

ANALYSIS OF GRAIN DENSITY AND YIELD CHARACTERS IN AROMATIC RICE GENOTYPES

ANÁLISIS DE DENSIDAD DEL GRANO Y CARACTERES DEL RENDIMIENTO EN GENOTIPOS DE ARROZ AROMÁTICO

S. M. Shahidullah^{1,2*}, M. M. Hanafi¹, M. Ashrafuzzaman¹, M. K. Uddin¹, M. Razi-Ismail¹

¹Institute of Tropical Agriculture, Universiti Putra Malaysia. 43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia. ²Bangladesh Rice Research Institute Regional Station, Sonagazi. Feni 3930, Bangladesh. (shahidullah4567@yahoo.com).

ABSTRACT

Aromatic rices (*Oryza sativa* L.) normally produce enormous spikelets of low grain weight resulting low yield. Grain weight and grain density are the vital indicators of grain filling and mainly dependent on genetic make-up. Detail study of grain density and yield components of aromatic rice is a crucial need for yield improvement. An experiment was conducted with 40 rice genotypes to assess the grain density of aromatic rices and to observe the relationships of different grain categories with yield characters. The percentage of high density grains, good grains, average grains, poor grains, partially filled grains, spikelet sterility, and thousand grain weight were found to vary in a great extent. Maximum 50 % high density grain was harvested in BR39 and a minimum 1 % in Khazar. Thousand grain weight ranged from 10 g to 30 g. The proportion of high density grains was positively correlated with thousand grain weight ($r=0.57$) and grain yield ($r=0.57$). The negative relations were found between spikelet sterility and grain yield ($r=-0.47$) and also between number of grains and thousand grain weight ($r=-0.74$). The grain yield showed the highest positive direct relation (0.23) with thousand grain weight, followed by high density grains (0.20).

Key words: *Oryza sativa*, aromatic rice, high density grain, grain yield.

INTRODUCTION

Aromatic rice is characterized by the presence of scent and often slender in shape. Since the dawn of civilization, thousands of locally

RESUMEN

Los arroces aromáticos (*Oryza sativa* L.) normalmente producen espiguillas enormes con bajo peso de los granos, que resultan en un bajo rendimiento. El peso de los granos y la densidad de los granos son indicadores vitales del llenado de los granos, y dependen principalmente de la constitución genética. El estudio detallado de la densidad del grano y los componentes del rendimiento del arroz aromático es crucial para mejorar el rendimiento. Se realizó un experimento con 40 genotipos de arroz para evaluar la densidad del grano en arroces aromáticos y para observar las relaciones de diversas categorías de granos con los caracteres del rendimiento. Se encontró que el porcentaje de granos de alta densidad, granos buenos, granos promedio, granos malos, granos parcialmente llenos, la esterilidad de espiguilla y el peso de mil granos variaron en gran medida. Un máximo de 50 % de granos de densidad alta se cosechó en BR39, y una mínima de 1 % en Khazar. El peso de mil granos varió de 10 g a 30 g. La proporción de granos de alta densidad se correlacionó positivamente con peso de mil granos ($r=0.57$) y con rendimiento del grano ($r=0.57$). Se encontraron relaciones negativas entre esterilidad de la espiguilla y rendimiento del grano ($r=-0.47$) y también entre número de granos y peso de mil granos ($r=-0.74$). El rendimiento del grano mostró la más alta relación directa y positiva (0.23) con el peso de mil granos, seguido de los granos de alta densidad (0.20).

Palabras clave: *Oryza sativa*, arroz aromático, granos de alta densidad, rendimiento del grano.

INTRODUCCIÓN

El arroz aromático se caracteriza por su aroma y con frecuencia es de forma delgada. Desde el inicio de las civilizaciones, han evolucionado miles de genotipos de arroces aromáticos que se

*Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: June, 2009. Approved: November, 2009.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 44: 325-337. 2010.

adapted genotypes of aromatic rices have evolved because of natural and human selection (Singh *et al.*, 2000). Aromatic rices constitute a small group that is usually used for special dish preparation in festivals and special occasions rather than in common and regular purpose. In addition, it is a high value cash crop for farmers (Singh *et al.*, 2000). These rices emit aroma in fields, at harvesting, in storage, during milling, cooking and eating (Shahidullah *et al.*, 2009). Aroma development is influenced by both genetic factors and environment. Pleasant aroma is a result of a large number of compounds present in specific proportion (Yajima *et al.*, 1978). A popcorn like aroma component 2-acetylcysteine, is an important flavour component of several aromatic varieties (Laksanlamai and Ilangantileke, 1993).

Most of the aromatic rice varieties are low yielding because of its traditional plant type, low grain weight but with enormous spikelets. Grain density is normally higher for larger grain size, however it is also dependent on grain filling. Different rice genotypes with same grain size are found to have different grain density (Yamamoto *et al.*, 1991). This indicates that poor grain filling found in the cultivars with enormous spikelets could be genetically improved through utilizing available genetic resources. It was also suggested that the rate and duration of grain filling in rice affect final grain traits such as weight and density (Yang *et al.*, 2008; Jongkaewwattana and Geng, 2001; Wang *et al.*, 1999).

Information obtained from correlation coefficients can be augmented by partitioning the relationships into direct and indirect effect for a given set of relationships a prior cause-and-effect. In such situations, the correlation coefficients may be confounded with indirect effects due to common association inherent in trait interrelationships. Path coefficient analysis has proven useful in providing information that describes prior cause-and-effect relationships, such as rice yield and components (Vlek *et al.*, 1979). The relationships among different components and on path analysis for wet-seeded and irrigated rices has been evaluated (Wells and Faw, 1978; Jongkaewwattana and Geng, 2001; Huan *et al.*, 1999). However, such type of studies on grain density of aromatic rices have not been performed. So, the objective of this research was to evaluate the relationships among grain density and

adaptan localmente, debido a la selección natural y humana (Singh *et al.*, 2000). Los arroces aromáticos son un pequeño grupo que usualmente se usa para preparar platillos especiales en festivales y ocasiones especiales, y no para un fin ordinario y regular. Además, es un cultivo de alto valor monetario para los agricultores (Singh *et al.*, 2000). Estos arroces emiten aroma en los campos, al cosecharse, almacenados, al molerlos, cocinarlos y comerlos (Shahidullah *et al.*, 2009). El desarrollo del aroma está influido por factores genéticos y ambientales. Un aroma agradable se debe a un gran número de compuestos presentes en cierta proporción (Yajima *et al.*, 1978). Un aroma parecido a las palomitas, del compuesto 2-acetil-1-pirrolina, es un componente importante en el sabor de varias variedades aromáticas (Laksanlamai e Ilangantileke, 1993).

La mayoría de las variedades de arroz aromático son de bajo rendimiento debido al tipo tradicional de la planta, con bajo peso de los granos pero enormes espiguillas. La densidad de los granos normalmente es más alta para granos más grandes, pero, también depende del llenado de los granos. Distintos genotipos de raíz con el mismo tamaño del grano muestran una distinta densidad del grano (Yamamoto *et al.*, 1991). Esto indica que el llenado pobre de los granos, observado en las variedades con espiguillas enormes, se podría mejorar genéticamente usando los recursos genéticos disponibles. También se sugirió que la tasa y la duración del llenado de los granos en el arroz afectan las características finales del grano como el peso y la densidad (Yang *et al.*, 2008; Jongkaewwattana y Geng, 2001; Wang *et al.*, 1999).

