

Diferencias genotípicas en la eficacia de la nutrición nitrogenada en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Genotypic differences in nitrogen efficacy of cucumber plants

ZORNOZA, P., GONZÁLEZ-LORENTE, M. y FERNÁNDEZ-HERRERA, M.
Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias.
Universidad Autónoma. 28049-Madrid.

RESUMEN

Mediante ensayos de aeroponía en invernadero se determinó la absorción y utilización eficiente de NO_3^- , NH_4^+ y N total en dos variedades de pepino Marketmore y Pepino de China, sometidos a dos niveles de N total (14 y 7 mol m^{-3}) bajo una relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de (60/40), estimándose a su vez la producción de materia seca, el cociente raíz/parte aérea, la actividad NR, el rendimiento comercial y la relación entre el peso de fruto y los consumos de NO_3^- , NH_4^+ y N total. Los resultados obtenidos indican que el cultivar Marketmore, con una menor producción de materia seca que el Pepino de China, muestra mayores rendimientos, exhibiendo para el tratamiento de 7 mol m^{-3} de N total la mayor relación peso de fruto/consumo de NO_3^- , NH_4^+ y N total. Los datos obtenidos pueden servir de orientación a la hora de seleccionar un cultivar eficaz y de alta productividad incluso para dosis bajas de N.

Palabras clave: Amonio. Nitrato. Rendimientos. Variedad.

ABSTRACT

Two cultivars of the cucumber plant (Marketmore and Pepino de China) supplied with two total N levels (14 and 7 mol m^{-3}) and a $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio of 60/40 were grown aeroponically in a glasshouse. In order to know the N efficacy differences between the cultivars, several parameters were chosen, such as dry matter production; the ratio of root/shoot weight; NR activity; commercial yields; NO_3^- , NH_4^+ and total N consumptions; leaf and root concentrations. The results obtained displayed that Marketmore produced higher yields and lower vegetative weight than Pepino de China, showing furthermore the highest ratios of fruit weight, NO_3^- , NH_4^+ and total N consumptions for the treatment with 7 mol m^{-3} of total N. The data obtained can be used for an adequate selection of cultivars characterized by a high N efficacy even for low N amounts.

Key words: Ammonium. Nitrate. Variety. Yields.

Recibido: 8-10-1995.

Aceptado: 18-11-1995.

BIBLID [0004-2927(1996) 37:1; 73-81]

INTRODUCCIÓN

La absorción de N por las plantas se encuentra afectada por una serie de factores tales como la disponibilidad del nutriente en la disolución del suelo, el tamaño y la morfología radicular, así como la concentración de N en el interior de la planta (1). Además, se halla directamente relacionada con el estado de desarrollo y producción de materia seca (2), de manera que el balance entre el crecimiento experimentado por la raíz y el vástago, es uno de los mecanismos usados por las plantas para adaptarse al medio de cultivo, el cual variará con el suministro de nutrientes (3) y la disponibilidad de agua (4).

El N se encuentra presente en el suelo como un catión, NH_4^+ , o en forma aniónica, NO_3^- ; la tasa de absorción, mecanismos involucrados y actividades metabólicas en las que interviene, difieren entre especies y cultivares. La capacidad de absorción y asimilación de NO_3^- varía con el crecimiento aéreo, estado fenológico y desarrollo de raíces laterales, ya que es en las zonas meristemáticas radiculares donde se reduce el mayor porcentaje de NO_3^- (5). Por otro lado, existen evidencias de que los cultivares responden de forma diferente a niveles elevados de NH_4^+ . La actividad nitrato reductasa (NR) y la concentración de NO_3^- en los órganos vegetativos de las plantas, será menor en genotipos con alta utilización del catión (6). A su vez, una absorción elevada de NH_4^+ supone un descenso del pH en la proximidad de las raíces (7), este proceso de acidificación afecta al aprovechamiento de otros nutrientes por la planta como es el caso del P (8), Fe (9) y Ca (10). En consecuencia, las especies vegetales responden de forma diferente al suministro de NO_3^- o NH_4^+ como fuentes de N, obteniéndose, en general, mayores rendimientos con el aporte conjunto de ambas formas nitrogenadas (11)(12).

