



BRASINOESTEROIDES Y SUS ANÁLOGOS ESTIMULAN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE DOS GENOTIPOS DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN MEDIO SALINO

Brassinosteroids and its analogs enhance the seedling growth of two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under saline conditions

Miriam Núñez Vázquez✉, Yanelis Reyes Guerrero, Lissy Rosabal Ayan, Lisbel Martínez, María C. González Cepero y Alejandro Pieters

ABSTRACT. Brassinosteroids are steroidal compounds which are required to plant growth and development and they are, also, implied in plant response to abiotic stress. The central objective of this paper was to evaluate if rice seed treatment with different concentrations of a natural brassinosteroid and an spirostane analog reduces the impact of salt stress in the seedling growth. Two experiments were performed, at the first one, a salt sensitive variety, J-104 was used and at the second one, a tolerant genotype, Ginés, was employed. In both experiments, the seeds were treated, for 24 hours, with different concentrations (0; 0,01; 0,1 y 1,0 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) of a natural brassinosteroid, 24-epibrassinolide, and an spirostane analog of brassinosteroids, 25(R)-3 α ,5 α , dihydroxy-5 α -spirostan-6-one, which formulation is known as BIOBRAS-16. After germination, the seedlings were placed in pots containing Hoagland diluted nutritive solution with the addition or not of 100 mmol.L^{-1} sodium chloride. In the first experiment, the seedlings remaining during eleven days in a growth room with 12 h photoperiod and $25\pm 2^\circ\text{C}$ temperature; while in the second one, the seedlings were grown for thirteen days at a $28\pm 2^\circ\text{C}$ temperature. At the end of the experiments, root and shoot length and dry mass were evaluated. Results showed that 24-epibrassinolide and BIOBRAS-16 were able to reverse partially the seedling growth inhibition of both rice genotypes induced by the presence of sodium chloride; being the more effective treatments in the tolerant variety.

RESUMEN. Los brasinoesteroides son compuestos esteroidales que se requieren para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, pero que además están implicados en la respuesta de las plantas a estrés abiótico. El objetivo central de este trabajo fue evaluar si el tratamiento a las semillas de arroz con diferentes concentraciones de un brasinoesteroide natural y un análogo espirostánico reduce el impacto que el estrés salino provoca en el crecimiento de las plántulas. Para esto se establecieron dos experimentos, en el primero se utilizó la variedad J-104, sensible a la salinidad y en el segundo, se utilizó la variedad Ginés, tolerante. En ambos experimentos, las semillas se trataron durante 24 horas con diferentes concentraciones (0; 0,01; 0,1 y 1,0 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) de un brasinoesteroide natural, la 24-epibrasinólida (EBL) y de un análogo espirostánico de brasinoesteroide, 25(R)-3 α ,5 α , dihidroxi-5 α -espirostan-6-ona, cuya formulación se conoce como BIOBRAS-16. Las semillas después de germinadas se colocaron en potes que contenían solución nutritiva Hoagland diluida y suplementada o no con NaCl (100 mmol.L^{-1}) y en el caso del primer experimento las mismas permanecieron durante once días en un cuarto de crecimiento con un fotoperíodo de 12 horas y una temperatura de $25\pm 2^\circ\text{C}$; mientras que en el segundo las plantas crecieron durante 13 días a una temperatura de $28\pm 2^\circ\text{C}$. Las evaluaciones realizadas, al final de los experimentos, fueron la longitud y la masa seca de las raíces y de la parte aérea. Los resultados demostraron que tanto la EBL como el BIOBRAS-16 fueron capaces de revertir parcialmente la inhibición que en el crecimiento de las plántulas de ambos genotipos de arroz provocó la presencia de NaCl; siendo más efectivos los tratamientos en la variedad tolerante.

Key words: brassinosteroids, growth, salt stress, rice

Palabras clave: brasinoesteroides, crecimiento, estrés salino, arroz

Dra.C. Miriam Núñez Vázquez, Investigadora Titular; Yanelis Reyes Guerrero y Lissy Rosabal Ayan, Reservas Científicas; Lisbel Martínez, Especialista del departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal; Dra.C. María C. González Cepero, Investigadora Titular del departamento de Genética y Mejoramiento Genético, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700; Ph.D. Alejandro Pieters, Investigador del Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Venezuela.

