันธุ์ ศึกษาพันธุ์ และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ก็ได้พัฒนาขึ้นเรื่อยๆ เป็นลำดับ (สมเดช, 2536) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการถ่ายทอดพันธุกรรมของลักษณะที่ดีต่างๆ เช่น ให้ผลผลิตสูง แตกกอดี ต้นสูงปานกลาง และอายุพันธุ์เบา จากข้าวนาสวนสู่ข้าวไร่ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ข้าวไร่ที่ดีต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 4 พันธุ์ เป็นพันธุ์ข้าวไร่ 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เจ้าฮ่อ และอาร์ 258 และพันธุ์ข้าวนาสวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข 7 และปทุมธานี 1 นำมาสร้างลูกผสมชั่วที่ 1 โดยวิธี half diallel cross ได้จำนวน 6 คู่ผสม นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 ปลูกเพื่อสร้างเมล็ดชั่วที่ 2 จากนั้นนำเมล็ดข้าวพันธุ์พ่อ-แม่ และลูกผสมชั่วที่ 2 ทุกคู่ผสมมาปลูก โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วยพ่อ-แม่ จำนวน 4 พันธุ์ พันธุ์ละ 2 แถว และลูกผสมชั่วที่ 2 จำนวน 6 คู่ผสม ประชากรละ 6 แถว แถวยาว 3.0 เมตร ระยะห่างระหว่างหลุม 25 x 25 เซนติเมตร จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ อายุการออกดอก ความสูง จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ และน้ำหนัก1,000 เมล็ด แล้วนำมาค่าความสามารถในการรวมตัว (combining ability) โดยวิธีการของ Griffing (1956) Method 2 Model I รวมทั้งหาประเมินค่าอัตราพันธุกรรม (heritability : h^2) 2 วิธี คือ การประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (broad-sense heritability : h^2_{bs}) โดยวิธีการ Mammud and Karmer (1951) อ้างโดย เปรมฤดี (2540) และการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow-sense heritability : h^2_{ns}) โดยวิธีการ Offspring and mid-parent regression (Falconer,1989)

ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลทางพันธุกรรม (genetic analysis) สมรรถนะการผสม (combining ability) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ชี้ให้เห็นว่า ลักษณะอายุออกดอก ความสูง จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ยกเว้นค่าผลผลิตเมล็ดต่อกอ มีค่า g.c.a. สูงแตกต่างกันมากอย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึงการถูกควบคุมด้วยยีนส์ที่มีการกระทำแบบบวก (additive gene action) ส่วน s.c.a. มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติของทุกลักษณะที่ทำการศึกษาเช่นเดียวกัน แสดงว่าถูกควบคุมด้วยยีนส์ที่ไม่เป็นผลบวก (non–additive gene action) และเมื่อมารวมกับสัดส่วนของ g.c.a. : s.c.a. ของลักษณะพันธุกรรมต่าง ๆ ชี้ให้เห็นว่าค่าของ g.c.a. มีค่าสูงกว่า s.c.a. ทุกค่า ยกเว้นลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อกอ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าลักษณะต่าง ๆ ที่ทำการศึกษานี้มีอิทธิพลของยีนส์แบบบวก แสดงออกมากกว่ายีนส์แบบไม่เป็นผลบวก ยกเว้นลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อกอ แต่ลักษณะเดียวที่ถูกควบคุมด้วยยีนส์ไม่เป็นผลบวก ซึ่งผลงานนี้สอดคล้องกับผลงานของ Singh *et al* . (1992)

Table 1 Analysis of variance for combining ability of agronomic traits of rice parents and their F2 hybrids.