La información obtenida de coeficientes de correlación se puede aumentar al dividir las relaciones entre el efecto directo e indirecto para un cierto conjunto de relaciones a prior de causa y efecto. En dichas situaciones, los coeficientes de correlación pueden confundirse con efectos indirectos debido a la asociación común inherente a las interrelaciones de las características. El análisis de coeficiente de ruta es útil para dar información que describe las relaciones previas de causa y efecto, como el rendimiento del arroz y los componentes (Vlek *et al.*, 1979). Se ha determinado las relaciones entre distintos componentes y el análisis de ruta para arroces de semilla húmeda e irrigados (Wells y Faw, 1978; Jongkaewwattana y Geng, 2001; Huan *et al.*, 1999). Sin embargo, no se ha estudiado la densidad de los granos en arroces

yield components and to determine the effect of the factors on grain yield of aromatic rice genotypes.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at the farm of Bangladesh Rice Research Institute (BRRI), Gazipur, in transplant Aman (lowland rice culture in wet season), July-December, 2005. Forty rice genotypes composed of 32 local aromatic, five exotic and three non-aromatic rice varieties as standard checks, were selected for this research (Table 1). Non-aromatic varieties were BR28, BR39 and Nizersail. Local improved Nizersail is a standard photoperiod sensitive variety whereas BR28 and BR39 are modern varieties released for extensive commercial cultivation in Bangladesh. Exotic genotypes were collected from Pakistan (Basmati PNR346), Nepal (Sarwati and Sugandha-1) and Iran (Khazar and Neimat). The rest of the materials are representing their distribution throughout Bangladesh. Forty rice genotypes formed the treatment variables and were assigned randomly to each unit plot of 5 m×2 m dimension.

Thirty day-old seedlings were transplanted on the 15th August, 2005, according to a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Transplanting was done at the spacing of 20 cm×20 cm. A fertilizer rate of 25-35-10-3 kg ha⁻¹ of P-K-S-Zn as triple super phosphate, muriate of potash, gypsum and zinc sulphate, was applied at final land preparation (BRRI, 1995). Because of wide genotypic variation in phenological development and yield potential, varieties differed enormously in attaining panicle initiation (PI) stage and in the requirement of nutrient elements. For this reason, nitrogen was top-dressed as urea in 2-3 splits instead of the common dose with fixed time routine. The amount of urea and time of application were determined with a leaf colour chart (Ladha *et al.*, 1998). The dose of total N application was 40 to 75 kg ha⁻¹.

All the panicles of randomly selected four plants (hills) in each plot were used as a sample to count the number of grains (Gomez, 1972). A random sample of 1000 well-developed, whole grains at 14 % moisture content was weighed on an electronic balance to determine of grain weight. Spikelet sterility was calculated from four plant samples per plot:

$$\text{Sterility (\%)} = \frac{\text{Number of unfilled spikelets}}{\text{Total number of spikelets}} \times 100$$

Plants were harvested at crop maturity (116 and 154 d after sowing depending on genotypes). All the plants of a 5 m² sample area were cut at base. After threshing and cleaning, the fresh weight of grains was recorded and adjusted to 14 % moisture content:

aromáticos. Por ende, el objetivo de este estudio fue evaluar las relaciones entre la densidad del grano y los componentes del rendimiento, y para determinar el efecto de los factores en el rendimiento del grano en genotipos de arroz aromático.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la granja del Bangladesh Rice Research Institute (BRRI), Gazipur, con el transplante Aman (cultivo de arroz de tierras bajas durante temporada de lluvia), de julio a diciembre, 2005. Se seleccionó 40 genotipos de arroz: 32 variedades aromáticas, cinco exóticas y tres no aromáticas, como testigos estándar (Cuadro 1). Las variedades no aromáticas fueron BR28, BR39 y Nizersail. La Nizersail localmente mejorada es una variedad estándar sensible al fotoperíodo, mientras que BR28 y BR39 son variedades modernas lanzadas para cultivo comercial extensivo en Bangladesh. Se recolectaron genotipos exóticos de Pakistán (Basmati PNR346), Nepal (Sarwati y Sugandha-1) e Irán (Khazar y Neimat). El resto de los materiales representan su distribución en Bangladesh. Las variables de tratamiento fueron 40 genotipos de arroz asignados aleatoriamente a unidades de parcela de 5 m×2 m de dimensión.

Se transplantaron plántulas de 30 d el 15 de agosto de 2005, de acuerdo con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El transplante se realizó con distancia de 20 cm×20 cm. La fertilización fue 25-35-10-3 kg ha⁻¹ de P-K-S-Zn como súper fosfato triple, muriato de potasio, yeso y sulfato de zinc, al final de la preparación de la tierra (BRRI, 1995). Debido a la alta variación genotípica en el desarrollo fenológico y el potencial de rendimiento, las variedades difirieron mucho para alcanzar la etapa de iniciación de las panojas (IP) y en el requerimiento de elementos nutritivos. Por esta razón, el nitrógeno se aplicó sobre la superficie como urea en divisiones 2-3, en lugar de una dosis común con rutina de tiempo fija. La cantidad de urea y el tiempo de aplicación se determinaron con una tabla de colores de hojas (Ladha *et al.*, 1998). La dosis total de aplicación de N fue 40 a 75 kg ha⁻¹.

Todas las panojas de cuatro plantas (colinas) seleccionadas al azar en cada parcela se usaron como muestra para contar el número de granos (Gomez, 1972). Una muestra aleatoria de 1000 granos enteros, bien desarrollados, con 14 % de contenido de humedad, se pesó en una balanza electrónica para determinar el peso de los granos. La esterilidad de las espiguillas se calculó con cuatro muestras de plantas por parcela:

$$\text{Esterilidad (\%)} = \frac{\text{Número de espiguillas sin llenar}}{\text{Número total de espiguillas}} \times 100$$

Table 1. Size and shape of grains and partitions of grains on grain density in 40 rice genotypes.**Cuadro 1. Tamaño y forma de los granos, y divisiones de los granos en densidad del grano, en 40 genotipos de arroz.**

