

CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE REPOLLO EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN Y NITRÓGENO

CABBAGE GROWTH AND PRODUCTION IN RELATION TO PLANT DENSITY AND NITROGEN

Arthur B. Cecílio-Filho*, Rodrigo Luiz-Cavarianni, Júlio C. Caetano de-Castro, Juan W. Mendoza-Cortez

Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brazil. (rutra@fcav.unesp.br).

RESUMEN

Actualmente, el mercado brasileño prefiere repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) de menor tamaño, que puede conseguirse aumentando la densidad poblacional pero este manejo puede alterar la dosis óptima de nitrógeno (N), su segundo nutrimento más requerido. El presente estudio se realizó en la Universidad Estatal Paulista de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, de febrero a junio de 2004. El objetivo fue evaluar el efecto de la densidad de población: 31 250 (D1) y 46 875 plantas ha⁻¹ (D2) con 0, 100, 200 y 300 kg de N ha⁻¹ en el crecimiento y producción de repollo Astrus. El diseño experimental fue de bloques al azar, con arreglo factorial 2×4, y tres repeticiones. Se realizó análisis de varianza (prueba de F), las medias de la densidad poblacional fueron analizadas con la prueba de Tukey y las dosis de N con regresión polinomial. En D1 aumentó, por planta, el número de hojas internas y externas, la materia seca de hojas internas y externas, el diámetro del tallo en la inserción de la cabeza, la materia seca y fresca del tallo. El máximo tamaño de la planta en D2 fue 1.57 kg obtenida con 300 kg de N ha⁻¹, mientras que en D1 fue 2.1 kg y se obtuvo con 244 kg de N ha⁻¹. La dosis óptima económica en D1 fue 227.1 kg de N ha⁻¹. La mayor producción (72.7 t ha⁻¹) se obtuvo con la dosis de N más alta en D2. Cabezas menores de repollo, preferidas comercialmente, se obtuvieron sin la aplicación de N, independientemente de la población de plantas.

Palabras clave: *Brassica oleracea* var. *capitata*, distanciamiento entre plantas, fertilización nitrogenada.

ABSTRACT

At present, the Brazilian market prefers cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) of smaller size, which can be achieved by increasing population density; yet this management can alter the optimum rate of nitrogen (N), its second most required nutrient. This study was conducted in the Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brazil, from February to June 2004. The objective was to evaluate the effect of population density: 31 250 (D1) and 46 875 plants ha⁻¹ (D2) with 0, 100, 200 and 300 kg N ha⁻¹ on the growth and production of cabbage Astrus. The experimental design consisted of randomized blocks with a 2×4 factorial arrangement and three replicates. Statistical analysis were a variance analysis (F test), the Tukey test for population density averages and polynomial regression for the N rates. In D1, an increase was recorded in the number of inner and outer leaves, dry matter of inner and outer leaves, the stem diameter at the insertion of the head, and the stem dry and fresh matter. The maximum size of the plant in D2 was 1.57 kg and was obtained with 300 kg N ha⁻¹, while in D1 it was 2.1 kg and was obtained with 244 kg N ha⁻¹. The optimal economic rate in D1 was 227.1 kg N ha⁻¹. The highest yield (72.7 t ha⁻¹) was obtained with the highest N rate in D2. Smaller cabbage heads, commercially preferred, were obtained without the application of N, regardless of plant population.

Key words: *Brassica oleracea* var. *capitata*, distance between plants, nitrogen fertilization.

INTRODUCTION

Cabbage Astrus (*Brassica oleracea* var. *capitata*) is the best-selling vegetable in Brazil among the Brassicaceae family species. However, there are few studies on the management of this crop. In the Brazilian Congress of Olericulture 2007, of the

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2010. Aprobado: mayo, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 573-582. 2011.

INTRODUCCIÓN

El repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) Astrus es la hortaliza con mayor comercialización en Brasil entre las especies de la familia Brassicaceae. No obstante los estudios acerca del manejo de su cultivo son limitados. En el Congreso Brasileño de Olericultura del 2007, de los 835 trabajos presentados sólo 2.4 % fueron acerca de ese cultivo. Entre los factores que afectan su producción y su tamaño están la densidad de población y la fertilización nitrogenada, los cuales interactúan entre sí, con el ambiente del cultivo y con los cultivares. El aumento en la densidad del cultivo disminuye su tamaño (Silva, 1987; Filgueira, 2000). Según Aquino *et al.* (2005b), la reducción en la distancia entre líneas, de 80 a 40 cm, disminuye la materia fresca, el diámetro transversal y longitudinal del repollo. Reghin *et al.* (2007) indican que el tamaño del híbrido Sekai disminuye al reducir la distancia entre plantas (1.52 kg con 40 cm; 1.12 kg con 20 cm), pero aumenta la producción por unidad de superficie. Diferentemente, al reducir la distancia entre plantas de 40 a 20 cm hubo mayor producción total y comercial, mayor diámetro y volumen de la cabeza de repollo y menor porcentaje de materia seca (Znidarcic *et al.*, 2007). Por tanto, la alteración de la densidad promueve modificaciones en la planta que afectan la demanda por nutrimentos. Así, la variación en la distancia entre plantas afecta la absorción de N y la acumulación de nitrato en la planta (Aquino *et al.*, 2005a).

En el cultivo de repollo el N es el segundo nutrimento más requerido, después del K (Filgueira, 2000) para la formación y calidad del producto comercial (Aquino *et al.*, 2005b; Haque *et al.*, 2006; Moreira *et al.*, 2011). Según Trani *et al.* (1999), las especies de la familia Brassicaceae responden favorablemente a la fertilización nitrogenada y la producción aumenta con 300 kg de N ha⁻¹. Cuando el N es deficiente se reduce la producción, se atrasa la maduración y se perjudica el sabor (Nogueira *et al.*, 1983). Un exceso de N ocasiona grietas, disminuye la compactación de la cabeza del repollo (Peck, 1981; Silva, 1991) y aumenta la concentración de nitrato en las hojas (Kowal y Barker, 1981; Aquino *et al.*, 2005b; Moreira *et al.*, 2011).