✉ mnunez@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

Los brasinoesteroides son compuestos esteroidales que se requieren para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas (1, 2). Varios autores han informado que ellos también están implicados en la respuesta de las plantas a estrés abióticos (3, 4, 5). En relación con el estrés salino, se ha demostrado que el tratamiento a las semillas de garbanzo con 28-homobrasinólida (HBL) mejoró el comportamiento de las plantas en estas condiciones (6); así mismo, en maíz, el tratamiento pre-siembra con este compuesto estimuló las actividades de enzimas antioxidantes, además de disminuir la peroxidación lipídica e incrementar la concentración de proteínas, sugiriendo que la HBL puede mejorar el estrés oxidativo en plantas de maíz sometidas a estrés salino (7).

Por otra parte, se ha informado que el tratamiento con 24-epibrasinólida (EBL) a las raíces de plantas de dos cultivares de trigo, uno tolerante y otro moderadamente sensible a la salinidad, no solo mejoró el crecimiento de las plantas sino además incrementó el rendimiento en condiciones salinas (8). En otro estudio, con estos mismos cultivares se demostró que la aspersión foliar de EBL fue capaz de mejorar el crecimiento de las plantas de ambos cultivares en condiciones normales; sin embargo, en condiciones salinas, solamente se estimuló el crecimiento del cultivar tolerante; aunque se observó una estimulación de la actividad fotosintética y de la eficiencia del fotosistema II en ambos cultivares (9).

En el cultivo del arroz, se ha encontrado que el tratamiento a las semillas con HBL y EBL revierte la inhibición que en la germinación y el crecimiento de las plántulas provoca el estrés salino (10). Además, el tratamiento con EBL mejoró considerablemente el daño oxidativo inducido por el estrés salino y estimuló el crecimiento de las plántulas en la variedad sensible a la salinidad IR-28 (11).

En Cuba, se ha investigado en la síntesis y actividad biológica de algunas formulaciones que tienen como ingredientes activos análogos espiroestánicos de brasinoesteroides (12) y se ha demostrado, además, la capacidad que tienen las mismas de estimular los rendimientos agrícolas y varios investigadores han informado las potencialidades antiestrés de algunas de ellas (13, 14).

Estudios preliminares, en el cultivo del arroz, demostraron que la inmersión, durante 24 horas, de semillas de las variedades J-104 e INCA LP-7 (genotipos sensible y tolerante a la salinidad, respectivamente) y el crecimiento de las plántulas durante siete días en soluciones de NaCl (100 mmol.L⁻¹), suplementadas con determinadas concentraciones de las formulaciones conocidas como BIOBRAS-16 y BIOBRAS-6, los cuales tienen como ingredientes activos análogos espiroestánicos de brasinoesteroides, fueron capaces de revertir la inhibición que en el crecimiento de las plántulas provocaba el estrés salino (15). Lo anterior sugiere las

potencialidades de estos análogos en la protección de plantas de arroz ante este tipo de estrés; sin embargo, queda aún mucho por investigar en este sentido, por lo que este trabajo tuvo como objetivo central evaluar si el tratamiento a las semillas de arroz con diferentes concentraciones de un brasinoesteroide natural y un análogo espiroestánico revierte la inhibición que en el crecimiento de las plántulas provoca el estrés salino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplimentar el objetivo planteado, se ejecutaron dos experimentos, ambos en el cuarto de luces del departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal. En el primero, se trataron semillas de arroz de la variedad J-104, genotipo sensible a la salinidad, durante 24 horas, con diferentes concentraciones (0, 0,01; 0,1; 1,0 μmol.L⁻¹) de BIOBRAS-16 (formulación producida por el Centro de Estudios de Productos Naturales de la Facultad de Química de la Universidad de la Habana y que tiene como ingrediente activo el análogo espiroestánico 25(R)-3α,5α, dihidroxi-5α-espirostan-6-ona) y la 24-epibrasinólida (EBL) que fue suministrada por Sigma Co. Una vez culminado el tratamiento, las semillas se colocaron en placas de Petri (25 semillas por placa y cinco placas por tratamiento) con papel de filtro humedecido con agua destilada y se colocaron en cámara de crecimiento en la oscuridad a 25±1°C para propiciar la germinación. A las 48 horas, las semillas germinadas (aquellas con una longitud de la radícula mayor de 2 mm) se transfirieron a potes (20 semillas por pote y dos potes por tratamiento) que contenían solución nutritiva Hoagland diluida suplementada o no con NaCl (100 mmol.L⁻¹). Los potes se colocaron en un cuarto de crecimiento con fotoperíodo de 12 horas y temperatura de 25±2°C. Once días después, se midieron con una regla graduada las longitudes de la parte aérea y de las raíces de 25 plántulas y se conformaron cinco muestras de cinco plantas cada una para evaluar la masa seca de cada parte, respectivamente.