La finalidad de este trabajo ha sido estudiar el comportamiento de dos variedades de *Cucumis sativus* L. a dosis altas y bajas de N (14 y 7 mol m⁻³), suministrado un 60% como NO_3^- y un 40% como NH_4^+ .

MATERIAL Y MÉTODOS

En este ensayo se utilizaron dos variedades comerciales de la especie *Cucumis sativus* L.: Marketmore (de porte medio y con frutos medio largos de color verde oscuro) y Pepino de China (de porte alto y frutos largos de color verde claro). Las semillas se hicieron germinar sobre una mezcla al 50% de turba rubia (Shamrock Irish) y arena de cuarzo con una granulometría comprendida entre 0,5 y 2 mm, trasladándose al asiento definitivo tres semanas más tarde. El cultivo se llevó a cabo en un invernadero Hiberlux H-9 bajo las condiciones ambientales siguientes: temperatura 12-30°C; humedad relativa 50-80% e irradiancia diaria media de 250 W m⁻². El sistema de cultivo fue

aeroponía en tiestos de plástico con una capacidad de 4 L, sobre los que se colocaron planchas de poliestireno que sirvieron de soporte para las plantas. Se utilizó un sistema de bombeo de aire constante a fin de mantener la disolución oxigenada y evitar el proceso de anaerobiosis.

La disolución nutritiva de referencia, con una relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 60/40 y una concentración de N total 14 mol m^{-3} , tenía la composición siguiente: Macroelementos (mol m^{-3}): $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 4,2; KH_2PO_4 , 3,0; K_2SO_4 , 0,5; MgSO_4 , 1,3; KCl , 2,0; CaCl_2 , 0,8; NaCl , 0,2; NH_4HCO_3 , 5,6. A partir de esta disolución nutritiva se preparó otra en la que la concentración de N total se redujo a la mitad (7 mol m^{-3}) pero manteniéndose la misma relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ (60/40). Macroelementos (mol m^{-3}): $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 2,1; KH_2PO_4 , 3,0; K_2SO_4 , 0,5; MgSO_4 , 1,3; CaSO_4 , 1,3; KCl , 2,0; CaCl_2 , 1,7; NaCl , 0,2; NH_4HCO_3 , 2,8. Los microelementos fueron suministrados como ($\text{g elemento mL}^{-1}$): H_3BO_3 , 0,5; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0,5; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0,1; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,1; Fe-EDDHA , 2,5 y $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,025. Los pH se ajustaron a 6,0. Las disoluciones se cambiaban cada diez días y diariamente se reponía con agua desmineralizada el volumen inicial.

El diseño experimental se efectuó mediante un sistema de bloques al azar con tres repeticiones para cada uno de los tratamientos de N total (14 y 7 mol m^{-3}) y cultivar ensayado, disponiéndose en cada tiesto dos plantas. Se tomaron muestras de disolución nutritiva al objeto de determinar el ritmo de absorción de NO_3^- , NH_4^+ y N total a lo largo del ciclo de cultivo. Los muestreos de material vegetal (hoja y raíz) se realizaron a las tres, seis y 13 semanas después del trasplante correspondiendo con los períodos de crecimiento vegetativo, plena floración y maduración del fruto, respectivamente. Así mismo, se procedió a la recogida de los frutos cuando éstos alcanzaron el tamaño comercial.

En las muestras de disolución nutritiva se analizaron NO_3^- mediante electrodos selectivos de iones y NH_4^+ mediante colorimetría automatizada en un autoanizador Technicon. En hojas y raíces se determinaron N total y la actividad NR siguiendo la metodología puesta a punto por Ramón et al., (13).