| Genotypes | Size and shape | HDG (%) | Good grains (%) | Average grains (%) | Poor grains (%) | Part. filled grains (%) |
|-----------------------|----------------|---------|-----------------|--------------------|-----------------|-------------------------|
| 01. Badsha bhog | Short bold | 19.03 | 36.58 | 17.23 | 4.56 | 3.44 |
| 02. Baoi jhak | Short bold | 4.61 | 37.97 | 32.71 | 5.67 | 3.46 |
| 03. Basmati Tapl-90 | Medium slender | 40.33 | 25.36 | 8.19 | 4.47 | 3.70 |
| 04. Basmati PNR 346 | Medium slender | 42.02 | 17.38 | 10.05 | 4.66 | 4.38 |
| 05. Begun bichi | Short bold | 16.65 | 51.36 | 13.47 | 4.09 | 2.08 |
| 06. Benaful | Medium bold | 32.86 | 21.89 | 12.98 | 6.54 | 10.37 |
| 07. Bhog ganjia | Short slender | 16.61 | 29.86 | 18.10 | 8.13 | 10.60 |
| 08. BR28 | Medium slender | 21.93 | 42.20 | 12.52 | 3.09 | 4.45 |
| 09. BR38 | Medium slender | 18.29 | 37.15 | 17.99 | 8.64 | 7.89 |
| 10. BR39 | Long slender | 49.61 | 17.79 | 5.04 | 5.06 | 6.73 |
| 11. Chinigura | Short round | 20.30 | 25.24 | 12.54 | 7.87 | 5.49 |
| 12. Chinikani | Short bold | 4.94 | 37.31 | 24.34 | 11.72 | 9.95 |
| 13. Darshal | Short bold | 14.80 | 26.60 | 16.40 | 15.04 | 4.40 |
| 14. Doiar guro | Short bold | 11.23 | 43.25 | 16.59 | 8.31 | 4.63 |
| 15. Elai | Long slender | 22.71 | 27.48 | 12.23 | 6.02 | 6.98 |
| 16. Gandho kasturi | Medium bold | 14.47 | 25.29 | 25.16 | 11.63 | 14.97 |
| 17. Gandhoraj | Short bold | 6.65 | 38.96 | 12.07 | 9.72 | 12.92 |
| 18. Hatisail | Short bold | 5.12 | 27.53 | 23.69 | 16.81 | 9.75 |
| 19. Jamai sohagi | Short bold | 10.41 | 24.83 | 23.31 | 10.96 | 7.72 |
| 20. Jata katari | Short slender | 5.05 | 28.71 | 22.45 | 14.19 | 8.44 |
| 21. Jesso balam | Short bold | 8.35 | 31.88 | 24.23 | 10.44 | 7.58 |
| 22. Jira katari | Short bold | 18.46 | 25.43 | 19.82 | 11.13 | 6.51 |
| 23. Kalijira Tapl-73 | Short bold | 4.06 | 31.40 | 23.61 | 19.47 | 4.18 |
| 24. Kalomai | Short bold | 14.02 | 16.82 | 24.60 | 21.07 | 6.17 |
| 25. Kamini soru | Short bold | 10.77 | 37.99 | 17.56 | 16.08 | 6.31 |
| 26. Kataribhog | Short bold | 12.33 | 24.60 | 19.59 | 18.75 | 2.81 |
| 27. Khazar | Long slender | 0.51 | 3.97 | 17.08 | 25.64 | 9.15 |
| 28. Laljira Tapl-130 | Short round | 12.54 | 29.52 | 21.24 | 12.78 | 5.33 |
| 29. Niemat | Long slender | 22.75 | 19.59 | 16.91 | 13.76 | 4.39 |
| 30. Nizersail | Medium bold | 14.53 | 24.21 | 12.72 | 10.21 | 7.80 |
| 31. Philippine katari | Short bold | 1.82 | 25.12 | 25.10 | 13.37 | 12.42 |
| 32. Premful | Short bold | 5.53 | 40.52 | 26.00 | 9.69 | 4.80 |
| 33. Radhuni pagal | Short bold | 15.08 | 26.02 | 15.81 | 14.60 | 8.95 |
| 34. Rajbhog | Short bold | 6.84 | 42.72 | 16.09 | 14.39 | 2.73 |
| 35. Sai bail | Short bold | 21.16 | 20.00 | 18.65 | 16.90 | 9.56 |
| 36. Sakkor khora | Short round | 33.21 | 22.25 | 12.77 | 14.30 | 3.82 |
| 37. Sarwati | Long slender | 29.80 | 19.51 | 16.85 | 8.03 | 6.75 |
| 38. Sugandha-1 | Long slender | 28.78 | 20.34 | 10.50 | 12.86 | 8.98 |
| 39. Tilkapur | Short bold | 3.87 | 22.62 | 19.71 | 17.66 | 5.02 |
| 40. Ukni madhu | Short bold | 13.91 | 28.98 | 22.18 | 13.51 | 4.45 |
| GCV (%) | - | 30.34 | 32.29 | 31.76 | 24.83 | 24.40 |
| PCV (%) | - | 30.59 | 32.68 | 32.35 | 25.20 | 25.79 |
| SE | - | 0.56 | 0.83 | 0.64 | 0.39 | 0.44 |
| CV (%) | - | 5.9 | 5.1 | 6.2 | 5.8 | 11.2 |

HDG=high density grain; GCV=genotypic coefficient of variation; PCV=phenotypic coefficient of variation; SE=standard error; CV=coefficient of variation ✧ HDG=grano de alta densidad; GCV=coeficiente de variación genotípico; PCV=coeficiente de variación fenotípico; SE=error estándar; CV=coeficiente de variación.

$$\text{Grain yield} = \frac{FW(100-MC)}{100-14}$$

where, *FW*=fresh weight of the grains; *MC*=% moisture in the fresh grains.

Las plantas se cosecharon al alcanzar la madurez (116 y 154 d después de la siembra, dependiendo del genotipo). Todas las plantas de un área de 5 m² de muestreo se cortaron en la base. Después de trillarlas y limpiarlas, se registró el peso fresco de los granos y se ajustó a 14 % contenido de humedad:

Rice grains of a variety are graded according to the density:

| Grade of grains | Specific gravity |
|----------------------------|------------------|
| Chaff and partially filled | < 1.00 |
| Poor | 1.00-1.06 |
| Average | 1.06-1.14 |
| Good | 1.14-1.20 |
| High density | > 1.20 |

Twenty gram samples from the whole plot harvest were used to sort out grains of different specific gravity. The solutions of different specific gravity were prepared using sodium chloride in tap water. The specific gravity of tap water is 1.0. To raise the level of specific gravity by 0.02 30 g salt L⁻¹ water are required (Rao *et al.*, 1985; Rao, 1991; Venkateswarlu *et al.*, 1986); with this rate, solutions of 1.06, 1.14 and 1.20 specific gravity were prepared. The necessary adjustments were made with salt to maintain the specific gravity levels while standardizing with hydrometer. The sample was placed in a beaker containing 1 L normal tap water, and stirred. The floating grains were taken out with a plastic mesh and pressed with the finger to identify chaff and partially filled. The submerged grains were transferred to 1.06 specific gravity solution and the floated grains were separated. The process was continued for 1.14 and 1.20 specific gravity levels and the floated grains were counted in each of solution levels for specific grades.

Data on 10 characters related to grain density and yield variables (% HDG, % good grains, % average grains, % poor grains, % partially filled grains, % sterility, number of panicles m⁻², number of filled grains panicle⁻¹, 1000-grain weight, and grain yield) were subjected to several statistical analyses to interpret the results. The ANOVA and some descriptive statistics were performed through IRRISTAT Windows 4.01 and Microsoft® Office Excel®. Genotypic (GCV) and phenotypic (PCV) coefficients of variation were estimated according to Burton (1952) as follows:

$$GCV = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{x}}$$

$$PCV = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{x}}$$

where σ_g^2 = genotypic variance; σ_p^2 = phenotypic variance; \bar{x} = population mean.

To understand the association between any two variables simple correlation (r) was calculated from average data:

$$\text{Rendimiento de los granos} = \frac{PF(100 - CH)}{100 - 14}$$

donde, PF = peso fresco de los granos; CH = % de humedad en los granos frescos.