En el segundo experimento, se utilizaron semillas de la variedad Ginés, genotipo tolerante a la salinidad (16) y se procedió de forma similar al primer experimento, aunque la temperatura del cuarto, durante el crecimiento de las plántulas fue de 28±2°C y las evaluaciones se realizaron 13 días después de haber transferido las semillas germinadas a los potes.

Cada experimento se repitió en dos ocasiones y todos los datos fueron procesados mediante el cálculo de las medias, las desviaciones estándar y los intervalos de confianza a p≤0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se muestran los resultados de la influencia de los diferentes tratamientos en las evaluaciones de las longitudes de la parte aérea y de las raíces de las plántulas de la variedad J-104.

Tabla I. Influencia del tratamiento a las semillas con diferentes concentraciones de BB-16 y EBL en la longitud de plántulas de arroz var. J-104 crecidas en solución nutritiva (SN) suplementada o no con NaCl 100 mmol.L⁻¹

Tratamientos	Medio de crecimiento	Longitud de la parte aérea (cm)	Longitud de las raíces (cm)
Control		15,3 ± 0,8	7,9 ± 0,6
BB-16 0,01 µmol.L ⁻¹		14,8 ± 0,9	6,4 ± 0,5*
BB-16 0,1 µmol.L ⁻¹		16,6 ± 0,8	7,1 ± 0,6
BB-16 1,0 µmol.L ⁻¹	SN	15,5 ± 0,9	5,9 ± 0,7*
EBL 0,01 µmol.L ⁻¹		14,6 ± 0,8	6,1 ± 0,5*
EBL 0,1 µmol.L ⁻¹		15,3 ± 1,0	6,9 ± 0,5
EBL 1,0 µmol.L ⁻¹		16,1 ± 0,8	6,7 ± 0,5*
Control		7,8 ± 0,8	4,4 ± 0,4
BB-16 0,01 µmol.L ⁻¹		10,1 ± 0,6*	4,6 ± 0,4
BB-16 0,1 µmol.L ⁻¹	SN + NaCl (100 mmol.L ⁻¹)	9,2 ± 0,8	4,0 ± 0,5
BB-16 1,0 µmol.L ⁻¹		9,5 ± 0,6*	4,7 ± 0,4
EBL 0,01 µmol.L ⁻¹		10,5 ± 0,8*	5,8 ± 0,5*
EBL 0,1 µmol.L ⁻¹		10,8 ± 0,6*	5,9 ± 0,4*
EBL 1,0 µmol.L ⁻¹		9,9 ± 0,6*	5,5 ± 0,5*

Medias ± intervalos de confianza para $p \leq 0.05$

*Los asteriscos representan los tratamientos que difieren significativamente del control en cada uno de los medios de crecimiento

Como se puede apreciar, los tratamientos de EBL y BB-16 no influyeron en la longitud de la parte aérea de las plántulas, cuando estas crecieron en solución nutritiva; sin embargo, las concentraciones de 0,01 y 1,0 µmol.L⁻¹ de ambos productos disminuyeron significativamente la longitud de las raíces. Una respuesta diferente se obtuvo cuando las plántulas crecieron en medio salino, pues como se puede observar, en la tabla, todas las concentraciones de EBL estimularon la longitud de las plántulas; mientras que las concentraciones de BB-16 (0,01 y 1,0 µmol.L⁻¹) solamente estimularon la longitud de la parte aérea.