Para la interpretación de los resultados se efectuó un análisis de varianza en bloques al azar. Las medias se compararon mediante el test de la mínima diferencia significativa (MDS) con un nivel de probabilidad $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se representan los consumos totales de N- NO_3^- , N- NH_4^+ y N total en cada uno de los tratamientos y cultivares ensayados, expresados en g de elemento absorbido por planta. La absorción total de NO_3^- se encuentra en concordancia con los distintos niveles puestos a disposición de los cultivares, con tasas de absorción un 43% más bajas en aquellos a los que se les suministró las dosis menores de N. En lo que respecta al NH_4^+ , se aprecia el mismo efecto,

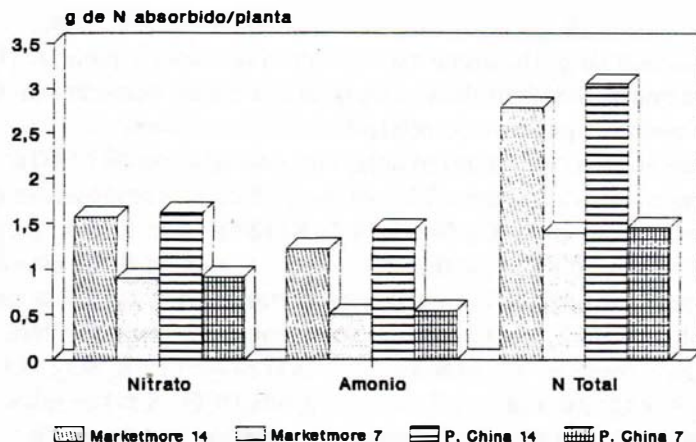


Fig. 1.—Absorción de NO_3^- , NH_4^+ y N total

si bien en este caso el Pepino de China presenta una absorción más elevada que el Marketmore, siendo este hecho más acusado para la dosis 14 de N total. Si se considera la absorción total de N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), los cultivares desarrollados con el nivel más bajo absorben, como era de esperar, un 50% menos en relación a aquellos a los que se les suministró la dosis más elevada de N. Por otro lado, con independencia de la dosis aplicada, el cultivar Pepino de China absorbe ligeramente más N que el Marketmore.

En la tabla 1 se recogen los pesos secos de la parte aérea y de raíz, los porcentajes de contribución de cada uno de ellos al peso total, así como el cociente entre el peso radicular y parte aérea. En cuanto a la producción de peso seco, se observa, tanto en el vástago como en la raíz de cada uno de los cultivares un descenso de la misma paralelo a la disminución del N total aportado. Independientemente del tratamiento de N aplicado, el cultivar Pepino de China muestra un mayor crecimiento que el Marketmore. Ciertos autores (1)

Tabla 1.—Pesos de parte aérea y raíz (g m.s.); % de contribución al peso total y relación raíz/parte aérea en cada uno de los cultivares sometidos a los distintos tratamientos de N.

	Cultivar				MDS _{p=0,05}
	Marketmore		Pepino de China		
N total (mol m^{-3})	14	7	14	7	
Peso P. aérea	40,6	32,6	57,6	38,4	8,8
% contribución	81,7	83,6	78,4	83,1	7,9
Peso raíz	9,1	6,4	15,9	7,8	6,1
% contribución	18,3	16,4	21,6	16,9	7,9
Raíz/Parte aérea	0,22	0,20	0,28	0,21	0,05

observan una relación directa y positiva entre el desarrollo radicular y la tasa de absorción de N, lo que a su vez implica un mayor crecimiento vegetativo.

Respecto al cociente raíz/parte aérea, se observa como descendiendo ligeramente para Marketmore (9%) y de forma más acusada para Pepino de China (25%) a medida que disminuye la concentración de N en el medio de cultivo. Otros autores encuentran resultados contrarios cuando existe un estado deficitario de N (14). En este caso, el aporte de una dosis 7 mol m^{-3} de N total no ha supuesto un estado de deficiencia para la planta de pepino, si bien se observa un descenso en el desarrollo. Si se comparan los índices entre cultivares, las diferencias más acusadas se han encontrado para la dosis más alta de N.

