

RESPUESTA DE PLANTAS DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) A LA APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE NaCl. I. CRECIMIENTO Y RELACIONES HÍDRICAS

D. Morales[✉], María del C. Bolarín y Encarna Cayuela

ABSTRACT. This work was carried out with the objective of determining the answer to plant growth and water relations of two rice varieties (*Oryza sativa* L.) when being exposed to different NaCl levels. Plants were developed in a growth chamber under hydroponic conditions. Evaluations were carried out at the beginning of the experiment, at seven and 14 days of having applied treatments and after seven days of recovery. Evaluations consisted of the biomass expressed as fresh and dry matter from roots and the air part, stomatal conductance, transpiration as well as leaf, osmotic, pressure and osmotic potentials at full turgor. The analysis of plant behavior indicated that they modified growth as much as water relations when exposed to saline conditions. It was also appreciated that under these conditions, plants developed the osmotic adjustment mechanism.

Key words: growth, osmotic pressure, plant water relations, rice, salinity, plant response

RESUMEN. Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar la respuesta en el crecimiento y las relaciones hídricas de dos variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) al ser expuestas a diferentes niveles de NaCl. Las plantas se desarrollaron en una cámara de crecimiento en condiciones de hidroponía. Las evaluaciones se llevaron a cabo al iniciarse el experimento, a los siete y 14 días de aplicados los tratamientos y después de siete días de recuperación. Las evaluaciones realizadas consistieron en la biomasa expresada como la materia fresca y seca de raíces y la parte aérea, la conductancia estomática, transpiración y los potenciales hídrico foliar, osmótico, de presión y osmótico a plena turgencia. El análisis del comportamiento de las plantas indicó que estas modificaron tanto el crecimiento como las relaciones hídricas al ser expuestas a las condiciones salinas. También se apreció que en estas condiciones las plantas desarrollaron el mecanismo de ajuste osmótico.

Palabras clave: crecimiento, presión osmótica, relaciones planta-agua, arroz, salinidad, respuesta de la planta

INTRODUCCIÓN

La salinidad es un estrés abiótico complejo que simultáneamente presenta componentes osmóticos e iónicos (1). Por ello se señala que una concentración elevada de sales en el medio radical afecta negativamente el desarrollo de la planta, debido fundamentalmente a los efectos hiperosmóticos e hiperiónicos del estrés (2).

Una de las causas del abatimiento de las plantas en los suelos salinizados, es la absorción y acumulación de un exceso de iones hidrofílicos osmóticamente activos en las células vegetales, entre los que se destacan el Na y Cl; esto provoca un cambio apreciable en la homeostasis iónico-osmótica y en el régimen acuoso del citoplasma, lo que a su vez induce una serie de desarreglos en el metabolismo de la planta, que inevitablemente debilita la intensidad de todas las reacciones de síntesis y que se manifiestan en la reducción del crecimiento, la formación de biomasa y el rendimiento (3, 4).

Dr.C. D. Morales, Investigador Titular del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, La Habana, Cuba, CP 32 700; Dra. María del C. Bolarín, Directora de Investigaciones; Dra. Escarba Cayuela, Colaboradora de Investigación del Departamento de Riego y Salinidad, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia, España.

✉ dmorales@inca.edu.cu

Al respecto, se ha planteado que la pérdida de la homeostasis hídrica e iónica ocurre tanto a escala celular como a nivel de planta y provoca graves daños moleculares que detienen el crecimiento de la planta (5).

Se conoce que la asimilación del CO₂ es sensible a los estrés ambientales y se señala que los estrés 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 (6). Existen coincidencias de que la disminución de la fotosíntesis neta en condiciones de estrés salino es debido al cierre estomático.

El estrés salino altera las relaciones hídricas de las plantas a través de los estrés hídrico y osmótico. En respuesta a estos, las plantas desarrollan el mecanismo de ajuste osmótico, de manera que puedan resistir el déficit hídrico, manteniendo un grado de hidratación de las células que les permite continuar su crecimiento, el transporte, la acumulación y compartimentación de los iones orgánicos e inorgánicos, los que le ayudan a resistir el estrés salino en las células de las plantas superiores (7).