Los granos de arroz de una variedad se califican de acuerdo con la densidad, como:

| Calificación de granos | Gravedad específica |
|----------------------------|---------------------|
| Vacío y parcialmente lleno | < 1.00 |
| Malo | 1.00-1.06 |
| Promedio | 1.06-1.14 |
| Bueno | 1.14-1.20 |
| Alta densidad | > 1.20 |

Muestras de 20 g de toda la cosecha de la parcela se usaron para separar los granos de distinta gravedad específica. Las soluciones de distinta gravedad específica se prepararon utilizando cloruro de sodio en agua potable. La gravedad específica del agua potable es 1.0 y se requiere 30 g de sal L⁻¹ de agua para elevar el nivel de gravedad específica por 0.02 (Rao *et al.*, 1985; Rao, 1991; Venkateswarlu *et al.*, 1986); con esta tasa se prepararon soluciones de 1.06, 1.14 y 1.20 de gravedad específica. Se hicieron los ajustes necesarios con sal para mantener los niveles de gravedad específica, a la vez que se estandarizó con un hidrómetro. La muestra se colocó en un matraz con 1 L de agua potable normal, y se agitó. Los granos que flotaban se sacaron con una coladera de plástico y se presionaron con el dedo para identificar los vacíos y los parcialmente llenos. Los granos sumergidos se transfirieron a una solución de 1.06 gravedad específica y se separaron los granos que flotaban. El proceso continuó para los niveles de gravedad específica 1.14 y 1.20, y se contaron los granos flotantes en cada nivel de solución para grados específicos.

Con los datos de 10 caracteres relacionados con la densidad del grano y las variables del rendimiento (% HDG, % granos buenos, % granos promedio, % granos malos, % granos parcialmente llenos, % esterilidad, número de panojas m⁻², número de granos llenos panoja⁻¹, peso de 1000 granos, y rendimiento del grano) se efectuaron varios análisis estadísticos para interpretar los resultados. La prueba de ANOVA y algunas estadísticas descriptivas se llevaron a cabo con IRRISTAT Windows 4.01 y Microsoft® Office Excel®. Los coeficientes de variación genotípicos (CVG) y fenotípicos (CVF) se estimaron según Burton (1952):

$$CVG = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{x}}$$

$$r = \frac{COV_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \times \sigma_y^2}}$$

where COV_{xy} =covariance between the characters x and y ; σ_x^2 =variance of the character x ; σ_y^2 =variance of the character y .

Path analysis was performed according to Singh (2000); a series of simultaneous equations are constructed using the estimates of simple correlation coefficients (r):

$$\begin{aligned} r_{17} &= P_{17} + r_{12} \cdot P_{27} + \dots + r_{15} \cdot P_{57} + r_{16} \cdot P_{67} \\ r_{27} &= r_{12} \cdot P_{17} + P_{27} + \dots + r_{26} \cdot P_{67} + r_{26} \cdot P_{67} \\ &\dots \\ r_{67} &= r_{16} \cdot P_{17} + r_{26} \cdot P_{27} + \dots + r_{56} \cdot P_{57} + P_{67}. \end{aligned}$$

where r_{12} , r_{13} etc., are the estimates of simple correlation coefficients between, traits 1 and 2, 1 and 3 etc., and P_{17} , P_{27} are the estimates of direct effects of trait 1, 2, on the dependent variable i.e. trait 7 (grain yield in this case). After placing the values of correlation coefficients in the equations, direct and indirect effects of component traits are estimated by the process of elimination.

RESULTS AND DISCUSSION

Genotypes characterization

Ten characters belonging to grain density and yield variables are shown in Tables 1 and 2. High density grain (HDG), having specific gravity higher than 1.20, is a highly desirable trait in a rice cultivar. Rice genotypes varied to a great extent for the number and percentage of HDG: minimum (0.51 %) for Khazar and maximum (49.61 %) for BR39. Khazar possessed a long slender grain with a thousand grain weight over 22 g (Table 2). In spite of larger grain size, it seldom bears high density grain. Grain density is dependent on genetic makeup, but it is influenced by nutritional factors to some extent. Translocation or upward movement of nutrients may affect grain filling and hence grain density (Murthy and Murthy, 1982). Our results agree with the findings reported BRRI (1995), that BR14 showed 31-36 % high density grains, whereas Pajam and BR5 had 1-5 %; Tulsimala had no high density grain at all. In the present study, enormous variations were found in the genotypes for the portion of good grains (specific

$$CVF = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{x}}$$

donde, σ_g^2 =varianza genotípica; σ_p^2 =varianza fenotípica; \bar{x} =promedio de población.

Para comprender la asociación entre dos variables se calculó la correlación simple (r) con datos promedio:

$$r = \frac{COV_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \times \sigma_y^2}}$$

donde, COV_{xy} =covarianza entre los caracteres x y y ; σ_x^2 =varianza del carácter x ; σ_y^2 =varianza del carácter y .

El análisis de ruta se efectuó según Singh (2000); una serie de ecuaciones simultáneas se construyen usando cálculos de coeficientes de correlación simples (r):

$$\begin{aligned} r_{17} &= P_{17} + r_{12} \cdot P_{27} + \dots + r_{15} \cdot P_{57} + r_{16} \cdot P_{67} \\ r_{27} &= r_{12} \cdot P_{17} + P_{27} + \dots + r_{26} \cdot P_{67} + r_{26} \cdot P_{67} \\ &\dots \\ r_{67} &= r_{16} \cdot P_{17} + r_{26} \cdot P_{27} + \dots + r_{56} \cdot P_{57} + P_{67}. \end{aligned}$$

donde, r_{12} , r_{13} , etc., son cálculos de coeficientes de correlación simples entre los caracteres 1 y 2, 1 y 3, etc., y P_{17} , P_{27} son los cálculos de efectos directos de los caracteres 1, 2, en la variable dependiente, por ejemplo, carácter 7 (rendimiento del grano en este caso). Después de poner los valores de coeficientes de correlación en las ecuaciones, se estimaron los efectos directos e indirectos de los caracteres componentes por un proceso de eliminación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los genotipos

Diez caracteres de la densidad del grano y variables rendimiento se muestran en los Cuadros 1 y 2. Granos de alta densidad (GAD), con gravedad específica mayor a 1.20, es una característica altamente deseada en una variedad de arroz. Los genotipos de arroz variaron en gran medida en número y porcentaje de GAD: mínimo (0.51%) para Khazar y máximo (49.61%) para BR39. Khazar presentó un grano largo y delgado, con peso de mil granos mayor a 22 g (Cuadro 2). A pesar de tener granos más grandes, es raro que presente granos de alta densidad. La densidad del grano