Traits	Mean Square			
	g.c.a.	s.c.a.	Error	g.c.a.: s.c.a.
Flowering date	285.8542**	25.2121**	0.7053	11.3380
Plant height	275.3572**	30.0271**	7.1730	9.1703
Number of panicle per plant	22.3754**	1.4868**	0.2283	15.0491
Number of good grains per plant	622.2550**	338.1166**	19.1258	1.8404
1,000-grains weight	58.3188**	1.9577**	0.1463	29.7893
Grains weight per plant	4.0179	39.2529**	2.8127	0.1024

*,** Significant difference at 5% and 1%, respectively.

การประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไป (general combining ability) พบว่า ข้าวไร่ทั้งสองพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เจ้าฮ่อ และอาร์ 258 เป็นพันธุ์พ่อแม่ที่ดีของการถ่ายทอดลักษณะออกดอกเร็ว เพราะให้ค่า g.c.a. เป็นลบ แต่เนื่องจากค่า g.c.a. ของลักษณะความสูงของต้น จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตเมล็ดที่เป็นบวก จึงทำให้ทั้งสองพันธุ์ดังกล่าวสามารถถ่ายทอดลักษณะต้นสูง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และขนาดเมล็ดใหญ่ได้อีกด้วย ส่วนข้าวนาสวน พันธุ์กข 7 และปทุมธานี 1 เป็นพ่อ-แม่ที่ดีของการถ่ายทอดลักษณะออกดอกช้า และจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้น เนื่องจากลักษณะทั้งสองมีค่า g.c.a. เป็นบวก แต่จะถ่ายทอดลักษณะต้นเตี้ย (ค่า g.c.a. เป็นลบ)ไปสู่รุ่นลูกหลานด้วย (ตารางที่ 2) สำหรับการประเมินค่าสมรรถนะการการผสมเฉพาะ พบว่าคู่ผสม เจ้าฮ่อ x กข 7, เจ้าฮ่อ x ปทุมธานี 1 และ กข 7 x อาร์ 258 มีค่า s.c.a. ของลักษณะต้นสูงเป็นบวก ส่วนคู่ผสมของ กข 7 x อาร์ 258 และปทุมธานี 1 x อาร์ 258 ให้ค่า s.c.a. ที่ดีของจำนวนรวงต่อกอ (ตารางที่ 3)

Table 2 Estimate of general combining ability (g.c.a.) of agronomic traits in 4 parents of rice varieties.

Traits	Variety			
	Jow How	R 258	RD 7	Pathum Thani 1
Flowering date	-6.2012**	-4.8298**	2.3293**	8.7017**
Plant height	6.8967**	4.6152**	-4.6265**	-6.8854**
Number of panicle per plant	-1.6404**	-1.3738**	0.4905**	2.5237**
Number of good grains per plant	5.5177**	10.1610**	-2.6180	-13.0607**
1,000-grains weight	2.1099**	3.2312**	-2.6295**	-2.7116**
Grains weight per plant	0.1891	0.2535	0.7303	-1.1729

*,** Significant difference at 5% and 1%, respectively.

Table 3 Estimate of specific combining ability (s.c.a.) of agronomic traits in 6 F2 hybrid crosses of rice.

Crosses	Agronomic traits					
	Flowering date	Plant height	Number of panicle per plant	Number of good grains per plant	1,000-grains weight	Grains weight per plant
Jow How x RD 7	-1.1587**	0.7497	0.1994	-17.0420**	-0.7878**	-4.3397**
Jow How x Pathum Thani 1	-7.5268**	4.2634*	0.5955	-16.6870**	-1.8796**	-5.4013**
Jow How x R 258	1.3702*	2.2785	0.1160	13.8339**	0.7524*	4.0294**
RD 7 x Pathum Thani 1	0.5701	5.0263**	1.6100	19.4281**	2.0623**	10.2982**
RD 7 x R 258	-4.1295**	1.6675	0.6819*	-20.1182**	-1.1528**	-6.3066**
Pathum Thani 1 x R 258	-3.2687**	5.2096**	0.8405**	-13.4915**	0.6005*	-3.0517**

*,** Significant difference at 5% and 1%, respectively.

สำหรับการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (broad-sense heritability) พบว่าทุกลักษณะที่ทำการศึกษานั้นมีค่าค่อนข้างสูง ยกเว้นเพียงลักษณะเดียวที่มีค่าค่อนข้างต่ำ ได้แก่ ลักษณะของผลผลิตเมล็ดต่อกอ ซึ่งลักษณะอายุออกดอก ความสูง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด นอกจากมีค่าค่อนข้างสูงแล้วยังมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละคู่ผสม ชี้ให้เห็นว่าลักษณะต่าง ๆ ดังกล่าวเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมและมีการกระทำของยีนส์น้อยคู่กว่าลักษณะอื่น ลักษณะที่มีค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างน้อยที่สุดได้แก่ ลักษณะผลผลิตเมล็ดต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และจำนวนเมล็ดดีต่อกอตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าลักษณะดังกล่าวนี้เป็นลักษณะที่ถูกควบคุมและมีการกระทำของยีนส์หลายคู่เป็นลักษณะทางปริมาณ (quantitative traits) สอดคล้องกับผลงานทดลองของสุรางค์ศรี (2537); Kim *et al*., (1981) (ตารางที่ 4)

จากการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบนั้นชี้ให้เห็นว่าอายุออกดอก ความสูง จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เป็นลักษณะที่ให้ค่าประเมินอัตราพันธุกรรมแบบแคบค่อนข้างสูง ส่วนลักษณะจำนวนเมล็ดดีต่อรวง และผลผลิตเมล็ดต่อกอ พบว่าให้ค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบค่อนข้างต่ำ แสดงว่าลักษณะดังกล่าวมีส่วนของอิทธิพลของสภาพแวดล้อมมีผลกระทบต่อการแสดงออก (phenotype) ค่อนข้างสูงและมากกว่าลักษณะอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Singh and Nanda (1976) พบว่าลักษณะความสูงถูกควบคุมด้วย single major gene ลักษณะองค์ประกอบผลผลิตถูกควบคุมด้วยกลุ่มของยีนส์ (polygenic control) ส่วนอัตราพันธุกรรมแบบแคบพบว่ามีค่าสูงของลักษณะอายุออกดอก ความสูง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (ตารางที่ 5)

Table 4 Broad-sense heritability values (h^2_{bs}) of agronomic traits in 6 F2 hybrid crosses of rice.

Crosses	Flowering date	Plant height	Number of panicle per plant	Number of good grains per plant	1,000-grains weight	Grains weight per plant
Jow How x RD 7	0.9782	0.9572	0.8876	0.9297	0.9779	0.7589
Jow How x Pathum Thani 1	0.9589	0.9729	0.9164	0.9122	0.9859	0.7404
Jow How x R 258	0.8476	0.8945	0.7266	0.9768	0.9925	0.8659
RD 7 x Pathum Thani 1	0.8984	0.9502	0.9538	0.8578	0.9270	0.8717
RD 7 x R 258	0.9678	0.9305	0.7928	0.8599	0.9868	0.7405
Pathum Thani 1 x R 258	0.9604	0.9455	0.9232	0.8617	0.9926	0.7887
Average	0.9352	0.9418	0.8667	0.8897	0.8897	0.7944

Table 5 Narrow-sense heritability values (h^2_{ns}) of agronomic traits in 6 F2 hybrid crosses of rice.