Los estudios que recomienden la fertilización nitrogenada apropiada para los híbridos tipo F1, con alto potencial productivo y que están disponibles

835 papers presented, only 2.4 % were about this crop. Among the factors affecting its production and its size are population density and nitrogen fertilization, which interact with each other, with the crop environment and cultivars. Increased crop density reduces size (Silva, 1987; Filgueira, 2000). According to Aquino *et al.* (2005b), distance reduction between the rows, from 80 to 40 cm, decreases cabbage fresh matter and transverse and longitudinal diameter. Reghin *et al.* (2007) indicate that the size of the hybrid Sekai decreased by reducing distance between the plants (1.52 kg with 40 cm, 1.12 kg with 20 cm), but increased production per unit area. Differently, as distance between plants decreased from 40 to 20 cm the total and commercial production was higher, also leading to a greater diameter and volume of cabbage head and a lower percentage of dry matter (Znidarcic *et al.*, 2007). Therefore, density alteration promotes changes in the plant that affect the demand for nutrients. Thus, the variation in plant spacing influences N uptake and the accumulation of nitrate in the plant (Aquino *et al.*, 2005a).

In the cultivation of cabbage, N is the second most required nutrient after K (Filgueira, 2000) for the growth and quality of the commercial product (Aquino *et al.*, 2005b; Haque *et al.*, 2006, Moreira *et al.*, 2011). According to Trani *et al.* (1999), species of the Brassicaceae family respond favorably to nitrogen fertilization, and production increases with 300 kg N ha⁻¹. When N is deficient production drops, maturation is delayed and taste is impaired (Nogueira *et al.*, 1983). Excess N causes cracks, reduces head cabbage compaction (Peck, 1981; Silva, 1991) and increases the concentration of nitrate in leaves (Kowal and Barker, 1981; Aquino *et al.*, 2005b; Moreira *et al.*, 2011).

The studies recommending suitable nitrogen fertilization for F1 hybrids, with high yield potential and available for producers are scarce. The N rate recommended for crops varies from 75 to 260 kg ha⁻¹ (Bora *et al.*, 1992; Trani *et al.*, 1997; Filgueira, 2000). Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of population density and nitrogen rate on the growth and production of the cabbage Astrus hybrid.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at UNESP, Jaboticabal Campus, São Paulo, Brazil, between February 18 and June 2,

para los productores, son escasos. La dosis de N recomendada para el cultivo varía de 75 a 260 kg ha⁻¹ (Bora *et al.*, 1992; Trani *et al.*, 1997; Filgueira, 2000). Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de la densidad de población y la dosis de nitrógeno sobre el crecimiento y producción del híbrido Astrus de repollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la UNESP, Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, entre el 18 de febrero y 2 de junio de 2004, en un suelo clasificado como Latossolo Roxo Eutrófico, A moderado, y textura muy arcillosa (Andrioli y Centurion, 1999). Los tratamientos fueron: la densidad de población, 31 250 (D1) y 46 875 plantas ha⁻¹ (D2), y el N 0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹. El diseño experimental fue bloques al azar, con arreglo factorial (2×4) y tres repeticiones. Las parcelas tuvieron 1.1 m de anchura por 3.2 m de longitud. En D1 (baja) habían 16 plantas distribuidas en dos hileras con separación de 0.80×0.40 m, y en D2 (alta) 24 plantas, en tres hileras, con arreglo triangular y separación de 0.40×0.40 m.

Tres meses antes del experimento se recolectaron 20 muestras de suelo entre de 0 a 0.20 m de profundidad, se homogenizaron para obtener una muestra compuesta y se analizó químicamente según la metodología descrita por Raij *et al.* (1987). Sus características fueron: pH (CaCl₂) 5.5; materia orgánica 27 g dm⁻³; P_(resina) 56 mg dm⁻³; K, Ca, Mg, H+Al, CIC 3, 38, 12, 28 y 81 mmol_c dm⁻³; y saturación de bases 65 %. El encalado y fertilizaciones con fósforo y potasio se realizó según Trani *et al.* (1997). En presiembra, excepto en el tratamiento 1 (0 kg de N ha⁻¹), se aplicaron 30 kg de N ha⁻¹ como nitrato de amonio; en cobertura se aplicaron las cantidades restantes para alcanzar 100, 200 y 300 kg de N ha⁻¹, divididas en cantidades iguales a los 15, 30 y 50 d después del trasplante (DDT).

Del 18 de febrero al 17 de marzo se produjeron las plántulas en bandejas de poliestireno expandido, con capacidad para 128 plántulas, y sustrato Plantmax. Las plántulas recibieron control fitosanitario, control de arvenses por deshierbe manual, riego por aspersión, y se trasplantaron el 18 de marzo, 30 d después de la siembra (DDS), cuando presentaban cuatro hojas. El 2 de junio (105 DDS) se realizó la cosecha cuando los repollos fertilizados con 200 y 300 kg de N ha⁻¹ se encontraban compactos y con la hoja externa del borde iniciando su separación.

Las variables fueron promedio de seis plantas por parcela: 1) número de hojas internas de la cabeza (NHI) (hojas planta⁻¹), 2) número de hojas externas (NHE) o fotosintetizantes (hojas planta⁻¹), 3) materia seca (MS) de las hojas internas (MSHI): las hojas internas de la cabeza fueron lavadas con

2004, in a soil classified as Eutrophic Latossolo Roxo, moderate A, and of very clayey texture (Andrioli and Centurion, 1999). The treatments were: population density, 31 250 (D1) and 46 875 plants ha⁻¹ (D2), and N 0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹. The experimental design consisted of randomized blocks with factorial arrangement (2×4) and three replicates. Each plot was 1.1 m wide and 3.2 m in length; in D1 (low) there were 16 plants distributed in two rows with a separation of 0.80×0.40 m, and in D2 (high) 24 plants in three rows under triangular arrangement and a separation of 0.40×0.40 m.

