

EFECTO DEL ESTRÉS POR NaCl EN EL CRECIMIENTO Y LAS RELACIONES HÍDRICAS DE DIFERENTES VARIEDADES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)

D. Morales[✉], P. Rodríguez, María de J. Sánchez-Blanco y A. Torrecillas

ABSTRACT. Rice (*Oryza sativa* L.) seeds from Cuban cultivars LP-7, J-104, LP-9 and Perla were germinated in trays with vermiculite and distilled water. Once the radicle was emitted, Hoagland nutritive solution was added, where they stayed for 13 days; later on, they were acclimatized in trays of nine liters of capacity during seven days under hydroponic conditions. Starting from that period, the following experimental variants were applied: a control treatment where NaCl was not added to the nutritive solution, as well as variants with 75 and 150 mM of NaCl during 14 days. For the development of the work, a growth chamber was used, establishing a photoperiod of 14 hours light, the temperature varied between 25/18°C day/night, the relative humidity kept at 60/70 % day/night and the maximum illumination was 380 mmol.m⁻².s⁻¹. Evaluations were carried out when beginning saline treatments and finishing the period of treatment 14 days after applying the stress. Every moment, root system biomass, shoot and leaf surface were evaluated in three groups of three plants from each experimental variant. When the experiment finished, the number of tillers, leaf water potential, osmotic potential and osmotic potential at full turgor of root and shoot were measured whereas the pressure potential was estimated on leaf water and osmotic potentials; the stomatal conductance and transpiration were also measured at maximum illumination. With biomass data, the relative growth rate, net assimilation rate and resistance index of salinity were calculated. From the analysis of data obtained, differences were recorded on the varietal behavior when exposed to saline stress, not only concerning growth, but water relations, through which it was appreciated that most varieties adopted the osmotic adjustment mechanism, as a form to reduce adverse stress effects.

Key words: *Oryza sativa*, rice, osmotic stress, growth, plant water relations

RESUMEN. Las semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) de los cultivares cubanos LP-7, J-104, LP-9 y Perla, fueron germinadas en bandejas con vermiculita y agua destilada. Una vez emitida la radícula, se les adicionó solución nutritiva de Hoagland, donde se mantuvieron durante 13 días; posteriormente se aclimataron durante siete días en condiciones de hidroponía en bandejas de nueve litros de capacidad, para a partir de ese período aplicar las variantes experimentales siguientes: un tratamiento control al que no se le adicionó NaCl en la solución nutritiva, así como también se utilizaron variantes con 75 y 150 mM de NaCl durante 14 días. Para el desarrollo del trabajo se empleó una cámara de crecimiento, en la que se estableció un fotoperíodo de 14 horas luz, la temperatura varió entre 25/18°C día/noche, la humedad relativa se mantuvo al 60/70 % día/noche y la iluminación máxima fue de 380 mmol.m⁻².s⁻¹. Las evaluaciones se realizaron al iniciar los tratamientos salinos y al concluir el período de tratamiento a los 14 días de aplicado el estrés. En cada momento se evaluó la biomasa del sistema radical, de la parte aérea y la superficie foliar de tres grupos compuestos por tres plantas de cada variante experimental. Al concluir el experimento se midieron además el número de hijos, los potenciales hídrico foliar, osmótico y osmótico a máxima saturación de raíz y de la parte aérea, y a partir del potencial hídrico y osmótico se estimó el potencial de turgencia, además se midió la conductancia estomática y la transpiración en el momento de máxima iluminación. A partir de los datos obtenidos se calcularon la tasa relativa de crecimiento, la tasa de asimilación neta y el índice de resistencia a la salinidad. Del análisis de los datos obtenidos, se evidenciaron diferencias en el comportamiento de las variedades al exponerse al estrés salino, no solo en lo referente al crecimiento, sino en las relaciones hídricas, a través de las cuales se pudo apreciar cómo en su mayoría adoptaron el mecanismo de ajuste osmótico, como forma para atenuar los efectos adversos provocados por el estrés.

Palabras clave: *Oryza sativa*, arroz, estrés osmótico, crecimiento, relaciones planta agua

Dr.C. D. Morales, Investigador Titular; Dr.C. P. Rodríguez, Investigador del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba; Dra. María de J. Sánchez-Blanco, Colaboradora Científica y Dr. A. Torrecillas, Profesor de Investigación del Departamento de Riego y Salinidad del Centro de Edafología y Biología del Segura (CEBAS), CSIC, España.