El ajuste osmótico es una respuesta fisiológica de las plantas, que consiste en una acumulación activa de solutos en las células de estas, lo que le permite disminuir su potencial hídrico y absorber agua con potenciales

hídricos del suelo menores, ayuda a las células de las plantas superiores a resistir el estrés salino y el déficit hídrico, manteniendo suficiente turgencia para permitir el crecimiento, transporte, acumulación y compartimentación de los iones inorgánicos y solutos orgánicos. Esto le permite a la planta continuar sus actividades durante períodos de sequía.

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.

El arroz es un alimento cuyo consumo está muy extendido; constituye la base de la dieta de casi la mitad de los habitantes del mundo, sin embargo, su cultivo se ve cada día más amenazado por el incremento de las sales solubles en los suelos donde se cultiva; de ahí que el estudiar el comportamiento de nuevas variedades capaces de adaptarse a condiciones de salinidad, constituye una alternativa importante para mantener niveles de producción sustentables.

Dado que el comportamiento de 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 la influencia del estrés salino en el crecimiento y las relaciones hídricas de dos variedades de arroz de origen cubano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) de las variedades LP-7 y J-104 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, para a partir de ese momento aplicar las variantes experimentales siguientes: 0, 50, 75 y 100 mM de NaCl durante 14 días, para finalmente mantenerlas durante siete días en fase de recuperación en solución nutritiva. En cada bandeja se colocaron 12 grupos de tres plantas cada uno.

Para el desarrollo del trabajo se empleó un cuarto de crecimiento, en el que se estableció un fotoperíodo de 16 horas luz y ocho de oscuridad; la temperatura varió entre 25/17°C día/noche, la humedad relativa se mantuvo al 60 % y la iluminación máxima fue de 345 $\mu\text{moles m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Los muestreos se realizaron al iniciar los tratamientos salinos, después de siete días, a los 14 días de aplicado el estrés y al concluir el período de recuperación.

En cada momento se evaluó la biomasa del sistema radical y de la parte aérea de tres grupos de tres plantas de cada variante experimental, así como se midieron el potencial hídrico foliar antes del alba con una cámara de presión y el potencial osmótico actual antes del alba así

como el potencial osmótico a máxima saturación de la parte aérea con un osmómetro (Wescor 5500) y, además, se midió la conductancia estomática y transpiración con un Porómetro Licor, LI-1600 en el momento de máxima iluminación.

A partir de los datos de las biomásas fresca y seca, se determinó el contenido de agua en las raíces y parte aérea de las plantas, y el potencial de turgencia se estimó mediante los potenciales hídricos y osmóticos reales.

Los datos obtenidos fueron analizados según un modelo de clasificación simple y las medias se compararon según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra el crecimiento expresado por la acumulación de materia seca, tanto del sistema radical como de la parte aérea de plántulas de arroz expuestas a tratamientos salinos.

Como se aprecia en la figura, a los siete días de exposición a la salinidad, solo el tratamiento que contó con 100 mM de NaCl en la solución en la parte radical de la variedad LP-7, mostró una ligera depresión de sus valores; sin embargo, después de transcurridos 14 días de encontrarse las plantas sometidas a los tratamientos salinos, sí se apreció una marcada influencia en la acumulación de la materia seca, tanto en el sistema radical, como en la parte aérea de ambas variedades y de manera más acentuada en el sistema radical, donde el tratamiento con mayor contenido salino disminuyó su crecimiento en casi la mitad del de las plantas cultivadas en condiciones normales de salinidad, resultados que concuerdan con los informados en estudios realizados con diferentes líneas y variedades de arroz sometidas a distintos niveles de NaCl durante su estado juvenil (8, 9, 10) y en el cultivo del tomate (5), y que también han sido señalados en diferentes variedades de trigo y millo (11). Se destaca de igual forma que al concluir el período de estrés, esta variable mostró un comportamiento similar entre las plantas que se mantuvieron en un medio con 50 y 75 mM mostrando poca diferencia respecto a las plantas control.