Three months before the experiment 20 soil samples from 0 to 0.20 m deep were collected, homogenized to obtain a composite sample and analyzed chemically according to the methodology described by Raij *et al.* (1987). Their characteristics were: pH (CaCl₂) 5.5; organic matter 27 g dm⁻³; P_(resin) 56 mg dm⁻³; K, Ca, Mg, H + Al, CIC 3, 38, 12, 28 and 81 mmol_c dm⁻³; and base saturation 65 %. Liming and phosphorus and potassium fertilization were performed according to Trani *et al.* (1997). In preplanting, except in treatment 1 (0 kg N ha⁻¹) 30 kg N ha⁻¹ were applied as ammonium nitrate. The remaining amounts were applied in the cover, reaching 100, 200 and 300 kg N ha⁻¹, divided into equal amounts 15, 30 and 50 d after transplanting (DAT).

From February 18 to March 17 the seedlings emerged in expanded polystyrene trays with a capacity for 128 seedlings, and Plantmax substrate. Seedlings were given phytosanitary control, weed control by hand weeding, sprinkler, and then transplanted on March 18, 30 d after planting (DAP), when four leaves had grown. On June 2 (105 DAS) harvest was carried out when the cabbages fertilized with 200 and 300 kg N ha⁻¹ were compact, with the edge outer leaf starting to separate.

The variables were average of six plants per plot: 1) number of leaves inside the head (NHI) (leaves plant⁻¹), 2) number of outer leaves (NHE) or photosynthesizing (plant leaves⁻¹), 3) dry matter (DM) of the inner leaves (MSHI): the inner leaves of the heads were washed with deionized water and dried 96 h in an oven with forced air at 65 °C, and then weighed (g plant⁻¹), 4) DM of the outer leaves (MSHE): the procedure was similar to MSHI but with photosynthesizing leaves (g plant⁻¹), 5) stem DM (MST): the stem was separated from the leaves using the procedure for MSHE (g plant⁻¹), 6) the stem diameter at the insertion of the head (DTI), evaluated with a digital meter (mm), 7) head fresh matter (MFR): 10 heads of the control plot were weighed on a digital scale (kg plant⁻¹), and 8) cabbage production: obtained by the product of MFR average by planting densities (t ha⁻¹). The economic optimum rate was assessed when production means were adjusted to the second-degree polynomial equation (p≤0.05 and with higher R²) depending on the N rate. The price (in reais, R) of green cabbage was considered at R\$ 380.00 t⁻¹

agua desionizada y secadas 96 h en una estufa con circulación forzada de aire a 65 °C, y después fueron pesadas (g planta⁻¹), 4) MS de las hojas externas (MSHE): el procedimiento fue similar a MSHI, pero con las hojas fotosintetizantes (g planta⁻¹), 5) MS del tallo (MST): el tallo fue separado de las hojas y se siguió el procedimiento descrito para MSHE (g planta⁻¹), 6) diámetro del tallo en la inserción de la cabeza (DTI), evaluado con un parquímetro digital (mm), 7) materia fresca de la cabeza (MFR): se pesaron 10 cabezas de la parcela útil en una balanza digital (kg planta⁻¹), y 8) producción del repollo: obtenida por el producto del promedio de MFR por las densidades de plantío (t ha⁻¹). La dosis óptima económica se evaluó cuando las medias de la producción se ajustaron a la ecuación polinomial de segundo grado (p ≤ 0.05 y con mayor R²) en función de la dosis de N. El precio (en reales, R) del repollo verde se consideró a R\$ 380.00 t⁻¹ (US\$ 193.88 t⁻¹) (CEAGESP, 2008), el precio del nitrato de amonio a R\$ 1.05 kg⁻¹ (US\$ 0.54 kg⁻¹) y la mano de obra a R\$ 0.59 kg⁻¹ (US\$ 0.30 kg⁻¹) por aplicación de nitrato de amonio. Se determinó la dosis óptima económica con la ecuación del ingreso neto:

$$IN = (PP \times PROD) - (PN \times X)$$

donde, *IN* = ingreso neto (R\$ ha⁻¹), *PP* = precio del producto (R\$ ha⁻¹) menos 30 % con respecto a los costos de comercialización, *PROD* = producción (t ha⁻¹), *PN* = precio del nitrógeno (R\$ kg⁻¹), considerando el 33 % de N presente en el nitrato de amonio, agregado al valor de la mano de obra por la aplicación de 1 kg de N, *X* = cantidad de N aplicado (kg ha⁻¹). El término *PROD* de la ecuación del *IN* fue sustituido por la ecuación polinomial que estimó la producción en función de las dosis de N. Así:

$$IN = [PP \times (a + bX + cX^2) - (PN \times X)]$$

donde, *a*, *b* y *c* son las constantes de la ecuación que estimó la producción en función de las dosis de N. Entonces:

$$IN = PP a + PP b X + PP c X^2 - PN X$$

Factorizando:

$$IN = PP a + (PP b - PN) X + PP c X^2$$

Si

$$\partial IN / \partial X = 0$$

Entonces: $IN = (PP b - PN) / 2 PP c$

(US \$ 193.88 t⁻¹) (CEAGESP, 2008), the price of ammonium nitrate R\$ 1.05 kg⁻¹ (US\$ 0.54 kg⁻¹) and labor R\$ 0.59 kg⁻¹ (US\$ 0.30 kg⁻¹) by the application of ammonium nitrate. The economic optimal rate was determined with the equation of net income:

$$IN = (PP \times PROD) - (PN \times X)$$

where *IN* = net income (R\$ ha⁻¹), *PP* = product price (R\$ ha⁻¹) minus 30 % in relation to marketing costs, *PROD* = production (t ha⁻¹), *PN* = nitrogen price (R\$ kg⁻¹), considering 33 % of N present in the ammonium nitrate added to the value of labor by the application of 1 kg N, *X* = amount of N applied (kg ha⁻¹). The term *PROD* of the *IN* equation was replaced by the polynomial equation that estimated production in terms of the N rate. Thus:

