

RESPUESTA DE PLANTAS DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) DE LA VARIEDAD LP-7 A LA APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE NaCl. II. IONES INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

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

ABSTRACT. The present study was conducted under controlled conditions of temperature, humidity and light, with the aim of determining N^+ , K^+ and total soluble sugar contents in rice (*Oryza sativa* L.) plants from LP-7 variety exposed to different NaCl levels. Plants developed in a hydroponic growth chamber. Evaluations were recorded at the beginning of the experiment, seven and 14 days after applying treatments and seven days after its recovery in a nutrient solution without NaCl. Evaluations consisted of determining Na^+ , K^+ and total soluble sugar contents. The analysis of those variables showed differences concerning ion accumulation in all plant organs, and the tested variety behaved as a Na^+ including one in its root system, which makes it sensitive to high NaCl concentrations.

Key words: *Oryza sativa*, salinity, ions, sodium, potassium, sugars, plant response

RESUMEN. Con el objetivo de determinar los contenidos de los iones N^+ , K^+ y azúcares solubles totales en plantas de la variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) LP-7 expuestas a diferentes niveles de NaCl, se realizó el presente trabajo en condiciones de temperatura, humedad e iluminación controladas. 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 en solución nutritiva sin NaCl. Las evaluaciones consistieron en determinar los contenidos de Na^+ , K^+ y azúcares solubles totales. El análisis de las distintas variables evaluadas reflejó diferencias en cuanto a la acumulación de los iones en los distintos órganos de la planta, comportándose la variedad estudiada como incluidora de Na^+ en su sistema radical, lo que la hace manifestarse como sensible a elevadas concentraciones de NaCl.

Palabras clave: *Oryza sativa*, salinidad, iones, sodio, potasio, azúcares, respuesta de la planta

INTRODUCCIÓN

La salinidad es un estrés abiótico complejo que simultáneamente presenta componentes osmóticos e iónicos (1). Por ello, 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).

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 (4). También, la salinidad es el principal estrés que afecta la agricultura mundial, lo que ha llevado a muchas investigaciones encaminadas a mejorar la tolerancia de las plantas a este tipo de estrés (4).

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 tolerancia a los distintos tipos de estrés.

Dado que el comportamiento de las plantas ante los estrés ambientales puede constituir un elemento a considerar, para la selección de especies y variedades con fines de cultivo a escala comercial, es que el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar la acu-

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

✉ dmorales@inca.edu.cu

mulación de los iones sodio, potasio y azúcares totales de la variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) LP-7 expuesta a diferentes niveles de NaCl.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) de la variedad LP-7 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 sin NaCl.

En cada bandeja se colocaron 12 grupos de tres plantas cada uno, de los cuales seis correspondieron a cada cultivar.

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 $\text{mmoles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Los muestreos se realizaron al iniciar los tratamientos salinos (t_0), después de siete días (t_1), a los 14 días (t_2) de aplicado el estrés y a los 21 días al concluir el período de recuperación (t_3), realizándose las determinaciones tanto en la parte aérea como radical de las plantas.

Los iones se determinaron de la siguiente forma: los cationes Na^+ y K^+ mediante espectrofotometría de absorción atómica en un equipo Shimadzu AA-680 y los azúcares solubles totales mediante espectrofotometría ultravioleta, midiendo la absorbancia de la dilución a 625 en un espectrofotómetro GBC UV/VIS 916.

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 los contenidos de Na^+ en las raíces y la parte aérea de las plantas

Se destaca cómo hubo una rápida acumulación de Na^+ , tanto en sus raíces como en la parte aérea, al exponerse a los tratamientos salinos y se observa cómo en general hay una menor acumulación de este ion en la parte aérea, así como que las plantas mostraron niveles de sodio superiores en las raíces que en la parte aérea; sin embargo, la tendencia hacia la recuperación de los niveles iniciales normales fue más apreciable en este órgano. El hecho de que el Na^+ se acumule en la raíz en mayor medida que en la parte foliar, indica que esta variedad es incluidora de este ion, pero en mayor medida en su sistema radical.