✉ dmorales@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

La salinidad es actualmente el principal factor ambiental causante de la reducción del crecimiento y la producción vegetal a escala mundial.

La salinización de los suelos es un fenómeno que cada día ha ido ganando en extensión; al respecto se ha informado que aproximadamente el 10 % de la superficie

terrestre está constituida por suelos salinos de diferentes tipos (1).

La salinidad afecta tanto el crecimiento vegetativo como el desarrollo reproductivo (2, 3), señalándose también que puede reducir el número de flores, incrementar la esterilidad y alterar la duración de la floración y la maduración.

Se conoce que la asimilación del CO_2 es sensible a los estrés ambientales (4) y se señala que los de sequía y salinidad a menudo ocurren simultáneamente con el estrés de temperatura, los que son muy comunes en zonas áridas y semi-áridas, conduciendo a la pérdida de los cultivos. Existen coincidencias de que la disminución de la fotosíntesis neta en condiciones de estrés salino se debe al cierre estomático.

El ajuste osmótico ayuda a las células de las plantas superiores a resistir el estrés salino y el déficit hídrico, manteniendo suficiente turgor para permitir el crecimiento, transporte, la acumulación y compartimentación de los iones inorgánicos y los solutos orgánicos.

Las sales pueden constituir un estrés adicional, debido a la toxicidad por acumulación de Na^+ en los tejidos de las plantas. La relativa habilidad de una planta para responder al incremento de la concentración de solutos en sus tejidos, puede en parte determinar su tolerancia a estos estrés.

Por otra parte, es bien conocido que las diferentes especies y variedades presentan una gran variabilidad en cuanto a la tolerancia a los distintos tipos de estrés.

Dado que el comportamiento de las relaciones hídricas que presentan las plantas ante los estrés ambientales, puede constituir un elemento a considerar en la selección de especies y variedades para su cultivo a escala comercial, es que el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar el efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas de diferentes variedades cubanas de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) de los cultivares cubanos LP-7, J-104, LP-9 y Perla, fueron germinadas en bandejas con vermiculita y agua destilada. Una vez emitida la radícula, se le adicionó solución nutritiva de Hoagland, donde se mantuvieron durante 13 días; posteriormente, se aclimataron durante siete días en condiciones de hidroponía en bandejas de nueve litros (16 cm de base inferior, 25 cm de base superior y 20.5 cm de altura) de capacidad, para a partir de ese período aplicar las variantes experimentales siguientes: un tratamiento control al que no se le adicionó NaCl en la solución nutritiva, así como también se utilizaron variantes con 75 y 150 mM de NaCl durante 14 días. En cada bandeja se colocaron nueve grupos de tres plantas cada uno.

Para el desarrollo del trabajo se empleó una cámara de crecimiento, en la que se estableció un fotoperíodo de 14 horas luz; la temperatura varió entre 25/18°C día/no-

che, la humedad relativa se mantuvo al 60/70 % y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el momento de máxima iluminación fue de 380 $\mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Las evaluaciones se realizaron al iniciar los tratamientos salinos y a los 14 días de aplicado el estrés. En cada momento se evaluó la biomasa del sistema radical y de la parte aérea en tres grupos de tres plantas de cada variante experimental, así como la superficie foliar. Al concluir el experimento, se midieron además del número de hijos, los potenciales hídrico foliar, osmótico y osmótico a máxima saturación de la parte aérea y radical antes del alba, utilizando en el primer caso una cámara de presión y para los restantes un osmómetro de presión de vapor (Wescor 5500); también se midió la conductancia estomática y transpiración con un porómetro Licor LI-1600 en el momento de máxima iluminación. Para las mediciones de las variables hídricas se seleccionaron hojas que estuvieran bien expuestas a la luz.

A partir de los datos de biomasa, se calculó la tasa relativa de crecimiento tanto del sistema radical como de la parte aérea mediante la expresión:

$$\text{TRC} = \ln M_f - \ln M_i / \Delta t$$

donde M_i y M_f son las masas secas iniciales y finales y Δt es el intervalo de tiempo (días) de aplicados los tratamientos, así como también se estimó la tasa de asimilación neta (TAN) a partir de la expresión:

$$\text{TAN} = (W_2 - W_1) / (A_2 - A_1) (\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1)$$

donde W_1 y W_2 representan las masas secas de las plantas al inicio y final del período experimental, A_1 y A_2 reflejan las superficies foliares de las plantas en iguales momentos que las variables antes señaladas, y t_1 y t_2 es el tiempo transcurrido entre una y otra evaluación, así como se calculó el índice de resistencia (5), y a partir de los potenciales hídrico y osmótico se estimaron los potenciales de presión.