$$IN = [PP \times (a + bX + cX^2) - (PN \times X)]$$

where *a*, *b* and *c* are constants of the equation that estimated production depending on the rates of N. Then:

$$IN = PP a + PP b X + PP c X^2 - PN X$$

Factoring:

$$IN = PP a + (PP b - PN) X + PP c X^2$$

If

$$\partial IN / \partial X = 0$$

Then: $IN = (PP b - PN) / 2 PP c$

The statistical program SAS (SAS Institute Inc., 1993) was used for the variance analysis (F test) and polynomial model adjustment of the variables in response to the N rates per population density, regardless of the interaction significance (F test, p ≤ 0.05). The adjustment model was selected based on the higher coefficient of determination (R²) (Pimentel Gomes, 1990); besides, the simple correlation (r) between the traits evaluated was evaluated.

RESULTS AND DISCUSSION

The N rates had a significant effect on NHI (p ≤ 0.05) but no effect from planting density was observed, nor from the interaction of the factors evaluated (p > 0.05). On average, the NHI in D1

El programa estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1993) se usó para el análisis de varianza (prueba F) y ajuste de los modelos polinomiales de las variables en reacción a las dosis de N por densidad poblacional, independientemente de la significancia de la interacción (prueba F, $p \leq 0.05$). El modelo de ajuste se seleccionó con base en el coeficiente de determinación (R^2) mayor (Pimentel Gomes, 1990); además se calculó la correlación simple (r) entre las características evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para NHI hubo efecto significativo de las dosis de N ($p \leq 0.05$), pero no se observó efecto de la densidad de plantación ni de la interacción de los factores evaluados ($p > 0.05$). En promedio, el NHI en D1 y D2 fue 37.7 y 36.3 hojas planta⁻¹. La respuesta del NHI a la dosis de N fue lineal ($y = 34.53 + 0.01617x$; $R^2 = 0.95^*$) en D1; con 300 kg de N ha⁻¹ se obtuvo el NHI mayor (39.4 hojas planta⁻¹), mientras que el testigo tuvo solamente 34.5 hojas planta⁻¹. El NHI fue similar a los valores de 36.4 a 42.8 hojas planta⁻¹ que reportan Athanázio y Maistrovicz (2007) en otros cultivares de repollo.

El NHE fue afectado por la densidad de plantación ($p \leq 0.05$), pero no por las dosis de N ni por la interacción de los factores ($p > 0.05$). Con D1 se obtuvo mayor NHE (15.6 hojas planta⁻¹), tres o más hojas que con D2 (12.6 hojas planta⁻¹). El NHE en el presente estudio fue similar al obtenido por Athanázio y Maistrovicz (2007), 12.7 a 14.7 hojas planta⁻¹ en diferentes cultivares de repollo verde en densidad de 20 833 plantas ha⁻¹. Sin embargo, Stepanovic *et al.* (2000) reportan un NHE menor al del estudio (11.2 y 8.9 hojas planta⁻¹ en 33 715 y 47 620 plantas ha⁻¹).

La densidad poblacional se relaciona directamente con la intensidad de la competición entre las plantas por espacio y por factores de crecimiento, principalmente por luz (Aquino *et al.*, 2005a). En el presente estudio, en D1 se encontró 0.32 m² planta⁻¹ y sólo 0.21 m² planta⁻¹ en D2, lo que permitió que en D1 las plantas aprovecharan eficientemente los recursos del medio y, por consiguiente, tuvieran mayor número de hojas. No se obtuvieron ajustes polinomiales para NHE en respuesta a las dosis de N, en D1 o D2.

Con respecto a MSHI, hubo un efecto significativo de los factores individualmente ($p \leq 0.05$), pero

and D2 was 37.7 and 36.3 leaves plant⁻¹. The NHI response to N rate was linear ($y = 34.53 + 0.01617x$; $R^2 = 0.95^*$) in D1; with 300 kg N ha⁻¹ we obtained the highest NHI (39.4 plant leaves⁻¹), while the control had only 34.5 leaves plant⁻¹. The NHI was similar to the values of 36.4 to 42.8 leaves plant⁻¹, as reported by Athanázio and Maistrovicz (2007) in other cabbage cultivars.

The NHE was affected by planting density ($p \leq 0.05$) but not by N rates or by the interaction of factors ($p > 0.05$). With D1, a higher NHE was obtained (15.6 leaves plant⁻¹), three or more leaves than with D2 (12.6 leaves plant⁻¹). The NHE in this study was similar to that obtained by Athanázio and Maistrovicz (2007), 12.7 to 14.7 plant leaves⁻¹ in different cultivars of green cabbage with a density of 20 833 plants ha⁻¹. However, Stepanovic *et al.* (2000) report a lower NHE than the study's (11.2 and 8.9 plant leaves⁻¹ in 33 715 and 47 620 plants ha⁻¹).

The population density is directly related to the intense competition among plants for space and growth factors, especially light (Aquino *et al.*, 2005a). In D1 we found 0.32 m² plant⁻¹ and only 0.21 m² plant⁻¹ in D2, allowing that in D1 plants would make an effective use of environmental resources and therefore have more leaves. We did not obtain polynomial adjustments for NHE in response to N rates in D1 or D2.

With respect to MSHI, there was a significant effect of factors ($p \leq 0.05$) individually, but not of interaction among them ($p > 0.05$). With D1 and 227 kg N ha⁻¹ maximum production was obtained (117.4 g plant⁻¹) (Figure 1), which was 77 % higher (66.4 g plant⁻¹) than without the application of N and 65 % higher than the highest (71.2 g plant⁻¹), obtained with 300 kg N ha⁻¹ with D2. The difference between the adjustment curves of the two densities reflects the difference of space available for the development of plants (less competition for N). With D1, cabbage showed its productive potential with the lowest rate in relation to the highest, whereas with D2 this potential will probably appear in rates higher than 300 kg N ha⁻¹ (Figure 1). Peck (1981) also noted that MSHI responded positively to the application of N.