Table 2. Yield and yield components of forty rice genotypes.**Cuadro 2. Rendimiento y componentes del rendimiento de cuarenta genotipos de arroz.**

| Genotypes | No. of panicles m ⁻² | Filled grains panicle ⁻¹ | Spikelet sterility (%) | Thousand grain wt. (g) | Grain yield (t ha ⁻¹) |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 01. Badsha bhog | 231 | 111.20 | 19.16 | 12.67 | 2.86 |
| 02. Baoi jhak | 261 | 144.08 | 15.58 | 10.09 | 2.88 |
| 03. Basmati Tapl-90 | 253 | 89.10 | 17.95 | 17.37 | 3.23 |
| 04. Basmati PNR 346 | 244 | 79.72 | 21.52 | 22.39 | 3.24 |
| 05. Begun bichi | 254 | 140.54 | 12.36 | 10.92 | 2.90 |
| 06. Benaful | 184 | 70.37 | 15.36 | 30.53 | 2.88 |
| 07. Bhog ganjia | 269 | 73.62 | 16.69 | 16.73 | 2.56 |
| 08. BR28 | 233 | 94.31 | 15.82 | 21.02 | 3.95 |
| 09. BR38 | 248 | 93.81 | 10.04 | 20.56 | 4.19 |
| 10. BR39 | 203 | 109.14 | 15.78 | 24.44 | 4.21 |
| 11. Chinigura | 231 | 112.43 | 28.56 | 13.48 | 2.83 |
| 12. Chinikani | 194 | 156.73 | 11.73 | 12.00 | 2.88 |
| 13. Darshal | 193 | 156.61 | 22.77 | 15.14 | 2.99 |
| 14. Doiar guro | 225 | 138.05 | 15.99 | 11.63 | 2.91 |
| 15. Elai | 230 | 71.43 | 24.57 | 24.42 | 3.35 |
| 16. Gandho kasturi | 192 | 77.88 | 8.48 | 30.84 | 3.20 |
| 17. Gandhoraj | 220 | 134.89 | 19.68 | 12.22 | 2.53 |
| 18. Hatisail | 262 | 96.79 | 17.11 | 12.60 | 2.93 |
| 19. Jamai sohagi | 200 | 123.71 | 22.77 | 10.77 | 2.49 |
| 20. Jata katari | 228 | 132.84 | 21.16 | 13.41 | 2.98 |
| 21. Jesso balam | 233 | 124.69 | 17.53 | 10.98 | 2.91 |
| 22. Jira katari | 213 | 134.82 | 18.65 | 12.23 | 2.94 |
| 23. Kalijira Tapl-73 | 264 | 104.56 | 17.27 | 12.99 | 2.29 |
| 24. Kalomai | 225 | 98.41 | 17.33 | 16.35 | 3.01 |
| 25. Kamini soru | 212 | 186.88 | 11.30 | 11.30 | 3.14 |
| 26. Kataribhog | 231 | 124.82 | 21.93 | 11.86 | 2.84 |
| 27. Khazar | 90 | 73.15 | 43.64 | 22.16 | 1.42 |
| 28. Laljira Tapl-130 | 211 | 135.98 | 18.61 | 13.66 | 3.00 |
| 29. Niemat | 244 | 74.20 | 22.59 | 27.94 | 2.98 |
| 30. Nizersail | 286 | 92.69 | 30.53 | 17.41 | 3.27 |
| 31. Philippine katari | 246 | 142.88 | 22.17 | 13.45 | 3.01 |
| 32. Premful | 229 | 171.00 | 13.45 | 10.52 | 2.96 |
| 33. Radhuni pagal | 204 | 95.98 | 19.53 | 14.59 | 2.42 |
| 34. Rajbhog | 214 | 169.08 | 17.23 | 9.99 | 2.74 |
| 35. Sai bail | 251 | 90.14 | 13.73 | 18.41 | 3.14 |
| 36. Sakkor khora | 277 | 113.02 | 13.64 | 14.57 | 3.10 |
| 37. Sarwati | 231 | 81.69 | 19.06 | 20.91 | 3.25 |
| 38. Sugandha-1 | 155 | 112.98 | 18.55 | 24.24 | 3.90 |
| 39. Tilkapur | 250 | 112.74 | 31.12 | 12.38 | 2.81 |
| 40. Ukni madhu | 250 | 148.48 | 16.98 | 11.39 | 3.13 |
| GCV (%) | 15.36 | 26.77 | 33.49 | 35.74 | 16.21 |
| PCV (%) | 15.78 | 26.90 | 34.29 | 35.79 | 16.46 |
| SE | 4.76 | 1.78 | 0.81 | 0.18 | 0.05 |
| CV (%) | 3.6 | 2.7 | 7.4 | 2.0 | 2.8 |

HDG=high density grain; GCV=genotypic coefficient of variation; PCV=phenotypic coefficient of variation; SE=standard error; CV=coefficient of variation ❖ HDG=grano de alta densidad; GCV=coeficiente de variación genotípico; PCV=coeficiente de variación fenotípico; SE=error estándar; CV=coeficiente de variación.

gravity=1.14-1.20), from 3.97 % to 51.36 %. A notable observation is that Khazar holds the poorest position regarding good grains. Maximum percentage of good grains was produced by Begun bichi with short bold grain type having 10.92 g of thousand grain weight (Tables 1 and 2). The average grade of grains with specific gravity 1.06-1.14 was also found to vary in a large extent. The maximum portion of average grain was produced by Baoi jhak (32.71 %) and the minimum by BR39 (5.04 %). The range of poor grains was 3.09 % (BR28) to 25.64 % (Khazar). This data indicates the best grain filling in the modern variety BR28. The highest level of partially filled grains was observed in Gandho kasturi (14.97 %). The genotypes Gandho kasturi and Benaful hold the highest thousand grain weight, over 30 g (Table 2). Grain filling of the genotype might be affected by its extreme late maturity (data not shown).

Yield components

Number of panicles per unit area is the most important component of rice yield and it accounts for 89 % of the variation of grain yield (Miller *et al.*, 1991; Yoshida *et al.*, 1972). In our study, number of panicles m^{-2} varied from 90 (Khazar) to 286 (Nizersail). The total number of filled grains per panicle (the aggregate of different grades of spikelets) also differed markedly, between 70 (Benaful) and 187 (Kamini soru). The highest spikelet sterility was 44 % in Khazar and the lowest 8 % in Gandho kasturi (Table 2). Combined effect of spikelet sterility as well as lower grain density leads the cultivar to produce the lowest grain yield ($1.42 t ha^{-1}$). Among the characters studied, thousand grain weight showed the largest variation: lowest, 9.99 g in Rajbhog; highest, 30.48 in Gandho kasturi. In aromatic rices a lower thousand grain weight is preferred; by natural selection, most of the aromatic rice races show a low yield, as well as lower grain weight. Grain yield is important for a producer; in our study it ranged between 1.42 to $4.21 t ha^{-1}$. Aromatic rice is considered as the best in quality; so, its lower yield could be accepted to satisfy consumers' demand (Singh *et al.*, 2000).

The genotypic and phenotypic coefficients of variations for each character are shown in the Tables 1 and 2. The highest GCV was 36 % for thousand grain

depende de la constitución genética, pero, es influida hasta cierto punto por factores nutricionales. La translocación o movimiento ascendente de nutrientes puede afectar el llenado de los granos y, por ende, la densidad de los granos (Murthy y Murthy, 1982). Los resultados del presente estudio coinciden con los reportados por BRRI (1995) de que BR14 presentó 31-36 % de granos de alta densidad, mientras que Pajam y BR5 tuvieron 1-5 %; Tulsimala no tuvo granos de alta densidad. En el presente estudio hubo enormes variaciones en los genotipos para la porción de granos buenos (gravedad específica=1.14-1.20), de 3.97 % a 51.36 %. Una notable observación es que Khazar tiene la última posición respecto a granos buenos. El máximo porcentaje de granos buenos lo produjo Begun bichi, con un tipo de grano corto y franco, y peso de mil granos de 10.92 g (Cuadros 1 y 2). También se encontró que el grado promedio de los granos con gravedad específica de 1.06-1.14 varió considerablemente. La porción máxima de granos promedio fue producida por Baoi jhak (32.71%) y la mínima por BR39 (5.04%). El intervalo de granos pobres fue de 3.09 % (BR28) a 25.64 % (Khazar). Estos datos indican que el mejor llenado de los granos ocurrió en la variedad moderna BR28. El nivel más alto de granos parcialmente llenos se observó en Gandho kasturi (14.97 %). Los genotipos Gandho kasturi y Benaful tienen el peso de mil granos más alto, mayor a 30 g (Cuadro 2). El llenado de granos del genotipo puede estar afectado por su madurez, que es extremadamente tardía (no se muestran los datos).