Los datos obtenidos se analizaron según un modelo de Clasificación Simple y las medias se compararon mediante la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como puede apreciarse en la Figura 1, la tasa relativa de crecimiento tanto de raíces, parte aérea, como de la planta en su conjunto se vio afectada negativamente por la aplicación de los tratamientos salinos, destacándose la variedad LP-9 por una menor disminución de esta variable cuando se utilizaron 150 mM de NaCl , así como el buen comportamiento mostrado por la variedad LP-7 al exponerse a una solución con 75 mM de NaCl , respuesta que indica una adecuada capacidad de estas variedades para tolerar en mayor medida el nivel salino señalado, lo que les permite mantener un mejor ritmo de crecimiento expresado mediante la formación de materia seca.

También ocurrió una fuerte depresión de la tasa de asimilación neta al someterse las plantas al tratamiento salino, resultando la variedad LP-7 la más afectada, prin-

principalmente cuando se expuso al tratamiento con 150 mM de NaCl en la solución. El análisis de esta variable indicó una mayor dificultad de esta variedad para mantener un adecuado sistema fotosintético ante estas condiciones de severa salinidad, llegando incluso a afectarse más que la variedad definida como sensible (J-104), lo que está en estrecha relación con el comportamiento mostrado por la superficie foliar de las plantas.

Los resultados antes señalados concuerdan con los planteados en *Apium graveolens* (6), así como en *Lycopersicon esculentum* Mill. (7), en cuanto a la reducción que manifiesta el crecimiento de las plantas al ser cultivadas en condiciones de salinidad; estos también están en correspondencia con los informados en diferentes especies de *Eucalyptus* (8), respuesta que pudiera explicarse por la reducción que se produce en la utilización del carbono (9) para la síntesis de la pared celular cuando las plantas se exponen a condiciones de salinidad.

La Figura 2 muestra el comportamiento de las plantas en cuanto a la formación de la superficie foliar, emisión de hijos, conductancia estomática y transpiración.

Al analizar los resultados presentados en la figura, se apreció una reducción marcada de la superficie foliar en las plantas de todas las variedades al exponerse a los tratamientos salinos, haciéndose más pronunciada en la medida en que se incrementó el nivel salino, resultando la variedad LP-9 la menos perjudicada, respuesta que concuerda con las mostradas por las variables del crecimiento anteriormente señaladas.

Por su parte, el número de hijos emitidos sufrió afectaciones respecto a los alcanzados en las plantas cultivadas en condiciones nutricionales adecuadas, pero con apenas efecto depresivo en la variedad Perla, siendo la LP-7 la que mostró mayor sensibilidad al exponerse a niveles elevados de salinidad.

Por otra parte, la conductancia estomática y transpiración se vieron sensiblemente afectadas por la aplicación de NaCl al medio en todas las variedades evaluadas; sin embargo, se puede apreciar que el efecto fue ligeramente menos acentuado en la variedad LP-9, la que aún con los mayores niveles de salinidad mantuvo niveles de actividad superiores a los de la J-104 en las condiciones del tratamiento control.

