

STUDY OF HETEROSIS IN BANGLADESHI CHILLI (*Capsicum annuum* L.) LANDRACES

ESTUDIO DE LA HETEROSIS EN VARIEDADES NATIVAS DE CHILE (*Capsicum annuum* L.) DE BANGLADESH

M. Hasanuzzaman¹, M. A. Hakim^{2,3*}, M. M. Hanafi², Abdul Shukor-Juraimi⁴, M. M. Islam⁵, A. K. M. Shamsuddin⁶

¹Department of Genetics and Plant Breeding; ³Department of Agricultural Chemistry, HSTU, Dinajpur 5200, Bangladesh. ²Department of Land Management; ⁴Department of Crop Science; ⁵Department of Forest Management, Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang Selangor, Malaysia. ⁶Department of Genetics and Plant Breeding, BAU, Mymensingh, Bangladesh. (ahakimupm@gmail.com).

ABSTRACT

Chilli is an important cash crop in Bangladesh but average yield is very low (0.89 t ha^{-1}) and genetic potentiality of Bangladeshi chilli landraces for hybrid variety development has not been evaluated. The objective of this study was to find out heterotic behavior following Gardner and Eberhart model (1966) II. Six different homozygous divergent parents CCA 2, CCA 5, BARI Morich 1, CCA 11, CCA 15 and CCA 19 were used to estimate heterosis. A significant amount of heterosis was present in yield and yield contributing traits. Estimate of variety heterosis for yield per plant was significantly positive in CCA 5 and BARI Morich 1. In BARI Morich 1, the significant and positive variety heterosis for yield per plant was associated with significant and positive estimates of heterosis for number of fruits per plant and number of seeds per fruit, suggesting that these yield traits contributed to the final heterosis manifested through yield. Indigenous×exotic crosses showed significant amount of heterosis. It is possible to emphasize indigenous×exotic crosses for good fruit yield, particularly to be used as commercial hybrids. Hybrids of BARI Morich 1×CCA 19 and CCA 5×BARI Morich 1 showed better performance.

Keywords: *Capsicum annuum* L., indigenous×exotic cross, yield.

INTRODUCTION

Heterosis is an important avenue for increasing yield and other economic traits in capsicum peppers (Joshi, 1986). Chilli (*Capsicum annuum* L.) is a diploid ($2n=24$) species

RESUMEN

El chile es un cultivo comercial importante en Bangladesh pero su rendimiento promedio es muy bajo (0.89 t ha^{-1}) y la potencialidad genética de las variedades nativas de Chile de Bangladesh para desarrollar variedades híbridas no se ha evaluado. El objetivo de este estudio fue conocer el comportamiento heterótico siguiendo el modelo de Gardner y Eberhart (1966) II. Seis diferentes padres divergentes homocigóticos CCA 2, CCA 5, BARI Morich 1, CCA 11, CCA 15 y CCA 19 se usaron para estimar la heterosis. Hubo una cantidad significativa de heterosis en el rendimiento y las características que contribuyeron al rendimiento. La estimación de la heterosis varietal para rendimiento por planta fue significativamente positiva en CCA 5 y BARI Morich 1. En BARI Morich 1, la heterosis varietal significativa y positiva para el rendimiento por planta se asoció con las estimaciones significativas y positivas de heterosis para el número de frutos por planta y el número de semillas por fruto, sugiriendo que estos rasgos de rendimiento contribuyeron a la heterosis final manifiesta a través del rendimiento. Las cruza nativas×exóticas mostraron una cantidad significativa de heterosis. Se puede enfatizar las cruza nativas×exóticas para un buen rendimiento del fruto, particularmente si se usan como híbridos comerciales. Los híbridos de BARI Morich 1×CCA 19 and CCA 5×BARI Morich 1 mostraron un mejor rendimiento.

Key words: *Capsicum annuum* L., cruce nativo×exótico, rendimiento

INTRODUCCIÓN

La heterosis es una vía importante para aumentar el rendimiento y otras características económicas en los pimientos capsicum

*Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: September, 2012. Approved: August, 2013.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 47: 683-690. 2013.

and genetically self-pollinated and chasmogamous crop whose flowers open only after pollination (Lemma, 1998), and 2 to 96 % out-crossing was observed under open pollination (Tanksley, 1984; Pickersgill, 1997; AVRDC, 2000). Cross-pollination is caused by bees, by thrips and ants to a limited scale and rarely by wind (AVRDC, 2000).