Componentes del rendimiento

El número de panojas por unidad de área es el componente más importante del rendimiento del arroz y es responsable del 89 % de la variación en el rendimiento (Miller *et al.*, 1991; Yoshida *et al.*, 1972). En el presente estudio, el número de panojas m^{-2} varió de 90 (Khazar) a 286 (Nizersail). El número total de granos llenos por panoja (el agregado de distintos grados de espiguilla) también difirió marcadamente, de 70 (Benaful) a 187 (Kamini soru). La esterilidad de espiguilla más alta fue 44 % en Khazar, y la menor 8 % en Ghando kasturi (Cuadro 2). El efecto combinado de esterilidad de espiguilla, así como la menor densidad del grano, llevó a la variedad a producir el menor rendimiento del grano ($1.42 t ha^{-1}$). Entre los caracteres estudiados,

weight, followed by spikelet sterility (33 %) and the percentage of good grains (32 %). The lowest value of GCV was observed for the number of panicles per square meter (15 %) followed by grain yield (16 %) and the percentage of partially filled grains (24 %). The GCV for the rest of the characters ranged between 25 to 30 %. Higher GCV in a character gives a better opportunity for a cross combination to obtain a wider variation. Most of the characters showed little differences between PCV and GCV which indicated negligible influence of environment on the expressions of these characters. However, spikelet sterility showed slightly higher differences between GCV and PCV, indicating comparatively higher influence of environments on the expression of the characters. Low values of GCV and PCV have been reported for plant height and panicle length of wheat (Das and Rahman, 1984). Amin *et al.* (1992) observed closeness of PCV and GCV for a few characters and a large difference between PCV and GCV for others.

Relationships among the traits

Relationships among the different grades of spikelets and yield related variables were determined through simple correlation coefficient (r) and 10 characters were subjected to correlation matrix (Table 3). Among the 45 correlation coefficient values, 3 were positive and 7 negative ($p \leq 0.05$). The highest positive r value (0.58) was recorded between the number of filled grains per panicle and the percentage of good grains. The percentage of high density grains was positively correlated with thousand grain weight ($r=0.57$) and grain yield ($r=0.57$). Neither the number of panicles m^{-2} nor the percentage of partially filled grains were correlated to any other characters. The percentage of high density grains showed negative relationship between average grade of grains ($r=-0.74$) and the percentage of poor grade of grains ($r=-0.52$). Finally, grain yield showed a significant positive relationship with high density grain and a negative with spikelet sterility ($r=-0.47$) and with the percentage of poor grains ($r=-0.49$). Positive relationship of high density grain with grain yield and thousand grain weight, and negative relationship between the number of grains and thousand grain weight and also between

el peso de mil granos tuvo el mayor intervalo: menor en Rajbhog, de 9.99 g; y mayor en Ghando kasturi, 30.48 g. En arroces aromáticos se prefiere un bajo peso de mil granos; por selección natural, la mayoría de las razas de arroces aromáticos son de menor rendimiento, así como de menor peso de los granos. El rendimiento del grano es importante para un productor, y en el presente estudio varió de 1.42 t ha^{-1} a 4.21 t ha^{-1} . Se considera que el arroz aromático es de la mejor calidad y podría aceptarse su menor rendimiento para satisfacer la demanda de los consumidores (Singh *et al.*, 2000).

Los coeficientes genotípico y fenotípico de las variaciones para cada carácter se muestran en los Cuadros 1 y 2. El CVG más alto fue 36 % para el peso de mil granos, seguido de esterilidad de espiguillas (33 %) y el porcentaje de granos buenos (32 %). El menor valor de CVG se observó para el número de panojas por metro cuadrado (15 %), seguido del rendimiento del grano (16 %) y el porcentaje de granos parcialmente llenos (24 %). El CVG para los otros caracteres varió de 25 a 30 %. Un mayor CVG en un carácter da una mejor oportunidad de una combinación cruzada para lograr mayor variación. La mayoría de los caracteres mostraron pocas diferencias entre CVF y CVG, lo que indicó una influencia insignificante del ambiente en la expresión de estos caracteres. Sin embargo, la esterilidad de las espiguillas mostró diferencias levemente mayores entre CVG y CVF, indicando una influencia comparativamente mayor de los ambientes en la expresión de los caracteres. Se reportan valores bajos de CVG y CVF para altura de la planta y largo de la panoja en trigo (Das y Rahman, 1984). Amin *et al.* (1992) observaron cercanía de CVF y CVG para algunos caracteres y mucha diferencia entre CVF y CVG para otros.

Relaciones entre las características

Las relaciones entre los distintos grados de espiguillas y variables relacionados con el rendimiento se determinaron con el coeficiente de correlación simple (r), y hay 10 caracteres en una matriz de correlación (Cuadro 3). Entre los 45 valores de coeficiente de correlación, 3 fueron positivos y 7 negativos ($p \leq 0.05$). El valor r positivo más alto (0.58) se registró entre el número de granos llenos por panoja y el porcentaje de granos buenos. El porcentaje de granos

Table 3. Matrix for correlation coefficients (r) showing the simple linear relationship among grain yield and yield contributing characters.**Cuadro 3. Matriz de coeficientes de correlación (r) que muestran la relación simple lineal entre rendimiento del grano y caracteres que contribuyen al rendimiento.**

| Characters | (01) | (02) | (03) | (04) | (05) | (06) | (07) | (08) | (09) | (10) |
|--|-------|---------|--------|-------|--------|---------|---------|--------|------|------|
| (01) No. of panicles m ⁻² | - | | | | | | | | | |
| (02) Filled grains panicle ⁻¹ | -0.01 | - | | | | | | | | |
| (03) Spikelet sterility (%) | -0.30 | -0.26 | - | | | | | | | |
| (04) Partially filled grains (%) | -0.30 | -0.27 | -0.03 | - | | | | | | |
| (05) Poor grains (%) | -0.29 | 0.09 | 0.34 | 0.14 | - | | | | | |
| (06) Average grains (%) | 0.10 | 0.33 | -0.17 | 0.13 | 0.37 | - | | | | |
| (07) Good grains (%) | 0.33 | 0.58** | -0.54* | -0.26 | -0.42 | 0.17 | - | | | |
| (08) HDG (%) | 0.06 | -0.45* | -0.18 | -0.17 | -0.52* | -0.74** | -0.32 | - | | |
| (09) Thousand grain wt. (g) | -0.31 | -0.74** | 0.04 | 0.36 | -0.16 | -0.41 | -0.51** | 0.57** | - | |
| (10) Grain yield (t ha ⁻¹) | 0.25 | -0.05 | -0.47* | -0.07 | -0.49* | -0.34 | 0.12 | 0.57** | 0.35 | - |

spikelet sterility and grain yield are shown in Figure 1. Different levels of correlation have been reported for grain yield and related components of modern, lowland and winter rice varieties (Bai *et al.*, 1992; Manuel and Palanisamy, 1989; Vange *et al.*, 1999).