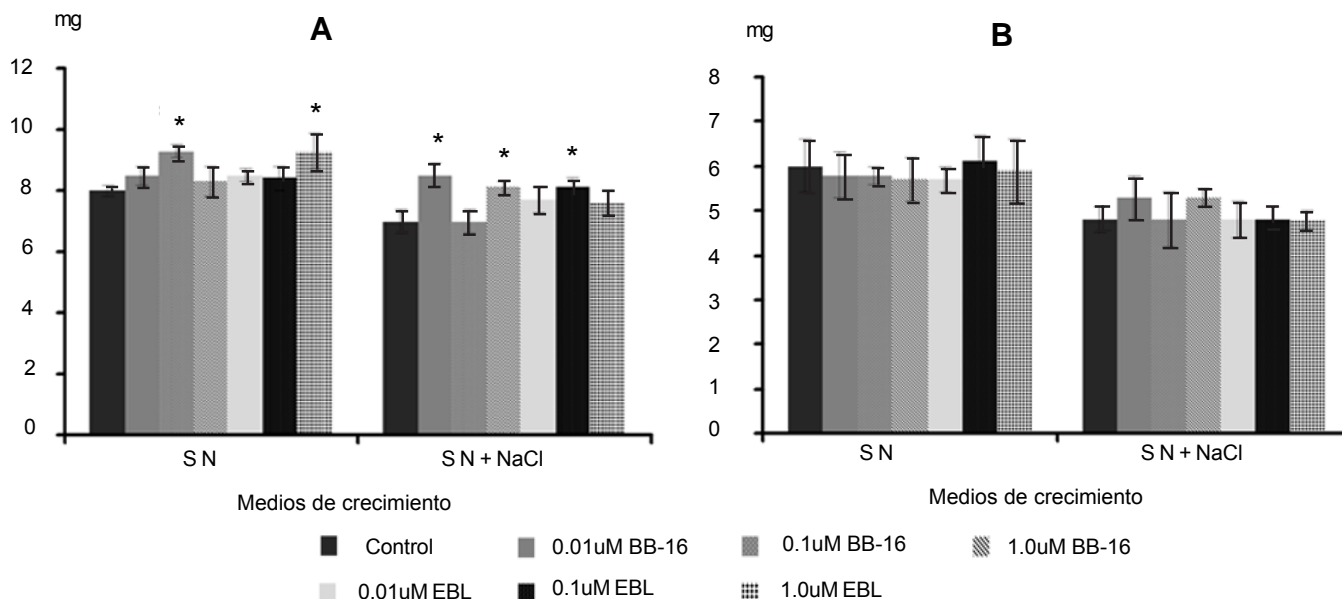
El tratamiento a las semillas con BB-16 (0,1 µmol.L⁻¹) o EBL (1,0 µmol.L⁻¹), estimularon la masa seca de la parte aérea de las plántulas crecidas en solución nutritiva; mientras que las concentraciones de BB-16 (0,01 y 1,0 µmol.L⁻¹) y EBL (0,1 µmol.L⁻¹) fueron capaces de revertir total o casi totalmente la inhibición que en este indicador provoca la presencia en la solución nutritiva de NaCl (Figura 1A). Sin embargo, ninguno de los tratamientos empleados estimuló la masa seca de las raíces cuando las plantas crecieron en condiciones normales o salinas (Figura 1B).

Estos resultados demuestran la efectividad de ambos productos en revertir la inhibición que la salinidad provoca en el crecimiento de las plántulas de esta variedad de arroz; sin embargo, si bien la EBL a cualquier concentración fue capaz de estimular el alargamiento celular de las mismas, se necesitó 0,1 µmol.L⁻¹ de este compuesto para estimular la acumulación de masa seca de la parte aérea en condiciones salinas; mientras que el BB-16 estimuló solamente el crecimiento de la parte aérea de las plántulas, siendo necesarios los tratamientos de 0,01 y 1,0 µmol.L⁻¹ para revertir parcialmente la inhibición en la longitud y recuperar totalmente la reducción en la masa seca que provoca esta condición de estrés.

La respuesta de la longitud de la parte aérea de las plántulas de la variedad Ginés a los tratamientos estudiados fue similar a la de la variedad J-104 y la longitud de las raíces de las plántulas de la variedad tolerante se inhibió significativamente con los tratamientos de BB-16 (0,1 µmol.L⁻¹) y EBL (1,0 µmol.L⁻¹), cuando las plántulas crecieron en solución nutritiva. En medio salino, el tratamiento con EBL, al igual que lo hizo en la variedad J-104, estimuló la longitud de las plántulas de esta variedad; mientras que solamente el tratamiento con BB-16 (0,1 µmol.L⁻¹) fue capaz de estimular la longitud de la parte aérea de las plántulas (Tabla II).