Landrace varieties as parents show high heterosis and the fruit quality is higher than those of the landrace parents; besides, they show a rather good shape, smooth skin and large fruits (Milerue *et al.*, 2000). Expression of heterosis in F_1 hybrids of *Capsicum* species depends upon parents, which may be selected based on plant vigor, fruit size and yield (Greenleaf, 1947). According to Melchinger (1999), starting with genetically divergent populations as heterotic groups has advantage of maximum exploitation of heterosis and hybrid performance. Higher efficiency of inter-population improvement leads to superior hybrids by using divergent rather than genetically similar heterotic groups (Melchinger and Gumber 1998; Reif *et al.*, 2007). Genetic diversity between parents, recognized as a requirement for maximal expression of heterosis, has probably arisen through diversity in origin (geographical separation), in ancestral relationships, in gene frequencies or in morphological traits (Virmani, 1996).

The chilli landraces of Bangladesh are heterogeneous, serve as a reservoir of genetic variability for plant breeder and have survived hundreds of years through human and natural selection. Landrace crops are grown for long periods of time within a given farming system, have high capacity to tolerate local biotic and abiotic stresses and show high yield stability and intermediate yield levels under low-input agricultural systems (Zeven, 1998). Chilli landraces are selected by farmers due to their important agronomic and horticultural traits (heat level, fruit size and color, early maturity) and as a result of natural selection, are well adapted to the specific environment. Landraces of Bangladesh are grown in different confined areas and genetically distinct from each other. The local chilli landraces are City morich, Bindu, Balijuri, Diapara, Jagri, Kolabari, Abhaguz, Bogra local, Hathazari local, Halda, Comilla local, Chittagong, Naga, Bain, Kantai, Mota-morich, Lomba-morich, Ausa marich, Akashi, Matal, Kala morich, Ausadhebra, Shamali, Shikharipuri, Dhani morich and Surjamukhi

(Joshi, 1986). El chile (*Capsicum annum* L.) es una especie diploide ($2n=24$) y un cultivo genéticamente auto-polinizado y chasmógamo cuyas flores se abren sólo después de la polinización (Lemma, 1998), con 2 a 96 % de cruzamiento bajo polinización libre (Tanksley, 1984; Pickersgill, 1997; AVRDC, 2000). La polinización cruzada es causada por abejas; por hormigas y trips a una escala limitada y rara vez por el viento (AVRDC, 2000).

Las variedades nativas como padres muestran heterosis alta y la calidad del fruto es mayor que la de los padres; además, muestran una forma bastante buena, piel suave y frutos grandes (Miller *et al.*, 2000). La expresión de heterosis en los híbridos F_1 de especies de *Capsicum* depende de los padres, que se pueden seleccionar con base en el vigor de la planta, tamaño y rendimiento del fruto (Greenleaf, 1947). Según Melchinger (1999), empezar con poblaciones genéticamente divergentes como grupos heteróticos es una ventaja para la explotación máxima de la heterosis y rendimiento del híbrido. Una mayor eficiencia en el mejoramiento inter-poblacional conduce a híbridos superiores usando grupos divergentes en lugar de grupos heteróticos genéticamente similares (Melchinger y Gumber 1998; Reif *et al.*, 2007). La diversidad genética entre los padres, reconocida como requisito para la máxima expresión de la heterosis, probablemente surgió a través de la diversidad de origen (separación geográfica), en relaciones ancestrales, en frecuencias génicas o en rasgos morfológicos (Virmani, 1996).

Las variedades nativas de chile de Bangladesh son heterogéneas, sirven como reservorio de la variabilidad genética para el fito-mejorador y han sobrevivido cientos de años mediante la selección natural y humana. Los cultivos de razas nativas son por períodos largos de tiempo dentro de un sistema agrícola, tienen capacidad alta para tolerar estreses locales bióticos y abióticos y muestran alta estabilidad en rendimiento y niveles intermedios de rendimiento en sistemas agrícolas de bajos insumos (Zeven, 1998). Los agricultores seleccionan las variedades nativas de chile por sus importantes características agronómicas y hortícolas (nivel de calor, tamaño y color del fruto, madurez precoz) y debido a la selección natural, se adaptan bien al entorno específico. Las variedades

(Khaleque, 1992; Rashid, 1999), which are cultivated throughout the year.