Puede notarse cómo el crecimiento expresado por esta variable, estuvo mayormente definido por la parte aérea de la planta, la que prácticamente triplicó al crecimiento del sistema radical.

Puede señalarse el hecho de que una vez concluido el período de estrés y sometidas las plantas durante siete días al tratamiento control, estas no lograron recuperarse, lo que demuestra el carácter irreversible de los daños ocasionados.

Al valorar el comportamiento de los contenidos de agua en las diferentes partes de la planta (Figura 2), se pudo apreciar que en la parte aérea se produjeron decrementos significativos a los siete días de aplicados los tratamientos, siendo el tratamiento con mayor contenido salino en la solución nutritiva, el que presentó los menores valores, mientras que en lo que respecta al sis-

tema radical este fue el único tratamiento que se diferenció del que no contenía NaCl en la solución. Una vez transcurridos otros siete días bajo tratamiento salino, la parte aérea de todas las plantas expuestas a estas condiciones se diferenció del control, pero no entre ellas, mientras que en la parte radical ya el tratamiento más salino descendió en sus valores con respecto a los demás y todos lo hicieron en relación con el control.

Es de notar cómo al cumplirse el período de siete días de exposición de todas las plantas a las condiciones del tratamiento control, se produjo un incremento del contenido de agua en las diferentes partes de las plantas, llegando en la parte aérea a igualarse sus contenidos con los de las plantas control y en el sistema radical incluso superaron a estas últimas. Estos resultados demuestran el efecto osmótico provocado por la salinidad, el que restringe la absorción de agua por las raíces, lo que repercute en el estado hídrico de toda la planta.