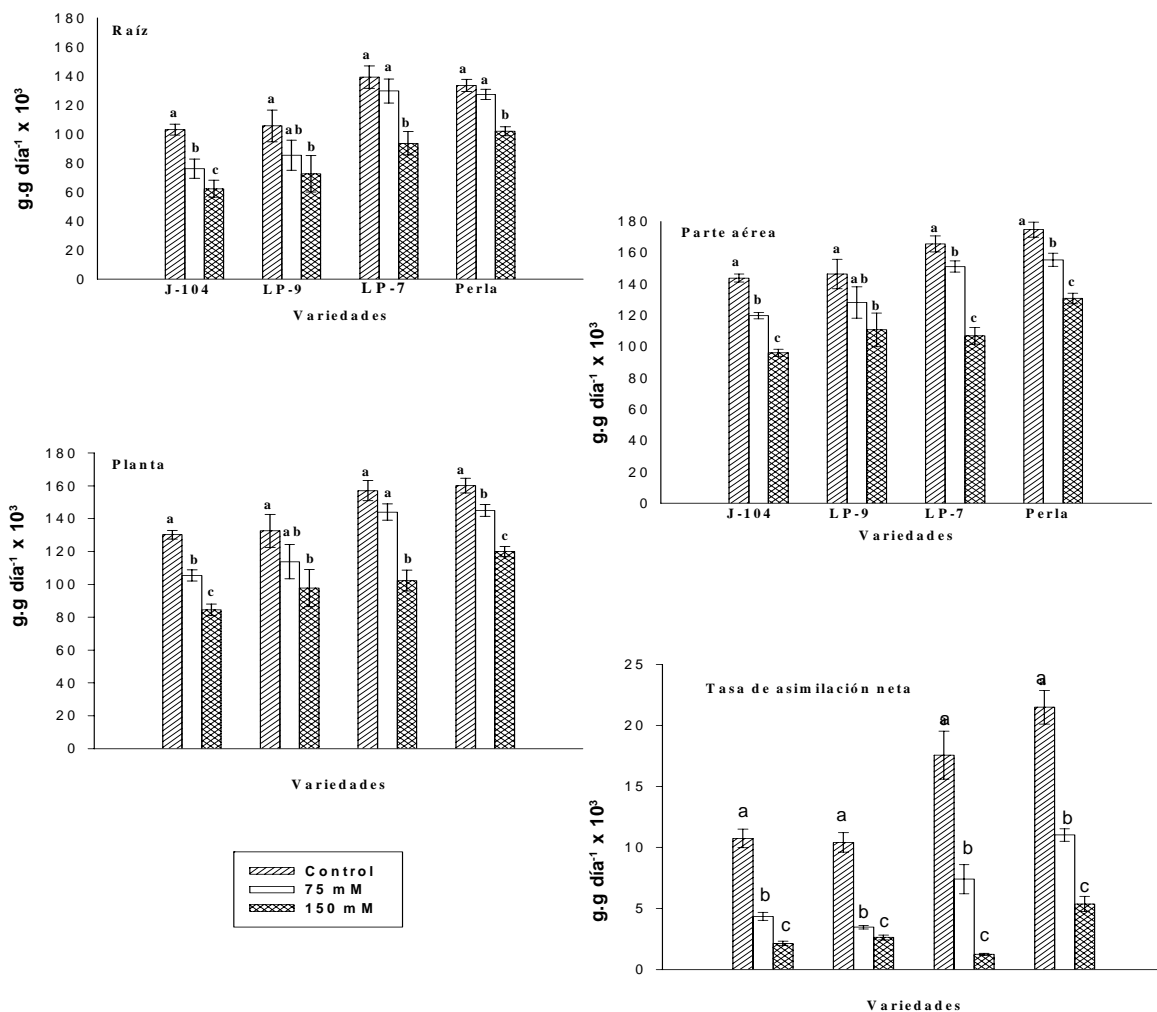


Figura 1. Tasas relativas de crecimiento de raíz, parte aérea y tasa de asimilación neta en plantas de diferentes variedades de arroz sometidas a estrés salino