Crosses	Flowering date	Plant height	Number of panicle per plant	Number of good grains per plant	1,000-grains weight	Grains weight per plant
Jow How x RD 7	0.8725	0.9442	0.8664	0.3150	0.9743	0.5365
Jow How x Pathum Thani 1	0.7753	0.8399	0.9073	0.6039	0.9281	0.4577
Jow How x R 258	0.4128	0.3770	0.5218	0.9140	0.9407	0.8604
RD 7 x Pathum Thani 1	0.8388	0.5310	0.5220	0.7599	0.3084	0.3435
RD 7 x R 258	0.6750	0.8495	0.6980	0.3570	0.9837	0.3021
Pathum Thani 1 x R 258	0.8844	0.7332	0.8664	0.7665	0.9905	0.7117
Average	0.7431	0.7125	0.7303	0.6194	0.8543	0.5353

สรุป

จากผลการศึกษาสมรรถนะการผสมเพื่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวไร่และข้าวนาสวนครั้งนี้ ชี้ให้เห็นว่าการคัดเลือกและการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่มีลักษณะขององค์ประกอบผลผลิตที่ดีและให้ผลผลิตสูง สามารถกระทำได้โดยอาศัยการถ่ายทอดลักษณะที่ดีจากข้าวนาสวนสู่ข้าวไร่ และสามารถนำลักษณะที่ดีของข้าวไร่ให้ข้าวนาสวนได้ สอดคล้องกับผลการศึกษาและรายงานการผสมข้าม ecotype ของ สุรีย์ (2533); Verma *et al*. (2002) ข้อเสนอแนะในการคัดเลือกและการปรับปรุงพันธุ์ ควรทำการคัดเลือกภายใต้สภาพแวดล้อมของข้าวที่ต้องการปรับปรุงลักษณะนั้น ๆ และเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการคัดเลือกสูงสุด และควรทำการเก็บข้อมูลและคัดเลือกลักษณะทางสรีรวิทยาและทางพืชไร่ที่สำคัญอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ลักษณะทนแล้ง ความต้านทานและทนทานต่อศัตรูพืชและลักษณะทางคุณภาพในการหุงต้ม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

บริบูรณ์ สมฤทธิ์. 2537. ข้าวไทย: ปัญหาและการปรับปรุงพันธุ์. สถาบันวิจัยข้าว, กรุงเทพฯ. 123 หน้า.

เปรมฤดี ปินทยา. 2540. การถ่ายทอดลักษณะพันธุ์เบาผลผลิตและลักษณะอื่นเชิงปริมาณของข้าวบาร์เลย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 76 หน้า.

สมเดช อิ่มมาก. 2536. โครงการวิจัยข้าวไร่ในเขตภาคเหนือตอนล่าง หน้า 65-83 ใน: เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง การพัฒนาข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 5. ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกและสถานีทดลองเครือข่าย, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สมเดช อิ่มมาก, ภิไธย รื่นถวิล, พนัส สุวรรณ และสุชา สุทธายศ. 2544. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวไร่ในภาคเหนือตอนล่าง. หน้า 73-74 ใน: รายงานผลงาวิจัยประจำปี 2541. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สุรางค์ศรี วาเพชร. 2537. การถ่ายทอดลักษณะพันธุ์เบาผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตจากการผสมพันธุ์ข้าวระหว่างจาโปนิก้าและอินดิก้า. วิทยานิพน์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 87 หน้า.

Falconer, D. S. 1989. Introduction of Quantitative Genetics. Third edition. Longman, New York. 438 pp.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. Aust. J. Biol. Sci. 9: 463-493.

Kim, H. Y., J. K. Sohn, S. K. Lee and R. K. Park. 1981. Genetic studies on quantitative characters of rice plants by diallel crosses. II. Combining ability and gene analysis for days to heading culm length, panicle length and panicle number in F2 generation. Research Reports of the Office of Rural Development, Crop Year 1981. 23: 91-99.

Singh, D. P. and J. S. Nanda. 1976. Combining ability and suitability in rice. Indian Journal Genetic 36: 10-15.

Singh, N. K., N. B. Singh, P. B. Jha and V. K. Sharma. 1992. Combining ability analysis for yield components in rice. Annual of Agriculture Research 13(3): 224-227.

Verma, O. P., U. S. Santoshi and H. K. Srivastava. 2002. Heterosis and inbreeding depression for yield and certain physiological traits in hybrids involving diverse ecotypes of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Genetics & Breeding 56(3): 267-278.