The MSHE showed significant changes caused by individual factors and their interaction ($p \leq 0.05$).

no por su interacción ($p > 0.05$). Con D1 y 227 kg de N ha^{-1} se obtuvo la producción ($117.4 \text{ g planta}^{-1}$) máxima (Figura 1), la cual fue 77 % mayor ($66.4 \text{ g planta}^{-1}$) que sin la aplicación de N y 65 % superior que la mayor ($71.2 \text{ g planta}^{-1}$), obtenida con 300 kg de N ha^{-1} con D2. La diferencia entre las curvas de ajustes de las dos densidades refleja la diferencia de espacio disponible para el desarrollo de las plantas (menor competencia por N). Con D1, el repollo expresó su potencial productivo con la dosis menor, en relación con la mayor dosis, mientras que con D2 este potencial probablemente se presente en dosis superiores a 300 kg de N ha^{-1} (Figura 1). Peck (1981) también señala que MSHI responde positivamente a la aplicación de N.

La MSHE mostró cambios significativos causados por los factores individuales y por su interacción ($p \leq 0.05$). Con D2 los promedios de MSHE no se ajustaron a la ecuación polinomial, mientras que con D1 el mejor ajuste fue cuadrático (Figura 1). La MSHE mayor ($88.6 \text{ g planta}^{-1}$) con D1 se obtuvo con 187 kg de N ha^{-1} , mientras que Peck (1981) reporta $100.2 \text{ g planta}^{-1}$ con 40 000 plantas ha^{-1} y 300 kg de N ha^{-1} . Con D1 la máxima MSHE fue 67 % superior al promedio con D2. La correlación entre MSHE y NHE fue positiva y significativa ($r = 0.64^{**}$) y también se constató mayor MSHE con D1.

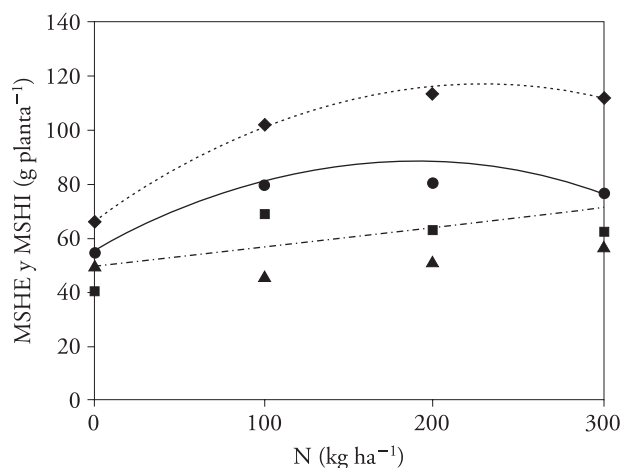
Hubo una correlación positiva entre MSHI y NHI ($r = 0.59^{**}$) y entre MSHI y MSHE ($r = 0.84^{**}$). Con D1 y la mayor dosis de N tanto MSHE como MSHI fueron menores; así, la MSHI con D1 fue $99.1 \text{ g planta}^{-1}$, mientras que con D2 fue 38.6 % menor ($60.5 \text{ g planta}^{-1}$). La menor MSHI con D2 puede atribuirse a una menor área foliar disponible para el crecimiento de la planta, con efectos negativos en la utilización del N y valores de NHE, NHI y MSHE menores. El análisis de correlación confirmó la relación entre estas características.

La MST fue afectada significativamente por los factores individuales ($p \leq 0.05$) pero no por su interacción ($p > 0.05$). Con D1 incrementó MST ($16.0 \text{ g planta}^{-1}$) como se observó para NHE, NHI y MSHE, mientras con D2 la MST fue $12.6 \text{ g planta}^{-1}$, 21.6 % menor a la MST con D1. En ambas densidades la MST fue lineal en función de la dosis de N: 300 kg de N ha^{-1} produjeron $18.6 \text{ g planta}^{-1}$ con D1 ($y = 13.50 + 0.017x$; $R^2 = 0.68^*$) y $15.0 \text{ g planta}^{-1}$ con D2 ($y = 10.17 + 0.016x$; $R^2 = 0.75^{**}$). Cuando

With D2 the MSHE averages did not adjust to the polynomial equation, while with D1 the best adjustment was quadratic (Figure 1). The highest MSHE ($88.6 \text{ g planta}^{-1}$) with D1 was obtained with 187 kg N ha^{-1} , while Peck (1981) report $100.2 \text{ g planta}^{-1}$ in 40 000 plants ha^{-1} with 300 kg N ha^{-1} . With D1 the maximum MSHE was 67 % higher than the average with D2. The correlation between MSHE and NHE was positive and significant ($r = 0.64^{**}$), and also more MSHE was found with D1.

There was a positive correlation between MSHI and NHI ($r = 0.59^{**}$) and between MSHI and MSHE ($r = 0.84^{**}$). With D1 and the highest rate of N both MSHE and MSHI were lower; thus MSHI with D1 was $99.1 \text{ g planta}^{-1}$, whereas with D2 was 38.6 % lower ($60.5 \text{ g planta}^{-1}$). The lower MSHI with D2 can be attributed to a smaller leaf area available for plant growth, with negative effects on the use of N and lower values of NHE, NHI and MSHE. The correlation analysis confirmed the relationship between these characteristics.

The MST was significantly affected by individual factors ($p \leq 0.05$), but not by their



- ◆ MSHI $Y_{D1} = 66.3781 + 0.4493x - 0.00098x^2$
 $R^2 = 0.99$ $F = 11.27^*$
- MSHI $Y_{D2} = 49.8366 + 0.07125x$
 $R^2 = 0.47$ $F = 6.40^*$
- MSHE $Y_{D1} = 55.4868 + 0.35355x - 0.00094x^2$
 $R^2 = 0.99$ $F = 10.46^*$
- ▲ MSHE $Y_{D2} = 53.15$

Figura 1. Materia seca de hojas externas (MSHE) e internas (MSHI) de repollo, híbrido Astrus, en función de la densidad de población y N.