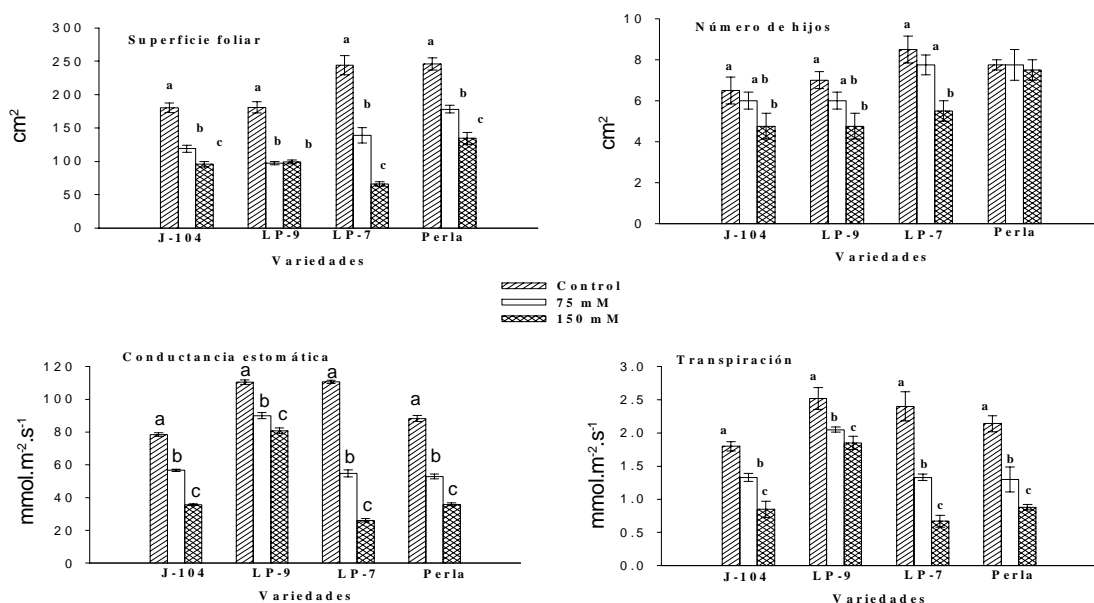


Figura 2. Superficie foliar, número de hijos, conductancia estomática y transpiración en plantas de diferentes variedades de arroz sometidas a estrés salino

Las afectaciones en el intercambio gaseoso provocadas por el cierre estomático producido por la presencia de sales en el medio, han sido informadas en plantas de *Bacopa monniera* (10), respuesta que fue asociada entre otras cuestiones con un decremento en la concentración de los pigmentos vinculados con este proceso, destacándose en este sentido los resultados informados que encontraron reducciones en el contenido de clorofilas por unidad de masa fresca (11) y en la fluorescencia de esta cuando las plantas se expusieron a tratamientos salinos por NaCl, así como han sido asociados con el comportamiento de la actividad de las enzimas que intervienen en el proceso de la fotosíntesis, principalmente con la Rubisco (12).

En la Figura 3 se puede apreciar que tanto el potencial hídrico foliar como los potenciales osmóticos sufrieron una fuerte depresión de sus valores con el incremento del contenido salino en el medio, mientras que el potencial de presión se incrementó. Se hizo notar cómo todas las variedades desarrollaron el mecanismo de ajuste osmótico, principalmente en la parte aérea de la planta. Se aprecia, además, cómo la variedad LP-7 fue la que marcó un ajuste estomático más pronunciado, notándose incluso cierta tendencia al desarrollo de este mecanismo en la parte radical.

Decrecimientos de los potenciales hídrico foliar, osmóticos, de la conductancia estomática y la transpiración han sido informados en plantas de *Triticum durum* (13) sometidas a estrés salino, así como en *Oryza sativa* (5, 14), *Spinacia oleracea* (12), *Lycopersicon esculentum* y *Brassica rapa* (15), entre otras. Estos resultados explican muy bien la disminución de la intensidad de flujo del agua desde la raíz a la parte aérea, pues a una menor conductancia estomática le corresponderá un menor in-

tercambio de vapor de agua y, por tanto, una menor transpiración, por consiguiente, un menor movimiento del agua en la planta, lo que conlleva a una menor hidratación de la parte aérea de la planta, provocando una depresión en los potenciales hídrico y osmóticos.

Puede señalarse el hecho de que todos los cultivares se ajustaron osmóticamente, incluso cuando la concentración de NaCl en el medio fue de 75 mM, lo que demuestra la capacidad de esta especie para adaptarse a condiciones desfavorables de este tipo. Resultados similares en cuanto a la respuesta de las plantas expuestas a tratamientos salinos fueron informados en diferentes especies del género *Triticum* (16), que señalaron que el ajuste osmótico en primera instancia era producido por la rápida absorción de Na⁺ y Cl⁻ y la poca reducción de los azúcares producidos por las plantas en condiciones salinas, los que en este caso pudieron ser la causa de la disminución del potencial osmótico, sin que se alterara significativamente la turgencia de las plantas. Esta respuesta ha sido explicada mediante un doble mecanismo (15): en primer lugar, por la acumulación de NaCl en las vacuolas y, en segundo lugar, por una acumulación de solutos orgánicos en el citoplasma.