Por su parte, la masa seca de las plántulas de esta variedad, crecidas en solución nutritiva, se estimuló prácticamente con todas las concentraciones de BB-16 y EBL utilizadas; mientras que, en medio salino, todas las concentraciones de EBL estimularon este indicador. Por su parte dentro de las concentraciones de BB-16 estudiadas, las de 0,01 y 0,1 µmol.L⁻¹ resultaron las más efectivas; pues fueron las que estimularon tanto la masa seca de parte aérea como de la raíz (Figura 2).

En este trabajo se evidenció, que la respuesta de las plántulas, crecidas en medio salino, tanto al BB-16 como a la EBL dependió de la sensibilidad del genotipo a dicho estrés, a pesar de que las condiciones de crecimiento no fueron exactamente iguales, pues las plántulas de J-104 permanecieron durante once días en el medio salino y crecieron a una temperatura de 25±2°C; mientras que las plántulas de la variedad Ginés estuvieron trece días expuestas a la sal y crecieron a una temperatura ligeramente superior.



Las barras representan los intervalos de confianza para $p \leq 0.05$
 *tratamientos que difieren significativamente del tratamiento control en cada medio de crecimiento

Figura 1. Efecto del tratamiento a las semillas con diferentes concentraciones de BB-16 y EBL en las masas secas de la parte aérea (A) y de las raíces (B) de plántulas de arroz var. J-104 crecidas en solución nutritiva Hoagland diluida suplementada o no con NaCl (100 mmol.L^{-1}) durante once días

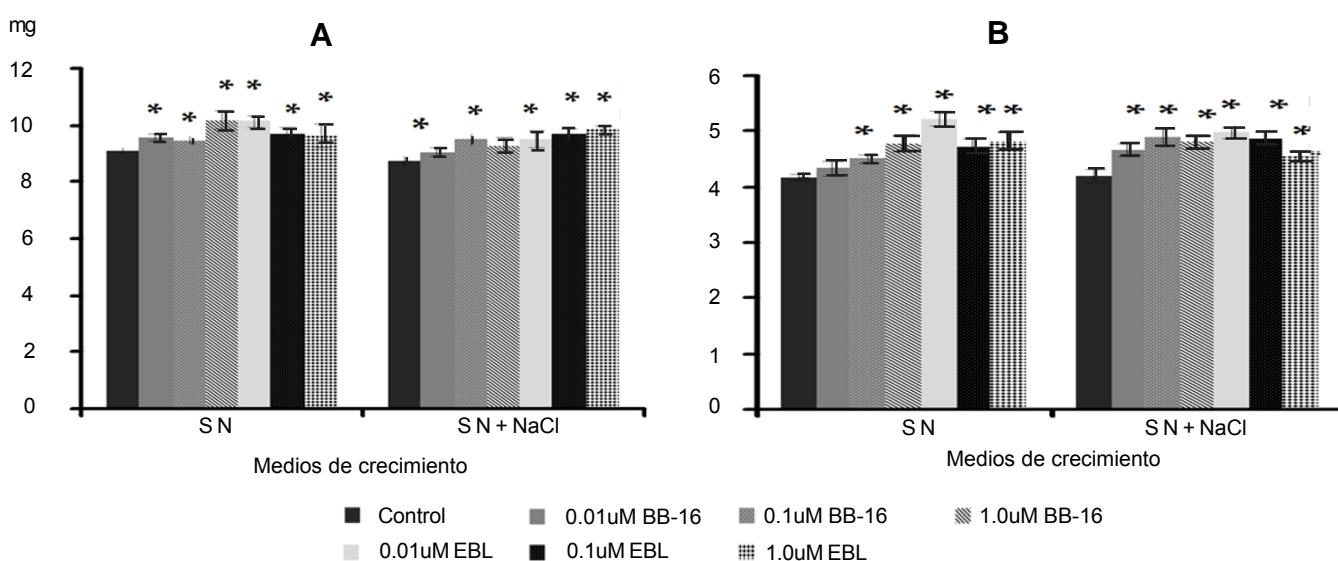
Tabla II. Influencia del tratamiento a las semillas con diferentes concentraciones de BB-16 y EBL en la longitud de plántulas de arroz var. Ginés crecidas en solución nutritiva Hoagland diluida suplementada o no con NaCl (100 mmol.L^{-1}) por trece días