En la tabla 2 se muestra la absorción eficiente de NO_3^- , NH_4^+ y N total, expresada como el cociente entre la absorción de las distintas formas de N y el peso radicular. Se puede apreciar un descenso en la absorción eficiente de NH_4^+ y N total, para ambos cultivares, a medida que lo hace el aporte de N. En el caso del NO_3^- se observa el mismo efecto para Marketmore, mientras que para el Pepino de China no se aprecian diferencias significativas. En general, se estiman descensos de este índice al disminuir el nivel de N en el medio nutritivo (2). En otros casos, no se ha observado este efecto (3) siendo atribuido a que las variaciones morfológicas no son el único factor determinante del proceso de absorción; tanto es así, que se ha sugerido que aproximadamente el 20% de la masa radicular es suficiente para cubrir las necesidades nutritivas de la planta siempre que no existan deficiencias nutricionales (15). Por otro lado, el cultivar Marketmore presenta unos índices de absorción eficientes por raíz más altos que el Pepino de China, para ambas dosis de N, siendo un 30% más para el nivel más alto de N.

Tabla 2.—Índice de absorción eficaz de NO_3^- , NH_4^+ y N total (mg de elemento absorbido peso raíz g m.s.⁻¹) en cada uno de los cultivares sometidos a los distintos tratamientos de N.

	Cultivar				MDS _{p=0,05}
	Marketmore		Pepino de China		
N total (mol m^{-3})	14	7	14	7	
mg NO_3^- g raíz ⁻¹	183,9	141,5	109,1	122,4	15,9
mg NH_4^+ g raíz ⁻¹	143,0	78,7	95,8	72,7	24,3
mg N total g raíz ⁻¹	327,0	222,5	204,9	195,1	29,2

La utilización eficiente de NO_3^- , NH_4^+ y N total, expresada como la relación entre el total de materia seca producida y el consumo de cada una de las formas de N a lo largo del ciclo de cultivo se recoge en la tabla 3. Independientemente del cultivar, se aprecian valores más elevados para el tratamiento 7 de N total, lo que indica que el pepino muestra una eficacia menor de N para los niveles más altos del macronutriente. Ciertos autores encuentran resultados similares en

Tabla 3.—Índice de utilización eficiente de NO_3^- , NH_4^+ y N total (mg de peso seco producido mg elemento absorbido⁻¹) en cada uno de los cultivares sometidos a los distintos tratamientos de N.

	Cultivar				MDS _{p=0,05}
	Marketmore		Pepino de China		
N total (mol m ⁻³)	14	7	14	7	
mg m.s. mg NO_3^-	31,7	43,2	45,2	49,6	7,6
mg m.s. mg NH_4^+	40,8	78,8	51,6	83,4	10,9
mg m.s. mg N total ⁻¹	17,8	27,5	24,1	31,2	4,3

maíz (16) y en calabaza (2), atribuyendo este menor uso eficiente de N a alteraciones en la asimilación, transporte y redistribución del mismo en la planta. Si se comparan los cultivares, se observan índices más elevados para el cultivar Pepino de China, y en particular, para la utilización eficiente del NH_4^+ .

En general, la eficiencia del N en planta viene determinada por los dos índices expresados anteriormente: absorción (tabla 2) y utilización eficaz en planta (tabla 3). Así, es apreciable como las diferencias en el uso eficaz de N varían no sólo entre cultivares, sino en función de la dosis del nutriente suministrada, de tal manera que las variaciones se hacen más ostensibles para niveles altos de N y, fundamentalmente, para el índice de absorción eficiente (tabla 2). Kamprath et al., (17) encuentran que para dosis bajas de N, las diferencias entre genotipos de maíz fueron debidas a variaciones en el uso eficiente, mientras que altas concentraciones provocan mayores diferencias en la absorción del nutriente. El NO_3^- acumulado en planta supone un balance entre el grado de absorción por las raíces y la reducción llevada a cabo por el sistema enzimático NR, aunque en muchas ocasiones esta forma iónica es almacenada sin llegar a ser asimilada. Un seguimiento de la actividad NR (tabla 4) muestra un descenso de la misma paralelo al suministro de N a la planta, de forma que las principales reducciones son observadas en las hojas de Marketmore y en las raíces de Pepino de China, siendo en ambos casos del 77%. Es evidente una

Tabla 4.—Concentración de N total (g kg m.s.⁻¹) y actividad NR (mol g m.f.⁻¹ h⁻¹) en las hojas y raíces de cada uno de los cultivares sometidos a los distintos tratamientos de N.