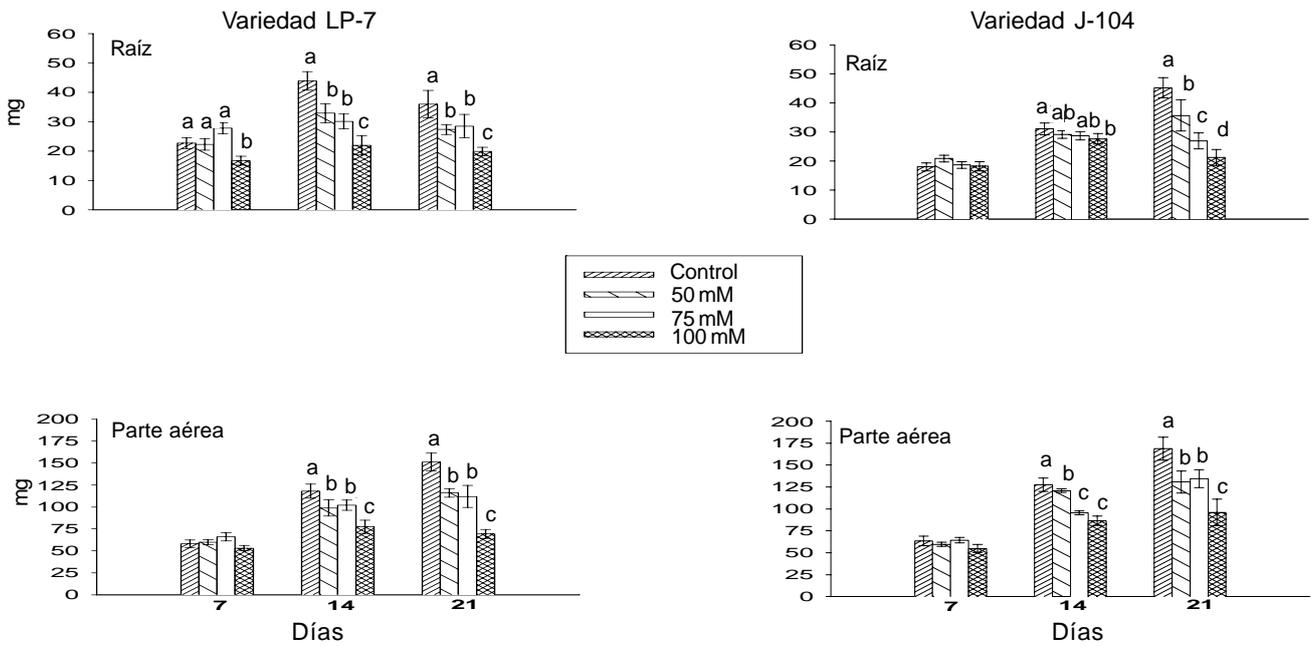


Figura 1. Masas secas de la raíz y parte aérea de dos variedades de arroz expuestas a condiciones salinas

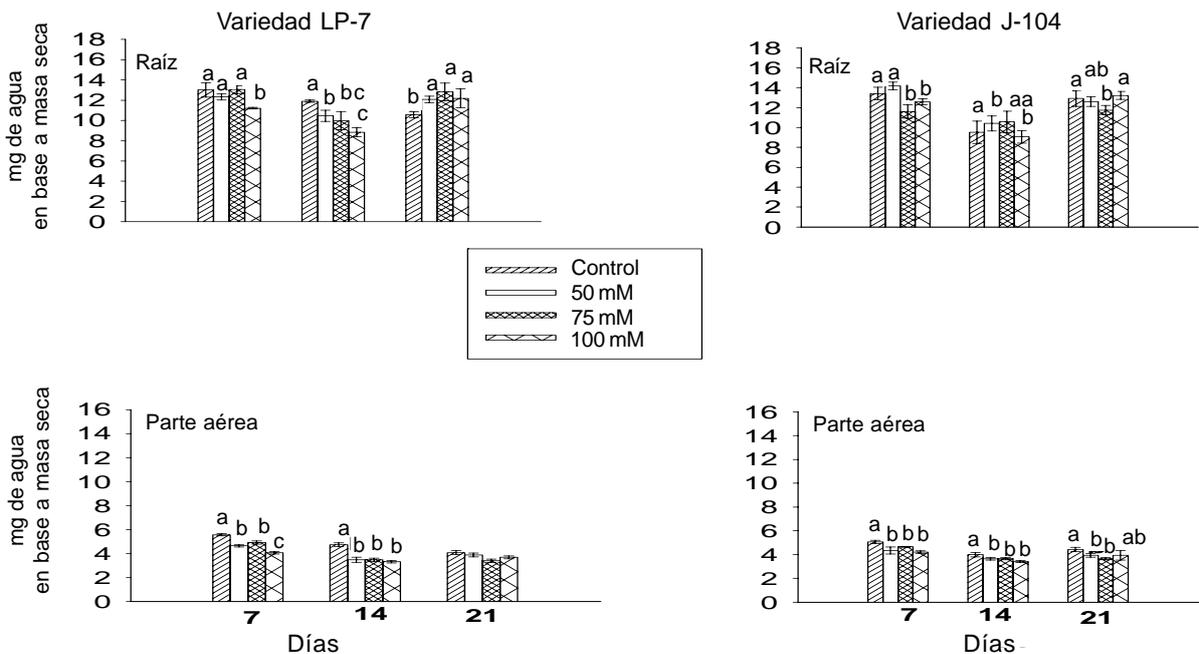


Figura 2. Contenido de agua en plantas de dos variedades de arroz expuestas a condiciones salinas

Al analizar la Figura 3, se pudo apreciar que tanto la conductancia estomática como la transpiración, se vieron afectadas por los tratamientos con NaCl en la solución nutritiva, después de transcurridos los primeros siete días de exposición de las plantas a las condiciones salinas y que estas afectaciones se fueron acentuando en la medida que las plantas se mantuvieron por más tiempo sometidas a estas condiciones. Se destaca cómo en la variedad LP-7, ambas variables mostraron haberse recuperado después de las plantas permanecer durante siete días en solución nutritiva sin NaCl, mientras que esta tendencia en la variedad J-104, solo se apreció para la transpiración, donde los dos tratamientos con menores contenidos de NaCl en la solución, equipararon sus valores con los de las plantas del tratamiento control.