Resultados similares fueron indicados al estudiar el comportamiento de plantas de *Vigna unguiculata* sometidas a tratamientos con NaCl (5), así como en diferentes especies citricolas (6), pero que difieren con los informados en otro cereal como el trigo (7), lo que ha sido atribuido a la capacidad de esta planta para emitir raíces adventicias como respuesta a la sal, lo que le confiere determinado grado de tolerancia.

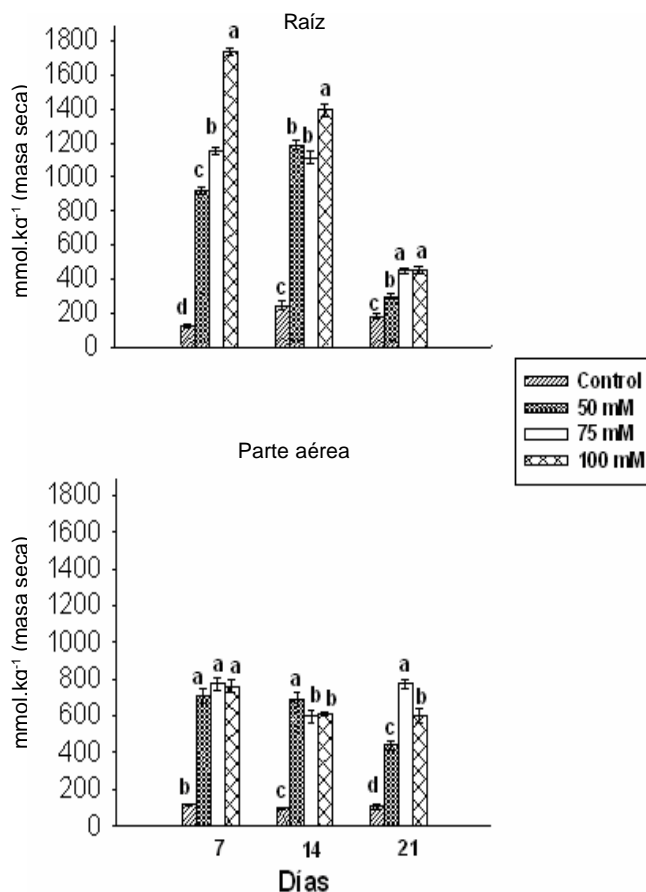


Figura 1. Contenido de Na^+ en las raíces y en la parte aérea de plantas de arroz expuestas a condiciones salinas

La Figura 2 muestra el contenido de K^+ tanto en la parte aérea como en las raíces de plantas de arroz expuestas a diferentes tratamientos con NaCl. En esta se aprecia que en ambas partes de las plantas hubo un decremento de los contenidos del ion al incrementarse el nivel salino en el medio, aunque de manera más manifiesta en la parte aérea; este hecho permite inferir que esta variedad se comporta como excluidora del K^+ . Esta respuesta puede explicarse por el hecho de que las glicofitas tolerantes que acumulan Na^+ reducen el contenido de K^+ ante la salinidad, sin que se aprecien daños concomitantes y que esta reducción parece estar relacionada con el reemplazamiento del K^+ vacuolar por el Na^+ , lo cual favorece la capacidad de ajuste osmótico y de la sustitución del K^+ por el Na^+ en alguna funciones metabólicas.