Average green chilli yield was 1.69 t ha^{-1} during 2010-2011 (BBS, 2011), which is lower than the 1.59 t ha^{-1} (dried chilli) obtained in India during 2011-2012 (MoA, 2012). Developing hybrid varieties with desirable qualities could reverse the low productivity trend, but heterosis in chilli has not been reported yet in Bangladesh. Therefore, the objective of this study was to estimate heterosis among six parents of chilli (*Capsicum annuum* L.).

MATERIALS AND METHODS

Experimental site and soil characteristics

This experiment was carried out at the Research and Development Farm of Lal Teer Seed Limited (23.9763° N and 090.3539° E), Gazipur, Bangladesh, from October 2007 to July 2009. The soil was clay loam, slightly acidic (soil pH 6.0 to 6.5) and low in nitrogen content.

Plant materials

Chilli genotypes CCA 2 (P1), CCA 5 (P2), CCA 15 (P5) and CCA 19 (P6) were Bangladeshi landraces, BARI Morich 1 (P3) released by BARI, Bangladesh (center of origin Sri Lanka) and CCA 11 (P4) (collected from Thailand), were crossed in a diallel mating system excluding the reciprocals in winter season 2007-2008. The six genotypes were supplied by Lal Teer Seed Limited, Bangladesh. In the next winter season (2008-2009), all the six parents and their 15 F₁'s were studied.

Seed sowing, cultivation and crossing

In 2007-2008, the parental materials were sown on September 26, 2007 in seedling trays and transplanted into the field on November 3, 2007. Crossing was done in a 6×6 diallel design excluding reciprocals between December 2007 and April 2008. The mature F₁ fruits were harvested and dried and seeds were threshed and stored in a gene bank. In 2008-2009, the seeds of six parents and their 15 F₁'s were sown in seedling trays on September 10, 2008. Seedlings age of 4 to 5 leaves were transplanted to the field on October 16, 2008. Raised beds 1.5 m width were prepared for transplanting; plant to plant distance was 50 cm, row to row distance 70 cm and bed to bed distance 1.0 m which was used as drain. The experimental design was randomized complete block with three replications and the experimental unit was 3.5 m×1.5 m.

nativas de Bangladesh se cultivan en diferentes áreas confinadas y genéticamente distintas entre sí. Las variedades nativas de chiles son City morich, Bindu, Balijuri, Diapara, Jagri, Kolabari, Abhaguz, Bogra local, Hathazari local, Halda, Comilla local, Chittagong, Naga, Bain, Kantai, Mota-morich, Lomba-morich, AUSA marich, Akashi, Matal, Kala morich, AusadDebra, Shamali, Shikarpuri, Dhani morich y Surjamukhi (Khaleque, 1992; Rashid, 1999), que se cultivan todo el año.

El rendimiento promedio de chile verde fue 1.69 t ha^{-1} durante 2010-2011 (BBS, 2011), menor a 1.59 t ha^{-1} (chile seco) obtenido en la India durante 2011-2012 (Ministerio de Agricultura, 2012). El desarrollo de variedades híbridas con cualidades deseables podría revertir la tendencia hacia la baja productividad, pero la heterosis en el chile no se ha reportado aún en Bangladesh. Por tanto, el objetivo de este estudio fue estimar la heterosis entre seis progenitores de chile (*Capsicum annuum* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio del experimento y características del suelo

Este experimento se llevó a cabo en la Estación de Investigación y Desarrollo de Lal Teer Seed Limited (23.9763° N y 090.3539° E), Gazipur, Bangladesh, de octubre 2007 a julio 2009, El suelo es franco arcilloso, ligeramente ácido (pH del suelo 6.0 a 6.5) y bajo contenido de nitrógeno.