Índice de resistencia

Variedad	75 mM	150 mM
J-104	0.81	0.65
LP-9	0.86	0.73
LP-7	0.92	0.65
Perla	0.90	0.75

El análisis del índice de resistencia de las variedades ante diferentes concentraciones de NaCl en el medio mostró cómo las variedades LP-7, Perla y LP-9 superan

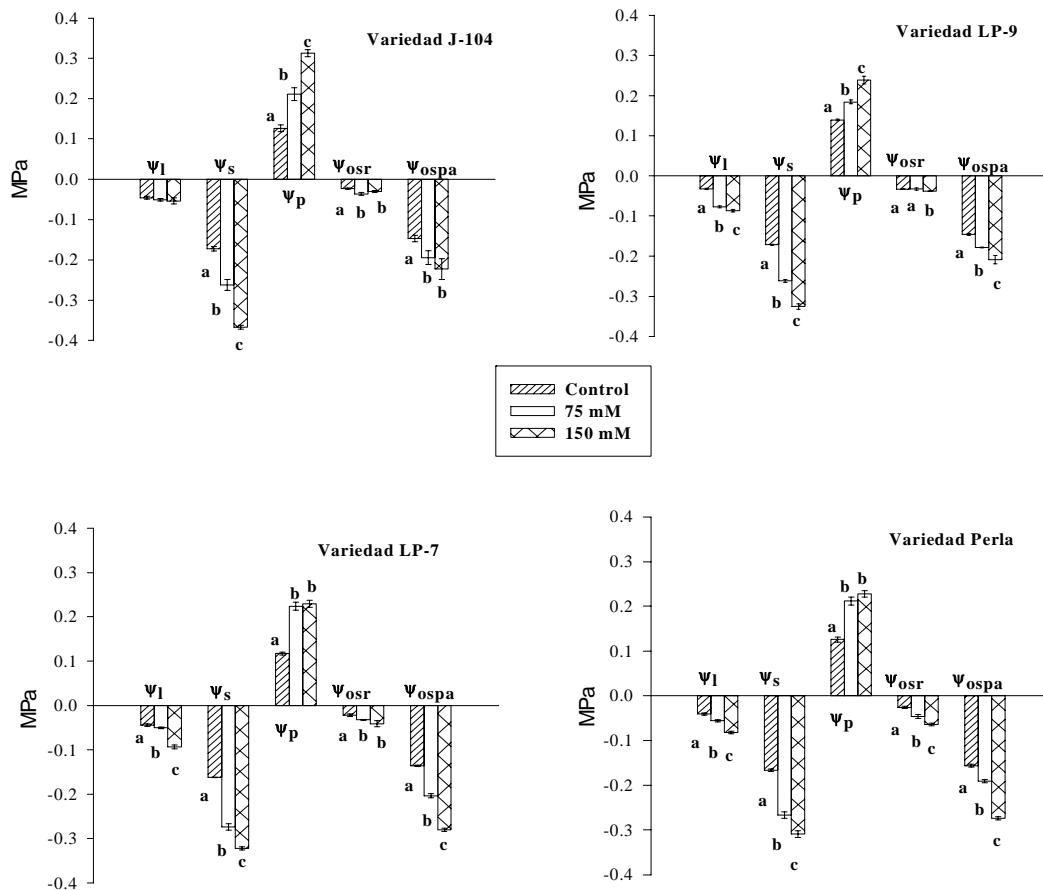


Figura 3. Potencial hídrico foliar (ψ_l), potencial osmótico (ψ_s), potencial de presión (ψ_p), potencial osmótico saturado en raíces (ψ_{osr}) y osmótico saturado de la parte aérea (ψ_{ospa}) en plantas de diferentes variedades de arroz sometidas a estrés salino

a la variedad sensible cuando se exponen a niveles moderados de salinidad; sin embargo, cuando se cultivan en un medio fuertemente salino, la Perla y LP-9 superan sensiblemente a las demás, lo que sugiere que en medios salinos moderados resulta más conveniente utilizar la variedad LP-7, mientras que las variedades LP-9 y Perla pueden emplearse en condiciones de un medio con contenidos salinos elevados, respuesta que puede ser reflejo de una mayor tolerancia de estas variedades a las condiciones de salinidad impuestas (5), al señalar que aquellas variedades con mayores índices de resistencia presentan una mayor tolerancia al factor estresante que se le impone.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación SENECA de Murcia, por haber aportado la ayuda financiera necesaria para la ejecución del trabajo; al CEBAS y muy especialmente al grupo del Dr. Arturo Torrecillas, por prestar sus instalaciones y recursos materiales; a la Dra. María C. González y a la Ing. Noraida Pérez, por haber facilitado el material vegetal utilizado en este trabajo y a M. García, por su contribución en la determinación de algunas de las variables que aquí se exponen.