	Cultivar				MDS _{p=0,05}
	Marketmore		Pepino de China		
N total (mol m ⁻³)	14	7	14	7	
N hoja	37,50	25,00	33,20	16,30	5,80
NR hoja	2,52	0,57	1,15	0,81	0,36
N raíz	39,60	31,80	41,60	27,00	5,70
NR raíz	0,04	0,02	0,09	0,02	0,02

disminución de la actividad a medida que lo hace la absorción de NO_3^- (figura 1), reflejándose también un descenso en la concentración de N en hoja y raíz (tabla 4), con un porcentaje que ha supuesto en el Marketmore 33%-hoja y 20%-raíz y en el caso del Pepino de China un 51% en hoja y un 35% en raíz.

En otro orden de cosas, con 14 mol m^{-3} de N el cultivar Marketmore presenta en hojas un 54% más de actividad NR que el Pepino de China (42%). Para un aporte de 7 mol m^{-3} se observa el efecto contrario. Por otro lado, las hojas presentan valores de NR superiores a las raíces para ambos cultivares y tratamientos de N ensayados, lo que indica que esta especie reduce los NO_3^- fundamentalmente en el tejido foliar. En ensayos realizados con varios genotipos de trigo se observa un comportamiento diferente en cuanto a la relación entre la actividad NR y la producción de materia seca, lo que implica diferencias de carácter marcadamente genético (18). En este caso se observa como para la dosis 14 de N total, el cultivar Pepino de China, con menor actividad NR en hoja que el Marketmore, ofreció mayor peso aéreo, mientras que en raíz el aumento en la actividad NR estuvo directamente relacionado con la producción de materia seca. Para el tratamiento 7 de N total, existe una relación directa, independientemente del cultivar, entre la actividad NR y el peso seco de planta. Esto indica que las mayores diferencias entre las variedades han sido debidas a la dosis de N suministrada, despreciando así variaciones genotípicas exclusivamente.

En cuanto a los rendimientos (tabla 5), los valores más elevados los presenta el cultivar Marketmore, mostrando una mayor precocidad en el desarrollo de los frutos junto a un número total por planta superior, si bien el Pepino de China presentó un peso unitario mayor debido fundamentalmente a las características genéticas de cada uno de ellos. Además considerando los valores del consumo de NO_3^- , NH_4^+ , N total y los rendimientos de cada cultivar, se ha estudiado el índice de eficacia de la nutrición nitrogenada en fruto (tabla 5). Se aprecia como estos índices son siempre superiores para el Marketmore y, en general, aumenta en ambos cultivares con el nivel 7 mol m^{-3} de N total.

Tabla 5.—Rendimientos de fruto (g planta^{-1}) e índice de eficacia de la nutrición ($\text{kg de frutos kg elemento absorbido}^{-1}$) en cada uno de los cultivares sometidos a los distintos tratamientos de N.

	Cultivar				MDS _{p=0,05}
	Marketmore		Pepino de China		
N total (mol m^{-3})	14	7	14	7	
g fruto planta ⁻¹	1841	1070	682	721	260
kg fruto kg NO_3^- ⁻¹	1172	1182	418	785	203
kg fruto kg NH_4^+ ⁻¹	1508	2126	477	1322	210
kg fruto kg N total ⁻¹	659	752	223	493	154

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto diferencias entre los cultivares y tratamientos de N ensayados de forma que el Pepino de China presenta un mayor crecimiento, absorción total y utilización eficiente de las distintas formas de N. Sin embargo, el Marketmore muestra índices de absorción eficiente por raíz superiores al Pepino de China, ofreciendo mayor precocidad en el desarrollo y en los índices de la eficacia de la nutrición nitrogenada. Por otro lado, el suministro de 7 mol m^{-3} de N no ha supuesto en ningún caso un estado de deficiencia para la planta, existiendo para este nivel de N una relación directa entre la actividad NR y la producción de materia seca, así como una mayor eficacia de la nutrición nitrogenada.