Puede observarse, además, que la variedad LP-7 de manera general, mostró valores superiores de estas variables a los mostrados por la variedad J-104, lo que la coloca en mejores condiciones para enfrentar situaciones adversas de este tipo, al realizar con mayor intensidad los procesos biológicos analizados.

Afectaciones en el intercambio gaseoso provocadas por el cierre estomático producido por la presencia de sales en el medio, han sido informadas con anterioridad en estudios realizados con diferentes variedades de arroz (10). Esta respuesta ha sido asociada, entre otros aspectos, con un decremento en la concentración de los pigmentos

vinculados con este proceso, destacándose en este sentido los resultados informados (12); se han encontrado reducciones en el contenido de clorofilas por unidad de masa fresca y en la fluorescencia de esta, cuando las plantas se expusieron a tratamientos salinos por NaCl, resultados que también han sido vinculados con el comportamiento de la actividad de las enzimas que intervienen en el proceso de la fotosíntesis, fundamentalmente la Rubisco (13), aspectos tales que muy bien pudieran haber sido la causa del comportamiento mostrado por estas plantas.

En la Figura 4, se puede observar que el potencial hídrico foliar mostró una tendencia a disminuir con el aumento del contenido salino en el medio, y que esta variable de manera general incrementó sus valores en la medida en que las plantas permanecieron por más tiempo en la solución salina, pero transcurridos los siete días en condiciones no salinas, no llegaron a alcanzar los valores mostrados por las plantas del tratamiento control.

Por su parte, los potenciales osmóticos saturados y de presión indicaron la presencia del mecanismo de ajuste osmótico, pero de manera más marcada en la variedad LP-7, sobre todo después de transcurridos 14 días de aplicados los tratamientos, principalmente en los niveles de salinidad intermedios en que hubo un incremento significativo de la turgencia.