Materiales vegetales

Los genotipos de chile CCA 2 (P1), CCA 5 (P2), CCA 15 (P5) y ACC 19 (P6) fueron variedades nativas de Bangladesh, BARI Morich 1 (P3) liberado por BARI, Bangladesh (centro de origen Sri Lanka) y CCA 11 (P4) (obtenido en Tailandia), se cruzaron en un sistema de apareamiento diallelo excluyendo los recíprocos en la temporada de invierno 2007-2008. Los seis genotipos fueron suministrados por Lal Teer Seed Limited, Bangladesh. En la siguiente temporada de invierno (2008-2009) se estudiaron los seis progenitores y sus 15 F₁'s.

Siembra de semillas, cultivo y cruza

En 2007-2008, los materiales progenitores se sembraron el 26 de septiembre de 2007 en bandejas de plántulas y

Data analysis

Components of heterosis in a diallel cross were estimated according to the Gardner and Eberhart (1966) model II. The analysis was performed on individual environments using the DIALLEL-SAS05 program (Zhang *et al.*, 2005). The linear model (Zhang *et al.*, 2005) was:

$$Y_{ij} = \mu_v + 0.5(v_i + v_j) + k(h + h_i + h_j + s_{ij})$$

where Y_{ij} =mean of the cross between the i th and j th parental populations, μ_v =mean of all parental populations, v_i =varietal effects of parental population i , v_j =varietal effects of parental population j , h =average heterosis contributed by all parental populations used in crosses, h_i =average contributions of individual parental population i to the expression of heterosis, h_j =average contributions of individual parental population j to the expression of heterosis, s_{ij} =specific heterosis (specific combining ability, SCA) that occurs when parental population i is crossed to parental population j , $k=0$ when $i=j$ and $k=1$ when $i \neq j$.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of variance due to heterosis

The variances due to heterosis were significant for days to 50 % flowering, fruit length, fruit weight, number of seeds per fruit, number of fruits per plant and yield per plant (Table 1). These results suggested the presence of non-additive gene effects for these characters. Variation due to heterosis (overall heterosis) was partitioned into average, variety and specific heterosis.

Significant average heterosis (parents *vs.* F_1) of days to 50 % flowering, fruit length, fruit weight, number of fruits per plant, and yield per plant,

se trasplantaron al campo el 3 de noviembre de 2007. El cruzamiento se realizó en un diseño diallelo 6×6 excluyendo los recíprocos entre diciembre de 2007 y abril de 2008. Los frutos maduros F_1 se cosecharon y secaron y las semillas se trillaron y almacenaron en un banco de genes. In 2008-2009, las semillas de seis padres y sus 15 F_1 's se sembraron en bandejas para plántulas el 10 de septiembre, 2008. Las plántulas a la edad de 4 a 5 hojas se trasplantaron al campo el 16 de octubre de 2008. Para el trasplante se prepararon camas elevadas de 1.5 m de ancho, la distancia de planta a planta fue 50 cm, de hilera a hilera 70 cm y de cama a cama 1.0 m, la cual se usó como drenaje. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones y la unidad experimental fue 3.5 m×1.5 m.

Análisis de datos

Los componentes de la heterosis se estimaron en una cruza de diallelo de acuerdo con el modelo II de Gardner y Eberhart (1966). El análisis se realizó en ambientes individuales usando el programa DIALLEL-SAS05 (Zhang *et al.*, 2005). El modelo lineal (Zhang *et al.*, 2005) fue:

$$Y_{ij} = \mu_v + 0.5(v_i + v_j) + k(h + h_i + h_j + s_{ij})$$

donde Y_{ij} =media de la cruza entre el i -ésimo y el j -ésimo de poblaciones parentales, μ_v =media de todas las poblaciones parentales, v_i =efectos varietales de la población parental i , v_j =efectos varietales de la población parental j , h =heterosis promedio aportada por todas las poblaciones parentales utilizadas en los cruzamientos, h_i =aportaciones promedio de la población parental individual i para la expresión de la heterosis, h_j =aportaciones promedio de la población parental individual j para la expresión de la heterosis, s_{ij} =heterosis específica (aptitud combinatoria específica, ACE) que ocurre cuando la población parental i se cruza con la población parental j , $k=0$ cuando $i=j$ y $k=1$ cuando $i \neq j$.

Table 1. Values for heterosis of yield parameters in F_1 generation of chilli.