De todo ello puede deducirse que la variedad Marketmore con mayor absorción eficiente y rendimiento comercial presenta, para una dosis de 7 mol m^{-3} de N total una eficacia mayor de la nutrición nitrogenada, lo que podría ser significativo a la hora de seleccionar un cultivar de máxima productividad incluso para dosis bajas de N.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comunidad Autónoma de Madrid la financiación para realizar este trabajo (Proyecto n.º 273/92). Así como a D. Fermín Sanz por la asistencia técnica durante el desarrollo experimental.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) KARROW, M. and MARANVILLE, J. W. (1994): Response of wheat cultivars to different soil N and moisture regimes: I. Dry matter partitioning and root growth. *J. Plant Nutr.*, **17**:729-744.
- (2) SWIADER, J. M., CHYAN, Y. and FREIJI, F. G. (1993): Genotypic differences in NO_3^- uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J. Plant Nutr.*, **16**:445-460.
- (3) CURE, R. B., ISRAEL, D. W. and RUFTY, T. W. Jr. (1988): Nitrogen stress effects on growth and seed yield of monnodulated soybean exposed to elevated CO_2 . *Crop Sci.*, **28**:671-677.
- (4) YAMBAO, E. B. and O'TOOLE, J. C. (1984): Effects of N nutrition and root medium water potential on growth, N uptake and osmotic adjustment of rice. *Physiol. Plant.*, **60**:507-515.
- (5) PAN, W. L., JACKSON, W. A. and MOLL, R. H. (1985): Nitrate uptake and partitioning by corn root systems. *Plant Physiol.*, **75**:560-566.
- (6) FEIL, B. (1994): Growth and $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ uptake ratio of spring wheat cultivars under a homogeneous and a spatially separated supply of NH_4^+ and NO_3^- . *J. Plant Nutr.*, **17**:717-728.
- (7) GAHOONIA, T. S., CLAASEN, N. and JUNGK, A. (1992): Mobilization of H_2PO_4^- in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. *Plant & Soil*, **140**:241-248.

- (8) AFRE, J. L. and BLUE, W. G. (1989): Effects of NH_4^+ and NO_3^- N on the availability of applied P from a differentially limed Florida ultisol. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.*, **48**:117-126.
- (9) REDDY, K. B., ASHALATHA, M. and VENKAIAH, K. (1993): Differential response of groundnut genotypes to iron-deficiency stress. *J. Plant Nutr.*, **16**:523-531.
- (10) WILKINSON, R. E. and DUNCAN R. R. (1993): Sorghum genetic variation in calcium (^{45}Ca) uptake. *J. Plant Nutr.*, **16**:445-460.
- (11) GENTRY, L. E., WANG, X. T. and BELLOW, F. E. (1989): Nutrient uptake by wheat seedlings that differ in response to mixed nitrogen nutrition. *J. Plant Nutr.*, **12**:363-373.
- (12) ZORNOZA, P. and SERRANO, S. (1994): Estudio de la respuesta de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L., cv. Hyclos) a diferentes relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$. *Ars Pharmaceutica*, **XXXIV**(3):241-249.
- (13) RAMÓN, A. M., CARPENA, R. and GARATE, A. (1989): In vitro stabilization and distribution of NR in tomato plants. Incidence of B deficiency. *J. Plant Physiol.*, **135**:126-128.
- (14) REED, A. J., SINGLETARY, G. W., SCHUSKR, J. R., WILLIAMSON, D. R. and CHRISTY A. L. (1988): Shading effect on dry matter and nitrogen partitioning, kernel number and yield of maize. *Crop Sci.*, **28**:819-825.
- (15) ROBINSON, D. (1986): Compensatory changes in the partitioning of dry matter in relation to nitrogen uptake and optimal variations in growth. *An. Bot.*, **58**:841-848.
- (16) MOLL, R. H., KAMPRATH, E. J. and JACKSON, W. A. (1982): Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of N utilization. *Agron. J.*, **74**:562-564.
- (17) KAMPRATH, E. J., MOLL, R. H. and RODRÍGUEZ, N. (1982): Effects of N fertilization and recurrent selection on performance of hybrid populations of corn. *Agron J.*, **74**:955-958.
- (18) GOODMAN, P. J. (1979): Genetic control of inorganic nitrogen assimilation of crops plants. pp 165-176 in Nitrogen assimilation of plants. (E. D. Hewitt and C. V. Cutting, editors). Academic Press, London.