REFERENCIAS

1. Szalboics, I. Soils and salinization. En: Handbook of Plant Crop Stress. New York : Pessarakli, M. Marcel Dekker, Inc., 1994, p. 3-11.
2. Folkard, A.; Dingkuhn, M.; Wittstock, C. y Doerffling, K. Sodium and potassium uptake of rice panicles as affected by salinity and season in relation to yield and yield components. *Plant and Soil*, 1999, vol. 207, p. 133-145.
3. Munns, R. y Rawson, H. M. Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1999, vol. 26, p. 459-464.
4. Dubey, R. S. Photosynthesis in plants under stressful conditions. En: Handbook of Photosynthesis. New York : Marcel Dekker, 1997, p. 859-875.
5. Lutts, S.; Kinet, J. M. y Bouharmont, J. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.). Cultivars differing in salinity resistance. *Plant Growth Regulation*, 1996, vol. 19, p. 207-218.
6. Pardossi, A.; Malorgio, F.; Oriolo, D.; Gucci, R.; Serra, G. y Tognoni, F. Water relations and osmotic adjustment in *Apium graveolens* during long-term NaCl stress and subsequent relief. *Physiol. Plant.*, 1998, vol. 102, p. 369-376.

7. Morales, D.; Rodríguez, P.; Sánchez-Blanco, M. J. y Torrecillas, A. Respuesta a la salinidad de tres variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 3, p. 71-76.
8. Grieve, M. C.; Guzy, M. R.; Poss, J. A. y Shannon, M. C. Screening *Eucalyptus* clones for salt tolerance. *HortScience*, 1999, vol. 34, no. 5, p. 867-870.
9. Taiz, L. Plant cell expansion: Regulation of cell wall mechanical properties. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 1984, vol. 35, p. 585-657.
10. Ali, G.; Srivastava, P. S. y Iqbal, M. Proline accumulation, protein pattern and photosynthesis in *Bacopa monneira* regenerants grown under NaCl stress. *Biologia Plantarum*, 1999, vol. 42, no. 1, p. 89-95.
11. Herralde, F. de; Biel, C.; Savé, R.; Morales, M. A.; Torrecillas, A.; Alarcón, J. J. y Sánchez-Blanco, M. J. Effect of water and salt stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronopifolium* plants. *Plant Science*, 1998, vol. 139, p. 9-17.
12. Delfine, S.; Alvino, A.; Villani, M. C. y Loreto, F. Restrictions to carbon dioxide conductance and photosynthesis in spinach leaves recovering from salt stress. *Plant Physiology*, 1999, vol. 119, p. 1101-1106.
13. Almansouri, M.; Kinet, J. M. y Lutts, S. Compared effects of sudden and progressive impositions of salt stress in three durum wheat (*Triticum durum* Desf) cultivars. *J. Plant Physiol.*, 1999, vol. 154, p. 743-752.
14. Lutts, S.; Majerus, V. y Kinet, J. M. NaCl effects on proline metabolism in rice (*Oryza sativa*) seedlings. *Physiologia Plantarum*, 1999, vol. 105, p. 450-458.
15. Mäkelä, P.; Kontturi, M.; Pehu, E. y Somersalo, S. Photosynthetic response of drought and salt-stressed tomato and turnip rape plants to foliar-applied glycinebetaine. *Physiologia Plantarum*, 1999, vol. 105, p. 45-50.
16. Morant-Avice, A.; Pradierand, E. y Houchi, R. Osmotic adjustment in triticales grown in presence of NaCl. *Biologia Plantarum*, 1998, vol. 41, no. 2, p. 227-234.

Recibido: 7 de noviembre de 2003

Aceptado: 22 de junio de 2004

DIPLOMADOS

Precio: 2000 USD

Incremento en la producción de las áreas afectadas por la sequía

Coordinador: Dra.C. María C. González Cepero
Duración: 1 año

SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación, Servicios Informativos
y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba. CP 32700
Telef: (53) (64) 6-3773
Fax: (53) (64) 6-3867
E.mail: posgrado@inca.edu.cu