Cuadro 1. Valores para la heterosis de los parámetros de rendimiento en la generación F_1 de chile.

Source of variation	Days to 50 % flowering	Fruit length (cm)	Fruit weight (g)	Number of seeds per fruit	Number of fruits per plant	Yield per plant (g)
Heterosis	109.58**	0.90**	1.12**	547.24**	12119.29**	164847.81**
Average heterosis	146.69**	1.43**	0.40**	1.45	61317.39**	1120520.16**
Variety heterosis	66.73**	0.49**	1.48**	855.78**	7063.76**	47160.47**
Specific heterosis	129.26**	1.07**	1.00**	436.47**	9461.47**	124043.85**

* $p \leq 0.05$. ** $p \leq 0.01$.

showed heterosis. Variety heterosis was estimated to judge overall contribution of a variety to its array heterosis. The variance due to variety heterosis was significant for days to 50 % flowering, fruit length, fruit weight, number of seeds per fruit, number of fruits per plant and yield per plant. This result indicated the differences among the parental arrays for the heterosis of these characters (Table 1).

Importance of heterosis among crosses was assessed by variances due to specific heterosis which were significant for days to 50 % flowering, fruit length, fruit weight, number of seeds per fruit, number of fruits per plant and yield per plant. The results related to variance of different components of heterosis indicated that each significantly contributed to the total heterosis of the crosses. Souza and Maluf (2003) observed significant mean heterosis, varietal heterosis and specific heterosis components obtained from the Gardner-Eberhart (1966) analysis in number of seeds per fruit; however, mean heterosis was not significant in total fruit yield in *Capsicum chinense*. The varietal heterosis component of total fruit yield was not significant either, indicating that there were no significant differences among hybrid arrays of the different parental lines. The significance of the specific heterosis component in yield indicated that there are specific hybrid combinations with a high degree of heterosis. Therefore, in spite of the significance of the parental effects, the *per se* parental performance is not a good indicator of the hybrid total yield. The sum of the squares of all heterosis components contributed significantly to the treatment sum of the squares, showing the importance of non-additive genetic effects (dominance or epistasis) for the expression of number of seeds per fruit.

Variety heterosis of the parents

Among the six parents, only CCA 5 and BARI Morich 1 had significant positive estimates of yield per plant (Table 2) and significant positive estimates of heterosis for number of fruits per plant was expressed in BARI Morich 1, suggesting that this yield contributing trait contributed to the final heterosis observed through yield. Fruit weight played a significant role in parent CCA 5 by contributing significant variety heterosis in yield per plant. A

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza debido a la heterosis

Las variaciones debidas a la heterosis fueron significativas para días a 50 % de floración, longitud del fruto, peso del fruto, número de semillas por fruto, número de frutos por planta y rendimiento por planta (Cuadro 1). Estos resultados sugieren la presencia de efectos de genes no aditivos para estos caracteres. La variación debida a la heterosis (heterosis general) se repartió en heterosis promedio, heterosis varietal y heterosis específica.

La heterosis promedio significativa (padres *vs.* F_1) para días a 50 % de floración, longitud del fruto, peso del fruto, número de frutos por planta, y rendimiento por planta, mostraron heterosis. La heterosis varietal se estimó para determinar la contribución general de una variedad a su heterosis matriz. La varianza debido a la heterosis varietal fue significativa para días a 50 % de floración, longitud del fruto, peso del fruto, número de semillas por fruto, número de frutos por planta y rendimiento por planta. Este resultado indicó las diferencias entre las matrices parentales para la heterosis de estos caracteres (Cuadro 1).

La importancia de la heterosis entre cruzamientos fue evaluada por variaciones debidas a la heterosis específica que fueron significativas para días a 50 % de floración, longitud del fruto, peso del fruto, número de semillas por fruto, número de frutos por planta y rendimiento por planta. Los resultados relacionados con la variación de los diferentes componentes de la heterosis indicaron que cada uno contribuyó significativamente a la heterosis total de los cruzamientos. Souza y Maluf (2003) observaron heterosis media significativa, heterosis varietal y heterosis específica obtenidos del análisis de Gardner-Eberhart (1966) sobre el número de semillas por fruto; sin embargo, la heterosis media no fue significativa en el rendimiento total del fruto en *Capsicum chinense*. El componente de heterosis varietal del rendimiento total del fruto no fue significativo tampoco, indicando que no hubo diferencias significativas entre las matrices híbridas de las diferentes líneas progenitoras. La significancia del componente heterosis específica en el rendimiento indicó que hay combinaciones híbridas específicas con un alto grado de heterosis. Por tanto, a pesar de la importancia de los efectos parentales, el rendimiento parental *per se* no es un buen indicador