Figure 1. External leaf dry matter (MSHE) and internal (MSHI) of cabbage, Astrus hybrid, depending on population density and N.

se incrementó la dosis de N a 300 kg ha⁻¹, la MST aumentó 37 y 47 % con D1 y D2.

El DTI mostró cambios significativos causados por la densidad de plantación ($p \leq 0.05$), pero no hubo efecto de las dosis de N ni de la interacción de los factores ($p > 0.05$). El mayor DTI (42.4 mm) se obtuvo con D1, y con D2 fue 36.6 mm; al respecto, el DTI disminuyó en función de la competencia entre las plantas, lo que posiblemente redujo el transporte de agua, nutrientes y de fotoasimilados. No se observó un ajuste significativo del DTI con las dosis de N evaluadas.

Entre DTI y MST la correlación fue significativa ($r = 0.51^*$) y, además, con D1 se obtuvieron los valores mayores para DTI y MST. Sin embargo, las correlaciones entre MST con NHE y NHI, así como entre DTI con NHE, no fueron significativas.

La MFR mostró cambios significativos debido a los factores individuales y su interacción ($p \leq 0.05$). Con D1 y 244 kg de N ha⁻¹ se alcanzó la mayor MFR (2.10 kg planta⁻¹). Este resultado se debió a la competencia menor entre plantas, lo cual también fue corroborado en las otras características evaluadas. Con D2 y 300 kg de N ha⁻¹ la MFR mayor fue 1.57 kg planta⁻¹. El resultado de MFR con D2 es destacable, pues según Moreira *et al.* (2011) las tendencias en los mercados indican preferencia por cabezas de repollo menores (1.0 a 1.5 kg planta⁻¹). Haque *et al.* (2006) y Moreira *et al.* (2011) usaron densidades de 41 666 y 50 000 plantas ha⁻¹ y obtuvieron MFR de 1.85 y 1.13 kg planta⁻¹, con dosis de N menores (180 y 277.8 kg ha⁻¹) que las usadas en D2 alta del presente estudio. La MFR más alta se logró con D1, independientemente del N (Figura 2). El incremento de MFR con D2 y 0 a 300 kg de N ha⁻¹ fue 35 %, mientras que con D1 y 0 a 244 kg de N ha⁻¹ fue 52 %.

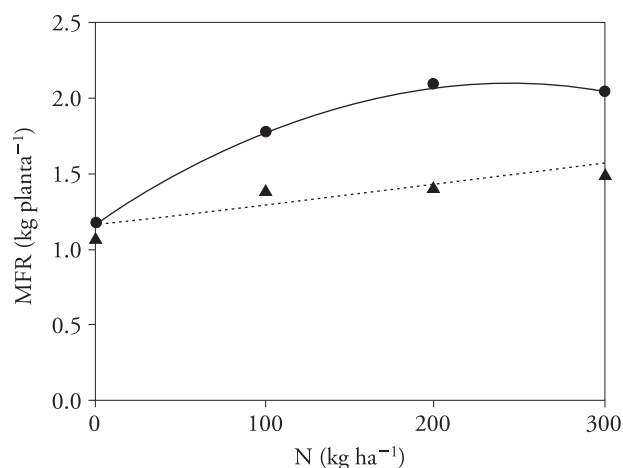
Con D2 alta la planta tuvo menor disponibilidad de N debido al elevado número de plantas por área lo cual, asociado con la competencia mayor por otros factores, limitó el crecimiento y la expresión del potencial vegetativo de la planta, lo que se manifestó en las características ya descritas y en MFR. El aumento de la densidad redujo la MFR en 25.2 %, lo que corrobora los resultados con repollo y otras hortalizas de hoja en los cuales se usaron mayores densidades de plantación como una herramienta para reducir el tamaño del producto comercial.

interaction ($p > 0.05$). In D1 a higher MST (16.0 g plant⁻¹) was found, as observed for NHE, NHI and MSHE, while with D2 the MST was 12.6 g plant⁻¹, 21.6 % lower than the MST with D1. In both densities the MST was linear depending on the rate of N: 300 kg N ha⁻¹ produced 18.6 g plant⁻¹ with D1 ($y = 13.50 + 0.017x$, $R^2 = 0.68^*$) and 15.0 g plant⁻¹ with D2 ($y = 10.17 + 0.016x$, $R^2 = 0.75^{**}$). When the N rate increased to 300 kg ha⁻¹, the MST increased 37 and 47 % with D1 and D2.

The DTI showed significant changes caused by plant density ($p \leq 0.05$), but N rates or the interaction of factors ($p > 0.05$) had no effect. The highest DTI (42.4 mm) was obtained with D1; with D2 it was 36.6 mm. In this regard, the DTI decreased as competition between plants increased, possibly reducing the transport of water, nutrients and photoassimilates. There was no significant adjustment of DTI with the N rates evaluated.

Between DTI and MST a significant correlation ($r = 0.51^*$) was found, and with D1 the highest values for DTI and MST were obtained. However correlations between MST and NHE and NHI and between DTI and NHE were not significant.

The MFR showed significant changes due to individual factors and their interaction ($p \leq 0.05$).