Effects of traits on grain yield

Most contributing six variables were subjected to path analysis where correlation coefficients were partitioned. Direct and indirect effects were quantified and they are shown in Table 4. Thousand grain weight was found to have the highest correlation (0.23) with grain yield, the percentage of high density grain was second (0.20) followed by the number of panicles (0.17). The most negative correlation (-0.32) was found between spikelet sterility and grain yield. In this analysis it is observed that a considerable portion of effects were unexplained and remained as residual effect (0.69). Kumar *et al.* (1998) showed direct and indirect effects of component characters on yield, for some rice cultivars across different locations in winter.

CONCLUSION

Grain density of aromatic rices vary over the range of genotypes. Higher grain weight is a crude indicator of heavier specific gravity. However, grain density may not follow the pattern of grain weight. Grain yield showed the highest positive correlation with thousand grain weight, followed by the percentage of high density grains.

de alta densidad estuvo positivamente correlacionado con el peso de mil granos ($r=0.57$) y el rendimiento del grano ($r=0.57$). El número de panojas m⁻² no tuvo correlación significativa en otras características, y tampoco el porcentaje de granos parcialmente llenos. El porcentaje de granos de alta densidad mostró una relación negativa con el grado promedio de los granos ($r=-0.74$) y con el porcentaje de granos de grado malo ($r=-0.52$). Finalmente, el rendimiento de los granos tuvo una relación significativa positiva con granos de alta densidad y una negativa con esterilidad de la espiguilla ($r=-0.47$) y con el porcentaje de granos malos ($r=-0.49$). La relación positiva de los granos de alta densidad con el rendimiento del grano y el peso de mil granos, y la relación negativa entre el número de granos y el peso de mil granos, y también entre la esterilidad de la espiguilla y el rendimiento del grano, se muestran en la Figura 1. Distintos niveles de correlación se han reportado entre rendimiento del grano y componentes relacionados en variedades de arroz modernas, de tierras bajas y de invierno (Bai *et al.*, 1992; Manuel y Palanisamy, 1989; Vange *et al.*, 1999).

Efectos de los caracteres en el rendimiento del grano

Las seis variables que más contribuyeron se usaron en el análisis de ruta, donde se dividieron los coeficientes de correlación. Los efectos directos e indirectos se cuantificaron y se presentan en el Cuadro 4. Se encontró que el peso de mil granos tuvo la más alta correlación (0.23) con el rendimiento del grano,

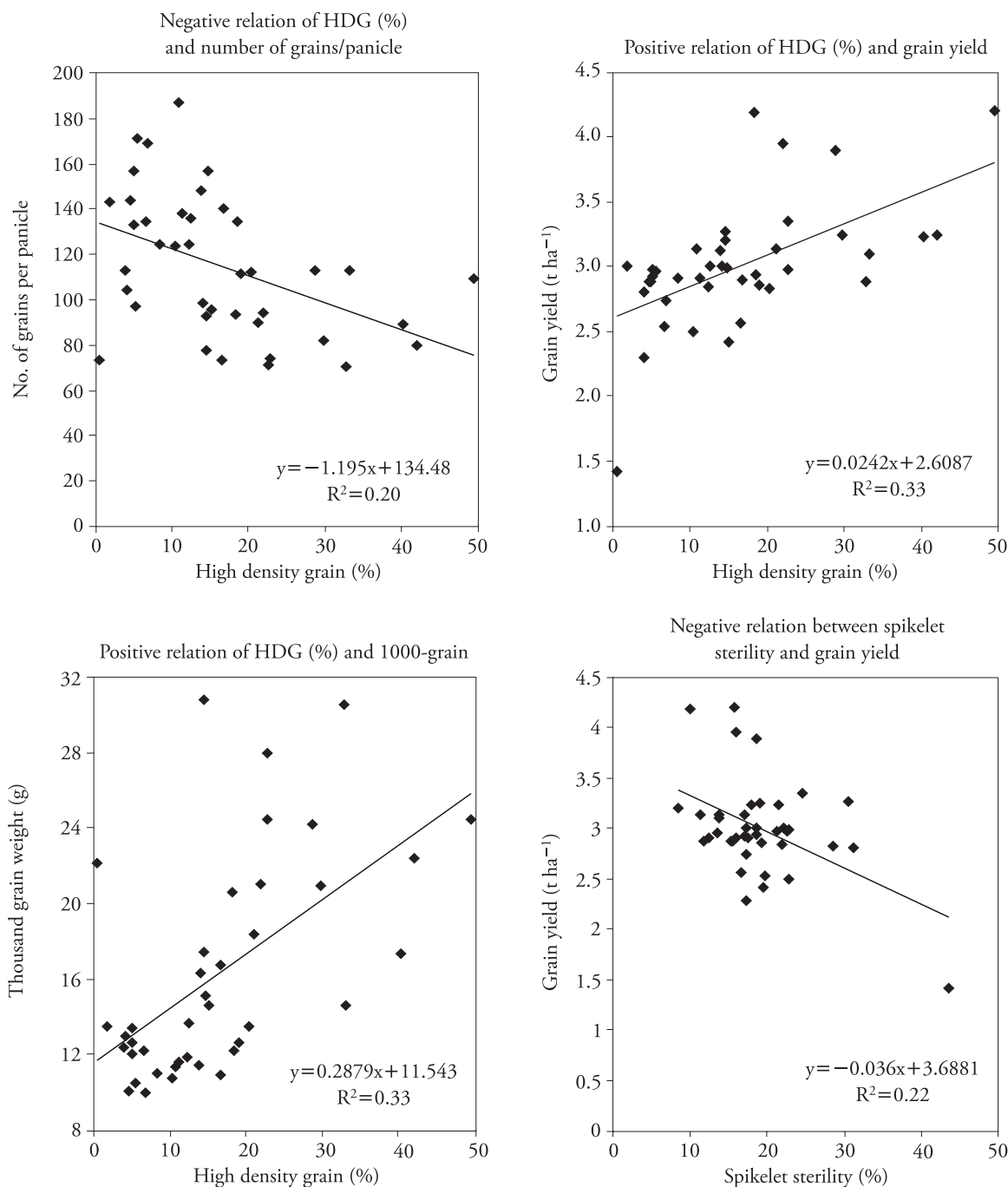


Figure 1. Relationships among grain yield and yield contributing characters in aromatic rice genotypes.

Figura 1. Relaciones entre rendimiento del grano y caracteres que contribuyen al rendimiento en genotipos de arroz aromático.