Table 2. Estimate of variety (hi) heterosis for yield parameters of chilli.**Cuadro 2. Estimación de la heterosis varietal (hi) para los parámetros de rendimiento de chile.**

Parents	Days to 50 % flowering	Fruit length (cm)	Fruit width (mm)	Fruit weight (g)	Number of seeds per fruit	Number of fruits per plant	Plant height (cm)	Yield per plant (g)
CCA 2 (P1)	-1.89	0.33**	0.16	0.16	-0.58	15.32**	-3.08*	-14.93
CCA 5 (P2)	-2.47	-0.07	-0.27	0.29**	0.47	1.16	0.90	57.99**
BARI Morich 1 (P3)	5.28**	-0.16	0.09	0.11	14.97**	45.59**	5.07**	146.69**
CCA 11 (P4)	-3.64	-0.07	-0.38	-0.90**	-21.53**	-27.40**	-1.27	-66.55**
CCA 15 (P5)	2.11	0.35**	0.71*	0.52**	4.49*	-50.65**	2.24	-94.62**
CCA 19 (P6)	0.61	-0.38**	-0.31	-0.18*	2.18	15.98**	-3.87**	-28.57*

* $p \leq 0.05$. ** $p \leq 0.01$.

significant positive estimate of number of seeds per fruits and plant height also was observed in BARI Morich 1. Souza and Maluf (2003) reported a significant positive and negative variety heterosis in seeds number per fruit, which is similar to the present result, but they found no parent significance for total fruit yield.

Specific heterosis of the crosses

Crosses P2×P3 and P3×P6 showed significant heterosis in fruit yield per plant and yield per plant, but in cross P3×P6 only number of seeds per fruit was significant (Table 3). These results are consistent with those obtained by Souza and Maluf (2003) who reported that 7 out 10 crosses were significant for specific heterosis in total fruit yield.

Top two yields per plant were obtained in cross P3×P6 (898.87g) and P2×P3 (833.63 g) (Table 4). In these two crosses parent BARI Morich 1 (Parent 3) was common, CCA 5 (Parent 2) and CCA 19 (Parent 6) were indigenous (Bangladesh) and BARI Morich 1 (Parent 3) was exotic (Sri Lanka). Indigenous×exotic crosses showed significant heterosis and they could be used for good fruit yield, as commercial hybrids,

del rendimiento total del híbrido. La suma de los cuadrados de todos los componentes de la heterosis contribuyó significativamente a la suma del cuadrado de los tratamientos, mostrando la importancia de los efectos genéticos no aditivos (dominancia o epístasis) para la expresión de número de semillas por fruto.

Heterosis varietal de los padres

Entre los seis padres, sólo CCA 5 y BARI Morich 1 tuvieron estimaciones significativas positivas de rendimiento por planta (Cuadro 2) y las estimaciones significativas positivas de heterosis por número de frutos por planta se expresaron en BARI Morich 1, sugiriendo que este rendimiento contribuyó con características aportadas a la heterosis final observada a través del rendimiento. El peso del fruto tuvo una función importante en el padre CCA 5 aportando heterosis varietal significativa en el rendimiento por planta. También se observó una estimación significativa positiva del número de semillas por fruto y altura de la planta en BARI Morich 1. Souza y Maluf (2003) reportaron una heterosis varietal positiva y

Table 3. Estimate of specific heterosis for different yield parameters of chilli.**Cuadro 3. Estimación de heterosis específica para los diferentes parámetros de rendimiento de chile.**

Cross	Days to 50% flowering	Fruit length (cm)	Number of seeds per fruit	Number of fruits per plant	Plant canopy width (cm)	Yield per plant (g)
P2×P3	-6.18**	-0.06	-1.84	38.24**	-6.77*	54.18**
P3×P6	2.40	0.10	5.14*	44.82**	0.73	176.16**

* $p \leq 0.05$. ** $p \leq 0.01$. P2=CCA 5; P3=BARI Morich 1; P6=CCA 19.