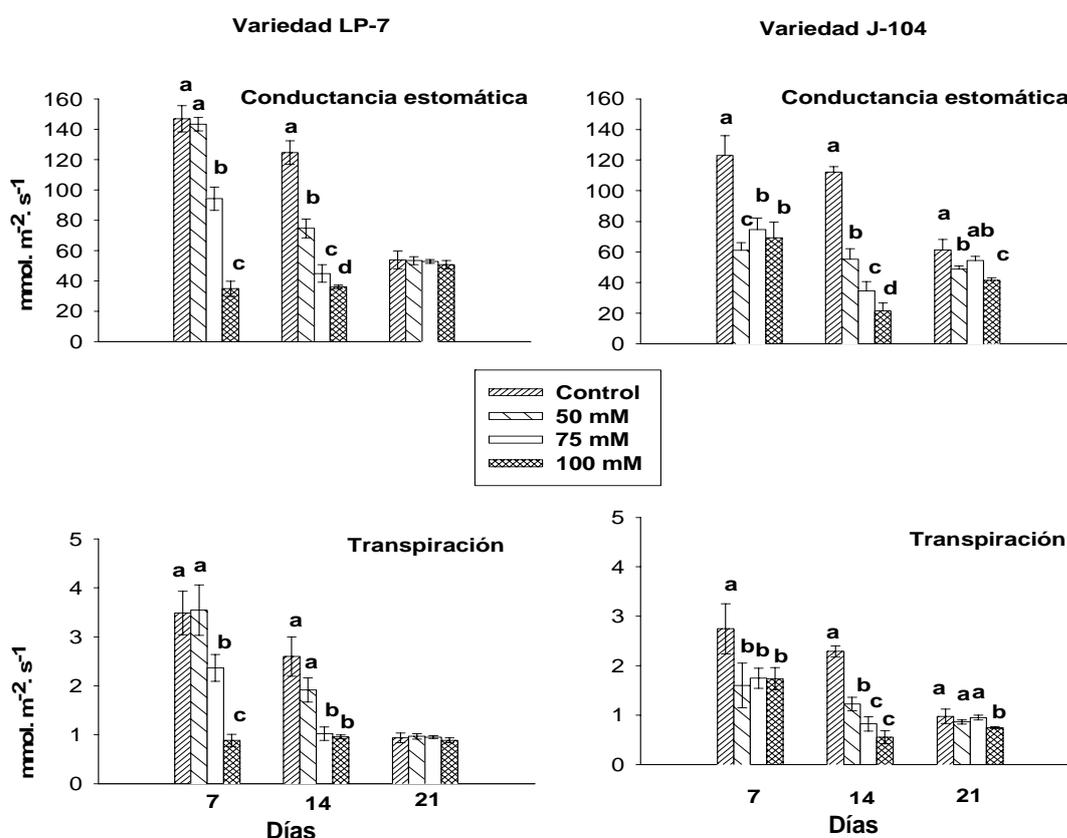


Figura 3. Conductancia estomática y transpiración en dos variedades de arroz expuestas a condiciones salinas

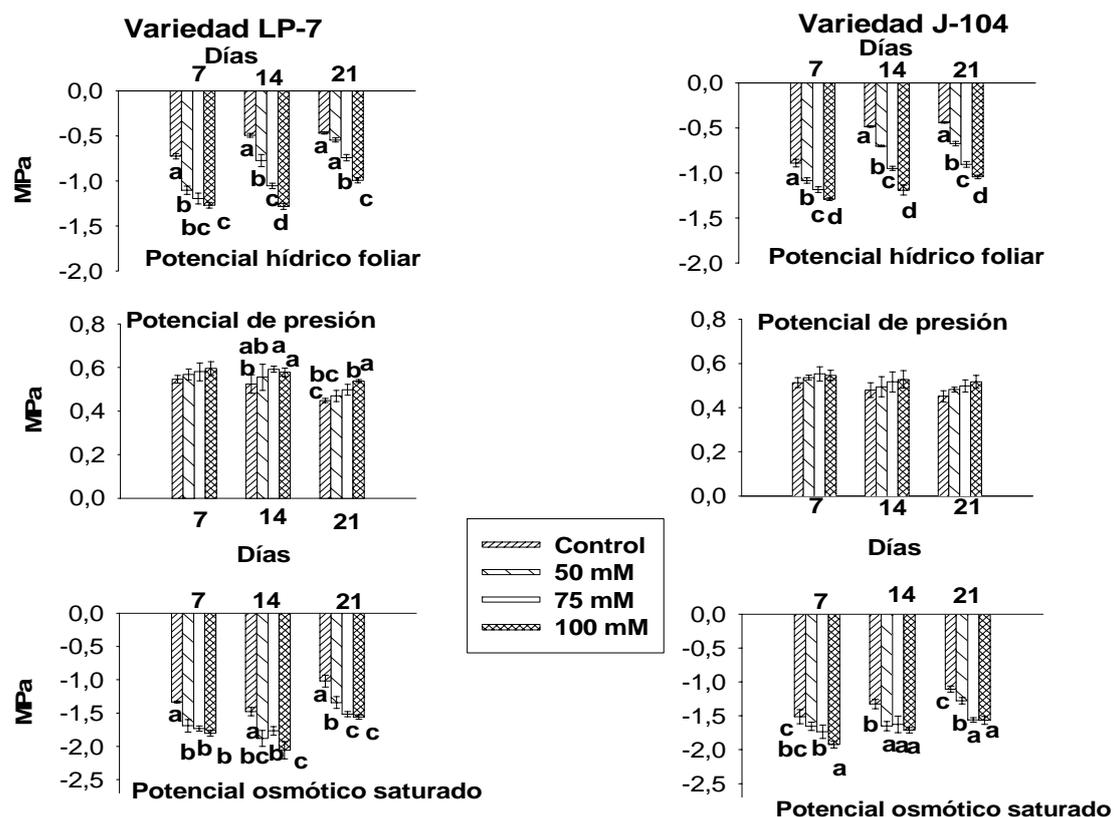


Figura 4. Potenciales hídrico foliar, de presión y osmótico saturado en plantas de dos variedades de arroz expuestas a condiciones salinas

Es de notar el hecho de que la variedad J-104 mantuvo la turgencia casi inalterable durante todo el período experimental, lo que pudiera ser una señal de cierta adaptabilidad de esta variedad a las condiciones salinas impuestas. Estas variables al igual que las anteriormente analizadas no lograron de manera general una total recuperación después de siete días en condiciones normales.