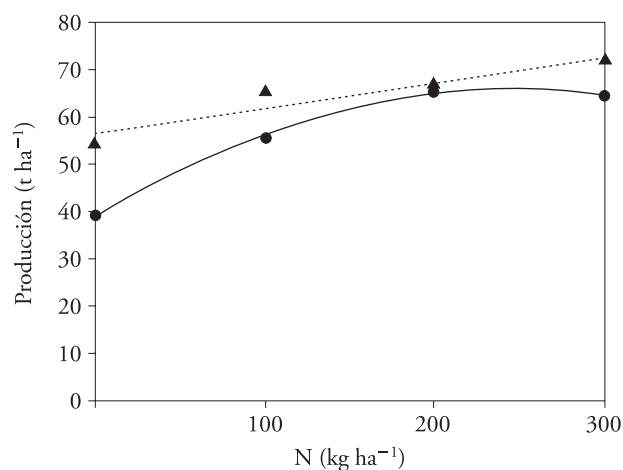
● $Y_{D1} = 1.1564 + 0.0077x - 0.000016x^2$
 $R^2 = 0.99$ $F = 97.67^{**}$
 ▲ $Y_{D2} = 1.16077 + 0.0014x$
 $R^2 = 0.83$ $F = 23.89^{**}$

Figura 2. Materia fresca del repollo (MFR), híbrido Astrus, en función de la densidad de población y N.

Figure 2. Astrus hybrid cabbage fresh matter (MFR), depending on population density and N.

La producción fue afectada significativamente por los factores individuales ($p \leq 0.05$), pero no por su interacción ($p > 0.05$). La producción máxima de repollo fue 72.6 t ha^{-1} ($300 \text{ kg de N ha}^{-1}$) con D2, pero disminuyó a 65.8 t ha^{-1} ($247.8 \text{ kg de N ha}^{-1}$) con D1 (Figura 3). Con D1 hubo mayor MFR, mientras que la producción máxima se obtuvo con D2. Esto se debió a que la reducción en MFR con la densidad mayor fue proporcionalmente menor al aumento del número de plantas por unidad de área. Aquino *et al.* (2005a) también reportan producción mayor (104.2 t ha^{-1}) de repollo con densidad mayor ($40 \times 30 \text{ cm}$), comparada con densidades de $60 \times 30 \text{ cm}$ (100.7 t ha^{-1}) y $80 \times 30 \text{ cm}$ (96.9 t ha^{-1}). Además, Znidarcic *et al.* (2007) señalan que hay una mayor producción comercial (71 t ha^{-1}) con una densidad alta ($166\,000 \text{ plantas ha}^{-1}$).

Con D1 la dosis económica óptima fue 227.1 kg ha^{-1} , sólo $20 \text{ kg de N ha}^{-1}$ menos que la dosis necesaria para maximizar la productividad, en tanto que la productividad calculada (65.6 t ha^{-1}) fue cercana a la máxima obtenida (65.8 t ha^{-1}). En cambio, no fue posible calcular la dosis óptima económica para D2, debido a que los datos presentaron una relación lineal. El productor debe calcular la dosis óptima económica para decidir acerca de la fertilización del



● $Y_{D1} = 38.955 + 0.21937x - 0.00044x^2$
 $R^2 = 0.99 \quad F = 20.67^{**}$
 ▲ $Y_{D2} = 56.5756 + 0.05366x$
 $R^2 = 0.89 \quad F = 14.78^{**}$

Figura 3. Producción de repollo, híbrido Astrus, en función de la densidad de población y N.

Figure 3. Astrus hybrid cabbage production, depending on population density and N.

With D1 and 244 kg N ha^{-1} , we obtained the highest MFR ($2.10 \text{ kg plant}^{-1}$). This was due to less competition between plants, which was also corroborated in the assessment of other traits. With D2 and 300 kg N ha^{-1} , the highest MFR was $1.57 \text{ kg plant}^{-1}$. The result of MFR with D2 is important because according to Moreira *et al.* (2011) market trends indicate a preference for smaller heads of cabbage ($1.0 \text{ to } 1.5 \text{ kg plant}^{-1}$). Haque *et al.* (2006) and Moreira *et al.* (2011) used densities of $41\,666$ and $50\,000 \text{ plants ha}^{-1}$, and obtained MFR of 1.85 and $1.13 \text{ kg plant}^{-1}$, with lower N rates (180 and 277.8 kg ha^{-1}) than those in D2 used in this study. The highest MFR was achieved with D1 regardless of N (Figure 2). The increase in MFR with D2 and 0 to 300 kg N ha^{-1} was 35% ; with D1 and 0 to 244 kg N ha^{-1} it was 52% .

With D2 plants had lower availability of N due to the large number of them per area. Together with an increased competition of other factors, this high density limited the growth and expression of the plant potential, which was reflected in the characteristics described above and MFR. Increased density reduced MFR by 25.2% , which corroborates the results of studies on cabbage and other leafy vegetables in which higher densities of planting were used as a tool to reduce the size of the commercial product.

Production was significantly affected by individual factors ($p \leq 0.05$), but not by their interaction ($p > 0.05$). Cabbage maximum production was 72.6 t ha^{-1} (300 kg N ha^{-1}) with D2, but decreased to 65.8 t ha^{-1} ($247.8 \text{ kg N ha}^{-1}$) with D1 (Figure 3). A higher MFR was obtained with D1, while the highest production was obtained with D2. This was because the reduction of MFR with higher density was proportionately lower than the increase in the number of plants per unit area. Aquino *et al.* (2005a) also reported a higher cabbage output (104.2 t ha^{-1}) with higher density ($40 \times 30 \text{ cm}$) compared to densities of $60 \times 30 \text{ cm}$ (100.7 t ha^{-1}) and $80 \times 30 \text{ cm}$ (96.9 t ha^{-1}). Also, Znidarcic *et al.* (2007) noted that there was an increased commercial production (71 t ha^{-1}) with high density ($166\,000 \text{ plants ha}^{-1}$).

With D1 the optimal economic rate was 227.1 kg ha^{-1} , only 20 kg N ha^{-1} less than the rate required to maximize productivity, while the estimated

cultivo y considerar el precio promedio del repollo en la época de cosecha. Además, se debe agregar el costo del fertilizante, mano de obra en la cosecha, transporte del producto cosechado hacia la zona de empaque, embalajes, y el transporte del producto.