Table 4. Mean of parents and crosses of different yield parameters of chilli.
Cuadro 4. Media de padres y cruas de diferentes parámetros de rendimiento de chile.

Parents and F ₁	Days to 50 % flowering	Number of fruits per plant	Yield per plant (g)
CCA 5 (2)	37.67±1.45	141.10±4.65	313.67±10.20
BARI Morich 1 (3)	36.33±1.45	82.13±3.52	245.47±10.21
CCA 19 (6)	48.33±2.03	136.70±4.04	373.30± 9.89
P2×P3	37.00±1.73	265.67±4.61	833.63±14.66
P3×P6	54.00±2.31	284.87±4.51	898.87±13.41

P2=CCA 5; P3=BARI Morich 1; P6=CCA 19. Values are means ± standard error ❖ P2=CCA 5; P3=BARI Morich 1; P6=CCA 19. Los valores son medias ± error estándar.

as well as for developing hybrid varieties. In hybrids among Asian lines there is high heterosis, indicating genetic diversity and potential for improving hot pepper using genotypes from different regions, along with elite inbred lines from local cultivars (Marama *et al.*, 2009).

The high heterosis observed in this study suggests the usefulness of using genetically diverse germplasm in a breeding program. This is in agreement with the observations of Gill *et al.* (1973) and Shiffriss and Sacks (1980) who reported that genetic divergence of the parents in *Capsicum* species is highly related to the heterosis of the F₁. Very closely or distantly related parents showed low heterosis, but crosses between parents of intermediate divergence classes tended to show higher heterosis effect for fruit yield, fruit length and fruit weight (Geleta *et al.*, 2004) and large heterosis.

CONCLUSION

Bangladeshi land races have genetic potential for developing hybrid. This potentiality can be explored by crossing it with exotic Asian genotypes.

ACKNOWLEDGEMENT

We are thankful to the Ministry of Higher Education Malaysia for financial support through the Research University Grant Scheme to Universiti Putra Malaysia.

LITERATURE CITED

AVRDC (Asian Vegetable Research and Development Centre). 2000. Multiplying seed of pepper lines. International cooperators' guide. Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan. pp: 1.

negativa significativa en el número de semillas por fruto que es similar al presente resultado, pero no encontraron significancia del padre para el rendimiento total del fruto.

Heterosis específica de las cruas

Las cruas P2×P3 y P3×P6 mostraron una heterosis significativa en el rendimiento del fruto por planta y en el rendimiento por planta, pero en la crua P3×P6 sólo el número de semillas por fruto fue significativo (Cuadro 3). Estos resultados coinciden con los de Souza y Maluf (2003) quienes señalan que 7 de 10 cruas fueron significativas para la heterosis específica en rendimiento total del fruto.

Los dos rendimientos mayores por planta se obtuvieron en las cruas P3×P6 (898.87 g) y P2×P3 (833.63 g) (Cuadro 4). En estas dos cruas el padre BARI Morich 1 (Padre 3) era común, CCA 5 (Padre 2) y CCA 19 (Padre 6) eran nativos (Bangladesh) y BARI Morich 1 (Padre 3) era exótico (Sri Lanka). Las cruas nativas×exóticas mostraron una heterosis significativa y podrían usarse para un buen rendimiento del fruto como híbridos comerciales, y también para desarrollar variedades híbridas. En los híbridos entre líneas asiáticas hay una alta heterosis, lo que indica la diversidad y el potencial genético para mejorar el chile con genotipos de diferentes regiones, junto con las líneas puras de élite de los cultivos locales (Marama *et al.*, 2009).