LITERATURE CITED

- Amin, M. R., D. C. N. Barma, and M.A. Razzaque. 1992. Variability, heritability, genetic advance and correlation in durum wheat. RACHIS 11: 30-32.
- Bai, N. R., R. Devika, A. Regina, and C. A. Joseph. 1992. Correlation of yield and yield components in medium duration rice cultivars. Environ. Ecol. 10(2): 459-470.

el porcentaje de granos fue segundo (0.20), seguido del número de panojas (0.17). La correlación más negativa (-0.32) se encontró entre la esterilidad de la espiguilla y el rendimiento del grano. En este análisis se observa que una porción considerable de los efectos no se explicaron y permanecieron como un efecto residual (0.69). Kuram *et al.* (1998) mostraron

Table 4. Direct effects (in bold) and indirect effects of different characters on grain yield of aromatic rices.**Cuadro 4. Efectos directos (en negritas) y efectos indirectos de distintos caracteres sobre el rendimiento del grano de arroces aromáticos.**

| Characters | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | Correlation with grain yield |
|-------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|------------------------------|
| 01. No. of panicles m ⁻² | 0.17 | -0.08 | 0.05 | -0.01 | 0.02 | 0.07 | 0.25 |
| 02. Spikelet sterility (%) | -0.05 | -0.32 | -0.06 | 0.02 | -0.04 | 0.01 | -0.47 |
| 03. Poor grains (%) | -0.05 | -0.12 | -0.18 | -0.04 | -0.10 | -0.03 | -0.49 |
| 04. Average grains (%) | 0.01 | 0.05 | -0.07 | -0.11 | -0.15 | -0.09 | -0.34 |
| 05. High density grain (%) | 0.01 | 0.06 | 0.09 | 0.08 | 0.20 | 0.12 | 0.57 |
| 06. Thousand grain wt. (g) | -0.05 | -0.01 | 0.04 | 0.04 | 0.16 | 0.23 | 0.35 |

Residual effect=0.69

- BIRRI (Bangladesh Rice Research Institute). 1995. Annual Report for 1995. Publication No. 126. Bangladesh Rice Res. Inst., Gazipur, Bangladesh. 253 p.
- Burton, G. M. 1952. Quantitative inheritance in grasses. Proc. 6th Int. Grassland Congr. 6: 277-283.
- Das, M. K., and L. Rahman. 1984. Estimates of genotypic and phenotypic variability, heritability and genetic advance in common wheat. Bangladesh J. Agric. Res. 9(1): 15-18.
- Gomez, K. A. 1972. Techniques for field experiments with rice. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Laguna, Philippines. 46 p.
- Huan, T. T. N., T. Q. Khuong, P. S. Tan, and H. Hiraoka. 1999. Path-coefficient analysis of direct-seeded rice yield and yield components as affected by seeding rates. OmonRice. 7: 104-110.
- Jongkaewattana, S., and S. Geng. 2001. Inter-relationships amongst grain characteristics, grain filling parameters and rice (*Oryza sativa* L.) milling quality. J. Agron. Crop Sci. 187: 223-229.
- Kumar, G. S., M. Mahadevappa, and M. Rudraradhya. 1998. Studies on genetic variability, correlation and path analysis in rice during winter across the locations. Karnataka J. Agric. Sci. 11(1): 73-77.
- Ladha, J. K., G. J. D. Kirk, J. Bennett, S. Peng, C. K. Reddy, P. M. Reddy, and U. Singh. 1998. Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved lowland rice germplasm. Field Crops Res. 56: 41-71.
- Laksanlamai, V., and S. Ilangantileke. 1993. Comparison of aroma compound 2-acetylcysteine-1-pyrroline in leaves from pandan. Cereal Chem. 70: 381-384.
- Manuel, W. W., and S. Palanisamy. 1989. Heterosis and correlation in rice. *Oryza* 26(3): 238-242.
- Miller, B. C., J. E. Hill, and S. R. Roberts. 1991. Plant population effects on growth and yield in water seeded rice. Agron. J. 83: 291-297.
- Murthy, P. S. S., and K. S. Murthy. 1982. Influence of source and sink on spikelet sterility in rice. Madras Agric. J. 10: 104-108.
- Rao, S. P. 1991. Influence of source and sink on the production of high density grain and yield in rice. Indian J. Plant Physiol. XXXIV(4): 339-348.
- Rao, S. P., B. Venkateswarlu, and T. L. Acharyulu. 1985. Screening technique for differentiating the degree of spikelet filling in rice. Plant and Soil 88: 289-293.
- Singh, B. D. 2000. Biometrical techniques in plant breeding. In: Plant Breeding -Principles and Methods. Kalyani

la presencia de efectos directos e indirectos de los caracteres componentes sobre el rendimiento, para algunas variedades de arroz en distintas ubicaciones durante el invierno.

CONCLUSIONES

La densidad de los granos de arroces aromáticos varía en la gama de genotipos. Un mayor peso de los granos es un indicador burdo de una mayor gravedad específica. Sin embargo, la densidad del grano puede no seguir el patrón de peso de los granos. El rendimiento del grano tuvo la correlación positiva más alta con el peso de mil granos, seguido del porcentaje de granos de alta densidad.

—Fin de la versión en español—



- Publishers, Rajinder Nagar, Ludhiana 141008, India. pp: 107-131.
- Singh, R. K., U. S. Singh, and G. S. Khush. 2000. Aromatic Rices. Oxford and IBH publishing Co. Pvt. Ltd. New Delhi. 292 p.
- Shahidullah, S. M., M. M. Hanafi, M. Ashrafuzzaman, M. Razi Ismail, and A. Khair. 2009. Genetic diversity in grain quality and nutrition of aromatic rices. Afr. J. Biotechnol. 8(7): 1238-1246.
- Vange, T., A. A. Ojo, and L. L. Bello. 1999. Genetic variability, stability and correlation studies in lowland rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Indian J. Agric. Sci. 69(1): 30-33.
- Venkateswarlu, B., B. S. Vergara, F. T. Parao, and R. M. Visperas. 1986. Enhancing grain yield potentials in rice by increasing the number of high density grains. Philipp. J. Crop Sci. 11: 145-152.
- Vlek, P. L. G., C. W. Hong, and L. J. Y. Youngdahl. 1979. An analysis of N nutrition of yield and yield components for the improvement of rice fertilization in Korea. Agron. J. 71: 829-833.

- Wang, G., M. S. Kang, and O. Moreno. 1999. Genetic analyses of grain-filling rate and duration in maize. *Field Crops Res.* 61: 211-222.
- Wells, B. R., and W. Faw. 1978. Short-statured rice response to seeding and N rates. *Agron. J.* 70: 477-480.
- Yajima, I., T. Yanai, and M. Nakamura. 1978. Volatile flavour components of cooked rice. *Agric. Biol. Chem.* 42: 1229-1233.
- Yamamoto Y, T. Yoshida, T. Enomoto, and Yoshikawa G. 1991. Characteristics for the efficiency of spikelet production and the ripening in high-yielding japonica-indica hybrid and semidwarf indica rice varieties. *Japan. J. Crop Sci.* 60: 365-372.
- Yang, W., S. Peng, Maribel L. Dionision-See, Rebecca C. Laza, and Romeo M. Visperas. 2008. Grain filling duration, a crucial determinant of genotypic variation of grain yield in field-grown tropical irrigated rice. *Field Crops Res.* 105: 221-227.
- Yoshida, S., J. H. Cock, and F. T. Parao. 1972. Physiological aspects of high yields. *In: Rice Breeding*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. pp: 455-469.