Respuestas concordantes con las encontradas en este trabajo fueron informadas a partir de trabajos realizados en *Oryza sativa* (9, 14) y también son coincidentes con las encontradas en cuanto a la depresión que ocurre en el potencial hídrico, al ser expuestas las plantas a condiciones de salinidad en el medio radical (15).

REFERENCIAS

1. Sam, O.; Ramírez, C.; Coronado, M. J.; Testillano, P. S. y Risueño, M. C. Changes in tomato leaves induced by NaCl stress: leaf organization and cell ultrastructure. *Biología Plantarum*, 2003/2004, vol. 47, no. 3, p. 361-366.
2. Dell'Amico, J. M. y Parra, M. Efecto del estrés por NaCl en el contenido de cloruros, el potencial osmótico real y el crecimiento de dos cultivares de tomate cubanos. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 2, p. 39-44.
3. Gómez-Cadena, A. /et al./ Alteraciones en la fisiología de los cítricos inducidas por la salinidad. *Levante Agrícola*, 2001, vol. 356, p. 187-193.
4. González, L. M.; González, M. C. y Ramírez, R. Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 2, p. 27-37.
5. Zhu, J. K. Plant salt tolerance. *Trends Plant Science*, 2001, vol. 6, p. 66-71.
6. Dubey, R. S. Photosynthesis in plants under stressful conditions. En: Pessrakli M. (ed) Handbook of Photosynthesis. Marcel Dekker: New York, p. 859-875.
7. Zhu, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2002, vol. 53, p. 247-73.
8. Cristo, E.; González, M. C.; Cárdenas, M. R. y Pérez, N. Evaluación de la tolerancia a la salinidad en el estado juvenil de tres nuevas líneas de arroz (*Oryza sativa* L.) utilizando marcadores morfoagronómicos. *Cultivos Tropicales*, 2001, vol. 22, no. 2, p. 43-45.
9. 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, no. 19, p. 207-218.
10. Morales, D.; Rodríguez, P.; Sánchez-Blanco, M. de J. y Torrecillas, A. Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas de diferentes variedades de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 25, no. 4, p. 11-16.
11. 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, no. 26, p. 459-464.

12. 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.
13. 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.
14. Lutts, S.; Majerus, V. y Kinet, J. M. NaCl effects on proline metabolism in rice (*Oryza sativa*) seedlings. *Physiologia Plantarum*, 1999, no. 105 p. 450-458.
15. Zhu, X.; Gong, H.; Chen, G.; Wang, S. y Zhang, C. Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different developmental stages. *Journal of Arid Environments*, 2005, vol. 62, no.1, p. 1-14.

Recibido: 29 de noviembre de 2005

Aceptado: 25 de octubre de 2006

Cursos de Verano

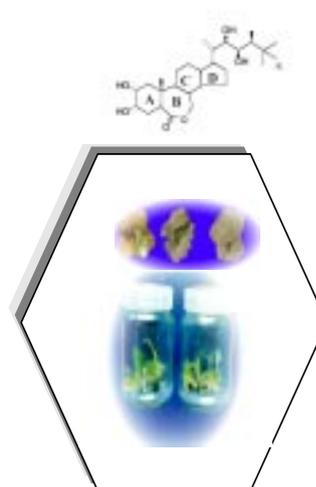
Precio: 320 CUC

Brasinoesteroides: nuevos biorreguladores de amplia perspectiva para la agricultura

Coordinador: Dra.C. Miriam de la C. Núñez Vázquez

Fecha: julio

Duración: 40 horas



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) (47) 86-3773
Fax: (53) (47) 86-3867
E.mail: posgrado@inca.edu.cu