La heterosis alta observada en este estudio sugiere la utilidad de usar germoplasma genéticamente diverso en un programa de mejoramiento. Esto está de acuerdo con las observaciones de Gill *et al.* (1973) y Shiffriss y Sacks (1980), quienes reportaron que la divergencia genética de los padres en las especies

- BBS (Bangladesh Bureau of Statistics). 2011. 2011 Year Book of Agricultural Statistics of Bangladesh. Bangladesh Bureau of Statistics, Ministry of Planning, GOB. Dhaka, Bangladesh. 38 p.
- Gardner, C. O., and S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.
- Geleta, L. F., M. T. Labuschagne, and C. D. Viljoen. 2004. Relationship between heterosis and genetic distance based on morphological traits and AFLP markers in pepper. *Plant Breed.* 123: 467-473.
- Gill, H. S., P. S. Thakur, and T. C. Thakur. 1973. Combining ability in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) var. Grossum Scudt. *Indian J. Agric. Sci.* 43: 918-921.
- Greenleaf, W. H. 1947. Line breeding as a method of improving the pimiento peppers. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 49: 224.
- Joshi, S. 1986. Results of heterosis breeding on sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Capsicum Eggplant Newsletter* 6: 49-50.
- Khaleque, M. A. 1992. Principal component analysis in determining the taxonomic status of chili in Bangladesh. *Bangladesh J. Bot.* 21(2): 181-193.
- Lemma, D. 1998. Seed production guideline for tomatoes, onion and hot pepper. IAR, Addis Abeba. pp: 11-27.
- Maramba, F., L. Dessalegne, C. Fininsa, and R. Sigvald. 2009. Heterosis and heritability in crosses among Asian and Ethiopian parents of hot pepper genotypes. *Euphytica* 168: 235-247.
- Melchinger, A. E. 1999. Genetic diversity and heterosis. In: Coors, J. G., and S. Pandey (eds). *The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. Proc. Int. Symp. CIMMYT, Mexico City, Mexico, 17-22 August 1997. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. pp: 99-118.
- Melchinger, A. E., and R. K. Gumber. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. In: Lamkey, K. R., and J. E. Staub (eds). *Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants*. CSSA Special Publication No. 25. Crop Science Society of America, Madison, WI. pp: 29-44.
- Milerue, N., M. Nikornpun, M. Nogluck, and N. Maneechat. 2000. Studies on heterosis of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Kasetsart J. Natural Sci.* 34(2): 190-196.
- MoA (Ministry of Agriculture). 2012. Agricultural Statistics at a Glance 2012. Directorate of Economics and Statistics, Department of Agriculture and Cooperation, Ministry of Agriculture, Government of India, New Delhi. 176 p.

Capsicum está muy relacionada con la heterosis de la F_1 . Padres relacionados muy estrechamente o muy distantes mostraron baja heterosis, pero las cruza entre padres de clases divergentes intermedias tienden a mostrar un mayor efecto de heterosis para el rendimiento del fruto, longitud del fruto y peso del fruto (Geleta *et al.*, 2004) y una gran heterosis.

CONCLUSIÓN

Las razas locales de Bangladesh tienen potencial genético para desarrollar híbridos. Esta potencialidad puede explorarse cruzándola con genotipos asiáticos exóticos.

—Fin de la versión en Español—



- Pickersgill, B. 1997. Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica* 96: 129-133.
- Rashid, M. M. 1999. Shabjee Bigghan. Rashid Publishing House, 94, old DOHS, Dhaka-1206. pp: 201-205.
- Reif, J. C., F. M. Gumpert, S. Fischer, and A. E. Melchinger. 2007. Impact of inter population divergence on additive and dominance variance in hybrid populations. *Genetics* 176: 1931-1934.
- Shifriss, C., and J. M. Sacks. 1980. The effect of distance between parents on the yield of sweet pepper × hot pepper hybrids, *Capsicum annuum* in a single harvest. *Theor. Appl. Genet.* 58(6): 253-256.
- Souza, J. A. D., and W. R. Maluf. 2003. Diallel analyses and estimation of genetic parameters of hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Scientia Agricola* 60(1): 105-113.
- Tanksley, S. D. 1984. High rates of cross-pollination in chile pepper. *Hort Sci.* 19: 580-582.
- Virmani, S. S. 1996. Hybrid in rice. *Adv Agron.* 57: 377-462.
- Zeven, A. C. 1998. Landraces: a review of definitions and classifications. *Euphytica* 104(2): 127-139.
- Zhang, Y., M. S. Kang, K. R. Lamkey. 2005. DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner Eberhart analyses. *Agron. J.* 97: 1097-1106.