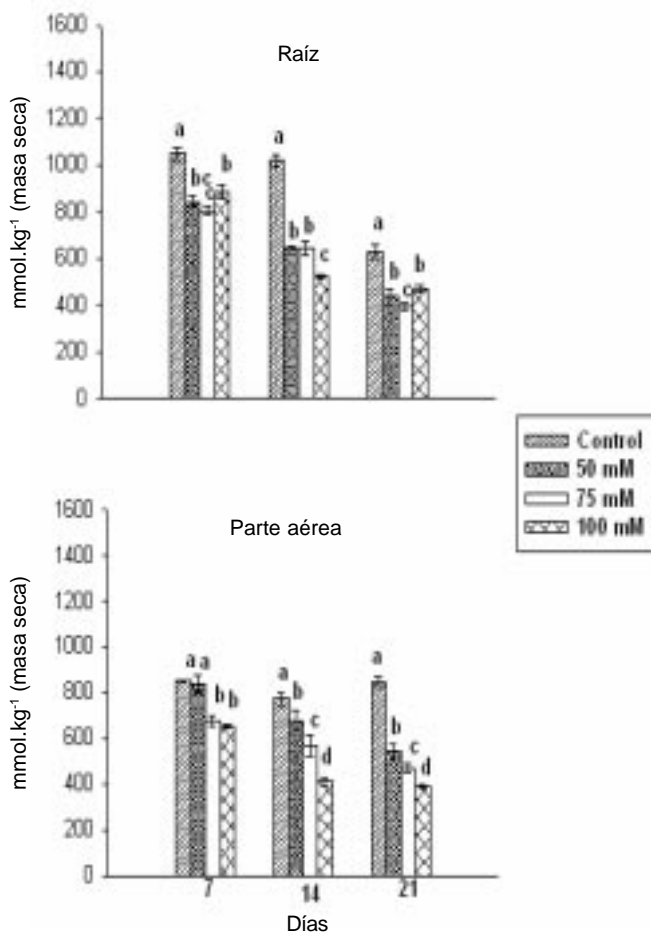


Figura 2. Contenido de K⁺ en las raíces y en la parte aérea de plantas de arroz expuestas a condiciones salinas

En relación con el tema se ha planteado que la tolerancia a la salinidad en las plantas opera a nivel celular (8), y que estas comúnmente desarrollan mecanismos celulares, que incluyen el secuestro de iones en las vacuolas o la exclusión de iones en el plasma de las membranas.

Ante comportamientos similares a los señalados anteriormente, se planteó que en las especies sensibles, generalmente excluidoras, al aumentar la salinidad, la suma de concentraciones de Na⁺ y K⁺ en los tejidos tiende a mantenerse constante, con escasa variación en las concentraciones de ambos iones (9). Por el contrario, en las especies tolerantes, generalmente incluidoras, disminuye la concentración de K⁺ al aumentar sensiblemente la absorción de Na⁺. También se ha señalado que en las especies natriófilas, el Na⁺ puede reemplazar al K⁺, no solo en sus funciones como un soluto osmóticamente activo en las vacuolas sino, en alguna extensión, en sus funciones específicas en el metabolismo celular. En estas especies, el Na⁺ puede ser más efectivo que el K⁺ en la prevención del estrés hídrico asociado a la salinidad.

Por el contrario, en las especies sensibles la absorción y acumulación de Na⁺ produce efectos adversos que determinan perturbaciones metabólicas, sin que sea po-

sible el reemplazamiento de K⁺ por Na⁺, ya que el mantenimiento de un adecuado nivel de K⁺ es necesario para impedir la inhibición de la expansión celular y puede ser indicativo de que se hayan producido adaptaciones en la selectividad de la membrana para facilitar la absorción de K⁺.

La Figura 3 muestra la relación Na⁺/K⁺ tanto en la parte aérea como radical. Puede notarse cómo esta relación aumentó bruscamente en todos los casos, cuando las plantas se cultivaron en solución nutritiva enriquecida con NaCl, sin que se lograra una recuperación de sus valores aún después de permanecer durante siete días en solución nutritiva sin suplementos de sal.