Tratamientos	Medio de crecimiento	Longitud de la parte aérea (cm)	Longitud de las raíces (cm)
Control		$17,7 \pm 0,5$	$6,3 \pm 0,6$
BB-16 $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$16,8 \pm 0,6$	$5,5 \pm 0,4$
BB-16 $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$15,6 \pm 0,6$	$4,5 \pm 0,3^*$
BB-16 $1,0 \mu\text{mol.L}^{-1}$	SN	$17,0 \pm 0,7$	$5,7 \pm 0,5$
EBL $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$17,3 \pm 0,6$	$5,5 \pm 0,6$
EBL $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$16,1 \pm 1,0$	$5,7 \pm 0,6$
EBL $1,0 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$15,3 \pm 0,8$	$4,3 \pm 0,3^*$
Control		$12,4 \pm 0,6$	$4,7 \pm 0,4$
BB-16 $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$12,9 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,4$
BB-16 $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$	SN + NaCl	$14,2 \pm 0,4^*$	$5,0 \pm 0,4$
BB-16 $1,0 \mu\text{mol.L}^{-1}$	(100 mmol.L^{-1})	$12,0 \pm 0,5$	$5,3 \pm 0,5$
EBL $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$14,2 \pm 0,5^*$	$7,7 \pm 0,9^*$
EBL $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$15,0 \pm 0,4^*$	$6,4 \pm 0,5^*$
EBL $1,0 \mu\text{mol.L}^{-1}$		$13,9 \pm 0,5^*$	$5,8 \pm 0,6^*$

*Los asteriscos representan los tratamientos que difieren significativamente del control en cada uno de los medios de crecimiento

Se debe destacar que los resultados confirmaron la diferente sensibilidad de estas variedades al estrés salino; pues mientras que la presencia de 100 mmol.L^{-1} durante once días en la variedad J-104 provocó reducciones de 49 y 44,3 % en las longitudes de la parte aérea y de las raíces, respectivamente y de 12,5 y 20 % en la masa seca de dichos órganos; en la variedad Ginés, la presencia de sal durante trece días provocó reducciones de 29,9 y 25,4 % en las longitudes de la parte aérea y de las raíces y solamente de 3,9 % en la masa seca de la parte aérea, pues no hubo afectaciones en la masa seca de las raíces (Tabla III). Por otra parte, se puede observar, que en ambos genotipos, los porcentajes de reducción en las longitudes de la parte aérea y de las raíces fueron similares; aunque ligeramente inferiores en las raíces; sin embargo, la masa seca de las raíces del genotipo sensible resultó ligeramente más afectada que la masa seca de la parte aérea, contrario a lo que sucedió en el genotipo tolerante.

Cuando se analiza el efecto que el tratamiento a las semillas con BB-16 y EBL ejerció en los porcentajes de reducción, inducidos por la salinidad, en los diferentes indicadores del crecimiento evaluados, se puede constatar que los tratamientos más efectivos en el caso de la variedad J-104 resultaron $0,01$ y $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$ para BB-16 y EBL, respectivamente. Hay que destacar, que este tratamiento de BB-16 logró revertir parcialmente las reducciones que la salinidad provocó en la longitud de las plántulas y en la masa seca de las raíces, pero fue capaz de revertir totalmente la inhibición provocada en la masa seca de la parte aérea. Por su parte, la EBL revirtió parcialmente la inhibición provocada por la salinidad en la longitud y masa seca de la parte aérea de las plántulas; no influyendo prácticamente en la masa seca de las raíces.



Las barras representan los intervalos de confianza para $p \leq 0.05$

* tratamientos que difieren significativamente del tratamiento control en cada medio de crecimiento

Figura 2. Efecto del tratamiento a las semillas con diferentes concentraciones de BB-16 y EBL en las masas secas de la parte aérea (A) y de las raíces (B) de plántulas de arroz var. Ginés crecidas en solución nutritiva Hoagland diluida suplementada o no con NaCl (100 mmol.L^{-1}) durante trece días

Tabla III. Influencia de los tratamientos a las semillas con diferentes concentraciones de BB-16 y EBL en los porcentajes de variación, con relación a su respectivo control sin sal, que provoca la presencia de NaCl (100 mmol.L^{-1}) en algunos indicadores del crecimiento de plántulas de dos genotipos de arroz