CONCLUSIONES

Sin la aplicación de nitrógeno e independientemente de la población de plantas se tuvieron cabezas de repollo de menor tamaño, las cuales obtienen una mayor preferencia comercial. La producción mayor (72.7 t ha⁻¹) de cabezas de repollo se alcanzó con la mayor población de plantas (46 875 plantas ha⁻¹) y con 300 kg de N ha⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Desenvolvimento Científico y Tecnológico (CNPq) y a la Fundação de Amparo a la Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP), por la beca de estudios y ayuda financiera del proyecto.

LITERATURA CITADA

- Athanázio, J. C., e A. C. Maistrovicz. 2007. Competição de híbridos de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) em Londrina, PR. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 47. Anais eletrônicos. Sociedade Brasileira de Horticultura, Porto Seguro. <http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/info.aspx?idevento=1&idmenu=27> (Consultado: mayo, 2008).
- Andrioli, I., e J. F. Centurion. 1999. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27. Anais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Brasília. pp: 32.
- Aquino, L. A., M. Puiatti, P. R. Pereira, e F. H. Pereira. 2005a. Características produtivas do repollo em função de espaçamentos e doses de nitrogênio. Hort. Bras. 23(2): 266-270.
- Aquino, L. A., M. Puiatti, P. R. Pereira, e F. H. Pereira. 2005b. Efeito de espaçamento e doses de nitrogênio sobre as características qualitativas da produção do repollo. Hort. Bras. 23(1): 100-104.
- Bora, G. C., B. C. Deka, and A. Shadeque. 1992. Effect of different levels of nitrogen and spacing on head yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). Indian J. Agric. Sci. 62(8): 527-528.
- CEAGESP. 2008. Cotações - Preços no atacado (repolho verde e roxo). http://www.ceagesp.gov.br/cotacoes/?grupo=3&data=21%2F05%2F2008&consultar=Consultar&grupo_nome=Verduras (Consultado: mayo, 2008).
- Filgueira, F. A. R. 2000. Brassicáceas: couves e outras culturas. In: Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna

productivity (65.6 t ha⁻¹) was close to the maximum obtained (65.8 t ha⁻¹). Instead, it was not possible to calculate the economic optimum rate for D2, because the data showed a linear relationship. Farmers must calculate the economic optimal rate to decide on crop fertilization and consider the average price of cabbage during harvest time. Also, it is necessary to add the cost of fertilization, labor during harvesting, transport of harvested products to the packing area, packaging, and product transport.

CONCLUSIONS

Without the application of nitrogen and regardless of plant population, smaller heads of cabbage were obtained, which have greater market acceptance. The higher production (72.7 t ha⁻¹) of heads of cabbage was reached with the largest population of plants (46 875 plants ha⁻¹) and 300 kg N ha⁻¹.

—End of the English version—



- na Produção e Comercialização de Hortaliças. UFV, Viçosa. pp: 269-285.
- Haque, K. M. F., A. A. Jahangir, M. E. Haque, R. K. Mondal, M. A. A. Jahan, and M. A. M. Sarker. 2006. Yield and nutritional quality of cabbages as affected by nitrogen and phosphorus fertilization. J. Sci. Ind. Res. 41: 41-46.
- Kowal, J. J., and A. V. Barker. 1981. Growth and composition of cabbage as affected by nitrogen nutrition. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 12(10): 979-995.
- Moreira, M. A., S. M. Vidigal, M. A. N. Sediya, e M. R. dos Santos. 2011. Crescimento e produção de repollo em função de doses de nitrogênio. Hort. Bras. 29: 117-121.
- Nogueira, F. D., V. Faquin, e M. B. Paula. 1983. Solos, calagem e adubação para brássicas. Informe Agropecuário 9(98): 21-29.
- Peck, N. H. 1981. Cabbage plant responses to nitrogen fertilization. Agron. J. 73: 679-784.
- Pimentel Gomes, F. 1990. Curso de Estatística Experimental. 12 ed. Nobel, Piracicaba. 466 p.
- Raij, B. van, J. A. Quaggio, H. Cantarella, M. E. Ferreira, A. S. Lopes, e O. C. Bataglia. 1987. Análise Química do Solo para Fins de Fertilidade. Fundação Cargill, Campinas. 170 p.
- Reghin, M. Y., R. F. Otto, e J. R. Olinik. 2007. Produtividade do repollo em função do tipo de muda e do espaçamento. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 47. Anais. Sociedade Brasileira de Horticultura, Porto Seguro. <http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/Info.aspx?idevento=1&idmenu=27> (Consultado: mayo, 2008).
- SAS Institute Inc. 1993. SAS/STAT: User's Guide, version 6. 2 ed. Cary. 1022 p.

- Silva Júnior, A. A. 1987. Adubação mineral e orgânica em repolho. II. Concentração de nutrientes na folha e precocidade. Hort. Bras. 5(1): 15-17.
- Silva Junior, A. A. 1991. Efeitos da adubação mineral e orgânica em repolho. Agropecuária Catarinense 4(1): 53-56.
- Stepanovic, M. V., V. V. Bjelic, and V. D. Dragicevic. 2000. Effect of crop density on morphological characteristics and yield of cabbage. Acta Hort. 533: 205-207.
- Trani, P. E., F. A. Passos, J. A. Azevedo, e M. Tavares. 1997. Brócolos, couve-flor e repolho. In: Rajj, B., H. Cantarella, J. A. Quaggio, e A. M. C. Furlani (eds). Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agronômico/Fundação IAC, Campinas. (Boletim Técnico 100). pp: 175-179.
- Trani, P. E., G. A. Groppo, M. C. P. Silva, K. Minami, e T. J. Burke. 1999. Diagnóstico sobre a produção de hortaliças no Estado de São Paulo. Hort. Bras. 15(1): 19-24.
- Znidarcic, D., N. Kacjan-Marsic, J. Osvald, T. Pozrl, and S. Trdan. 2007. Yield and quality of early cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) in response to within-row plant spacing. Acta Agriculturae Slovenica 89: 15-23.