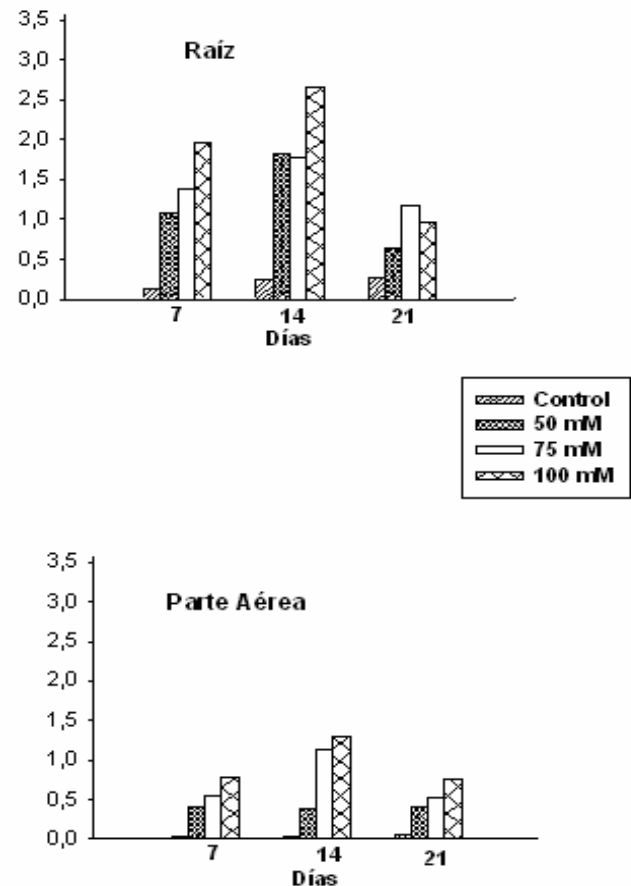


Figura 3. Relación Na⁺/K⁺ en raíces y parte aérea de plantas de dos variedades de arroz expuestas a condiciones salinas

Se aprecia en la figura cómo esta relación fue mayor en la raíz que en la parte aérea, lo que sugiere que esta parte de la planta resultó más afectada por la salinidad (10).

Un estudio realizado en plantas de *Olea europaea* L. mostró un comportamiento similar al señalado en este trabajo, en cuanto a que esta planta en condiciones salinas reflejó un decremento significativo de la concentración de K y de la relación K/Na en las hojas (11).

Estos resultados indican que esta variedad al presentar una relativa elevada relación Na/K, no muestra un elevado grado de tolerancia al NaCl en el medio (12).

Como se observa en la Figura 4, los azúcares solubles totales se manifestaron en mayor cantidad en la parte

aérea de las plantas y, además, reflejaron un incremento en los tratamientos salinos respecto al control, lo cual contribuye a explicar la presencia de ajuste osmótico señalado en la primera parte de este trabajo.

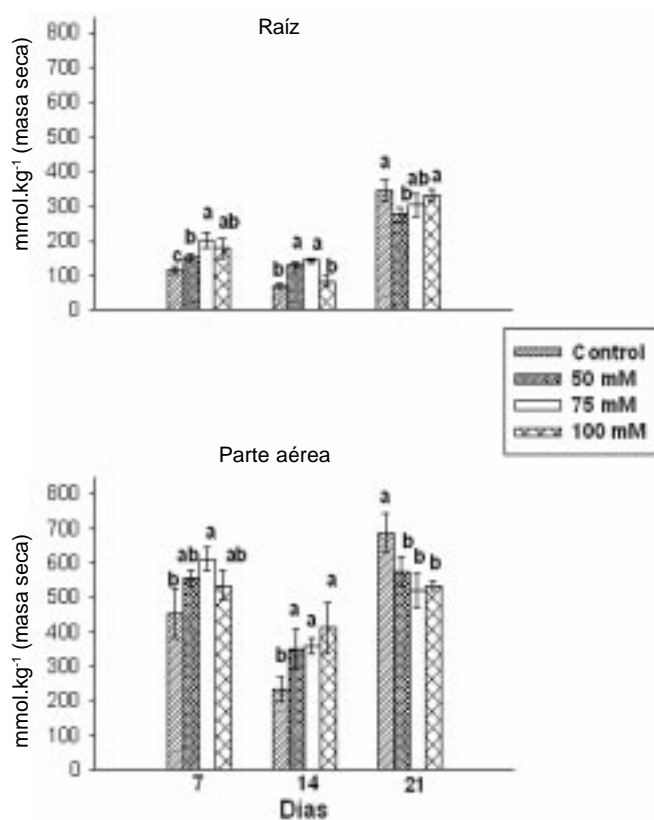


Figura 4. Contenido de azúcares solubles totales en las raíces y la parte aérea en plantas de arroz expuestas a condiciones salinas

Puede destacarse cómo este compuesto mostró un incremento aún después de transcurrido el período de recuperación, pero en este caso los mayores valores fueron reflejados por las plantas del tratamiento control, comportamiento que puede por una parte estar relacionado con la edad de las plantas y por otra con el hecho de que una vez colocadas en condiciones nutrimentales normales, no se estimule la acumulación de este compuesto al cesar la necesidad de ajustarse osmóticamente, pues las plantas en condiciones de salinidad, para ajustarse osmóticamente utilizan una porción de sus fotoasimilados para incrementar su potencial osmótico interno (13).

Los cambios producidos en los contenidos de azúcares que mostraron las plantas en condiciones de salinidad, particularmente el incremento de estos compuestos en las hojas, pudieran estar relacionados con los resultados encontrados (parte I de este trabajo) en cuanto a su crecimiento en biomasa seca, debido fundamentalmente a que la acumulación de azúcares favorece el ajuste osmótico, constituyendo el principal soluto orgánico involucrado en este proceso en las plantas glicófitas (14), lo que permite evitar la deshidratación y mantener un ritmo de crecimiento adecuado.

Por otra parte, se ha destacado el importante rol que juegan algunos compuestos orgánicos, como los azúcares solubles, aminoácidos libres y la prolina libre, en el ajuste osmótico de plantas expuestas a condiciones salinas (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. 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.
4. Zhu, J. K. Plant salt tolerance. *Trends Plant Science*, 2001, vol. 6, p. 66-71.
5. Murillo-Amador, B.; Troyo-Diéguez, E.; García-Hernández, J. L.; López-Aguilar, R.; Ávila-Serrano, N. Y.; Zamora-Salgado, S.; Rueda-Puente, E. O. y Kaya, C. Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Scientia Horticulturae*, 2006, vol. 108, no. 4, p. 423-431.
6. García-Sánchez, F.; Jifon, J. L.; Carvajal, M. y Syvertsen, J. P. Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na⁺ and Cl⁻ accumulation in 'Sunburst' mandarin grafted on different rootstocks. *Plant Science*, 2002, vol. 162, no. 5, p. 705-712.
7. Saqib, M.; Akhtar, J. y Qureshi, R. H. Na⁺ exclusion and salt resistance of wheat (*Triticum aestivum*) in saline-waterlogged conditions are improved by the development of adventitious nodal roots and cortical root aerenchyma. *Plant Science*, 2005, vol. 169, no. 1, p. 125-130.
8. Mansour, M. M. F.; Salama, K. H. A. y Al-Mutawa, M. M. Transport proteins and salt tolerance in plants. *Plant Science*, 2003, vol. 164, no. 6, p. 891-900.
9. Slama, F. Effet du NaCl sur la croissance et la nutrition minérale de six espèces de plantes cultivées. *Agrochimica*, 1986, vol. 30, no. 1/2, p. 137-147.
10. Yildiz Dasgan, H.; Aktas, H.; Abak, K. y Cakmak, Ismail. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Science*, 2002, vol. 163, no. 4, p. 695-703.
11. Tabatabaei, S. J. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. *Scientia Horticulturae*, 2006, vol. 108, no. 4, p. 432-438.
12. Kyu-Seong, L.; Weon-Young, C.; Jong-Cheol, K.; Tae-Soo, K. y Gregorio, G. B. Salinity tolerance of japonica and indica rice (*Oryza sativa* L.) at the seedling stage. *Planta*, 2003, vol. 216, no. 6, p. 1043-1046.
13. Balibrea, M. E.; Santa Cruz, A.; Bolarín, M. C. y Pérez-Alfocea, F. Sucrolytic activities in relation to sink strength and carbohydrate composition in tomato fruit growing under salinity. *Plant Science*, 1996, vol. 118, p. 47-55.
14. Greenway, H. y Munns R. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 1980, vol. 31, p. 149-190.
15. Ashraf, M. y McNeilly, T. Salinity tolerance in brassica oilseeds. *Plant Sciences*, 2004, vol. 23, no. 2, p. 157-174.

Recibido: 8 de enero de 2007

Aceptado: 17 de octubre de 2008