Tratamientos	Longitud de la parte aérea		Longitud de las raíces		Masa seca parte aérea		Masa seca raíces	
	J-104	Ginés	J-104	Ginés	J-104	Ginés	J-104	Ginés
Control	-49,0	-29,9	-44,3	-25,4	-12,5	-3,9	-20	0
BB-16 $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$	-31,8	-23,2	-28,1	-12,7	0	-5,2	-8,6	7,5
BB-16 $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$	-44,6	-9,0	-43,7	11,1	-24,7	0	-17,2	8,7
BB-16 $1,0 \mu\text{mol.L}^{-1}$	-38,7	-29,4	-20,3	-7,0	-2,4	-8,8	-7	0
EBL $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$	-28,1	-17,9	-4,9	40,0	-9,4	-6,4	-15,8	-5,0
EBL $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$	-29,4	-6,8	-14,5	12,3	-3,6	0	-21,3	2,9
EBL $1,0 \mu\text{mol.L}^{-1}$	-38,5	-9,2	-17,9	34,9	-18,3	2,3	-18,6	-5,6

*Los asteriscos representan los tratamientos que difieren significativamente del control en cada uno de los medios de crecimiento

En la variedad Ginés, el tratamiento a las semillas con BB-16 o EBL ($0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$) fue capaz no solo de revertir parcialmente la inhibición que el estrés salino provocó en la longitud de la parte aérea de las plántulas sino que además, no permitieron inhibición en el resto de los indicadores estudiados, estimulándose de manera particular el crecimiento radical.

En cuanto a la inhibición en el crecimiento de las plántulas que induce el estrés salino, se conoce que esta ocurre en dos fases, en la primera, la sal reduce la capacidad de las plántulas de absorber agua, lo que conduce a un crecimiento más lento y esta es la fase de estrés osmótico o de déficit hídrico de la salinidad y en la segunda, se reduce el crecimiento debido al efecto tóxico que producen estos iones en las células de las hojas al entrar en la corriente de transpiración. Durante la primera fase, la reducción del crecimiento es similar tanto en genotipos sensibles como tolerantes debido al efecto osmótico de la solución salina en el exterior de las raíces; sin embargo, durante la segunda fase, las plántulas del genotipo sensible crecen más lentamente y hasta pueden llegar a morir en dependencia del tiempo e intensidad del estrés (17). En este trabajo, se evidenció que la duración del estrés seleccionada, que fue de 11-13 días permitió diferenciar la sensibilidad de los dos genotipos evaluados (Tabla III), por lo que se infiere que estamos en presencia de la segunda fase de reducción del crecimiento inducida por la salinidad, aspecto no logrado cuando se realizó el estudio anterior con los genotipos J-104 e INCA LP-7 y la duración del estrés fue de siete días (15).

Por otra parte, varios investigadores han informado que la respuesta de las plantas a la aplicación exógena de los brasinoesteroides depende de la sensibilidad de las mismas a determinado tipo de estrés; respondiendo mejor los cultivares tolerantes que los sensibles (9, 18). En este trabajo, se confirman estos resultados, pues las tres concentraciones de EBL estudiadas, estimularon todos los indicadores del crecimiento de la variedad Ginés en medio salino; mientras que en la variedad sensible J-104 ninguna de las concentraciones logró estimular la masa seca de las raíces y solamente el tratamiento de $0,1 \mu\text{mol.L}^{-1}$ logró estimular la masa seca de la parte aérea.

Un aspecto interesante a destacar en este trabajo, es que la protección inducida por la EBL en las plántulas de ambas variedades de arroz se alcanzó con concentraciones relativamente bajas ($0,1$ y $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$, para J-104 y Ginés, respectivamente); si se comparan con $3 \mu\text{mol.L}^{-1}$, que fue la utilizada por otros autores (11) para inducir protección a plántulas de la variedad de arroz IR-28, sensible a la salinidad, ante un tratamiento con NaCl (120mmol.L^{-1}) por siete días.

Por otra parte, estos resultados demostraron la efectividad del análogo espiroestano de brasinoesteroide (BB-16) en revertir la inhibición que provocó la salinidad en el crecimiento de las plántulas de los dos genotipos de arroz estudiados; aunque su efectividad fue inferior a la mostrada por el brasinoesteroide natural,

24-epibrasinólida. En relación con la protección inducida por el BB-16, en un estudio anterior se había informado que el tratamiento a las semillas de las variedades de arroz J-104 e INCA LP-7 con $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$, conjuntamente con NaCl 100mmol.L^{-1} y el posterior crecimiento de las plántulas durante siete días en esa misma solución, fue capaz de revertir parcialmente la inhibición que en el crecimiento provocó el estrés salino (15).

La protección inducida por la 24-EBL en plántulas de arroz sometidas a estrés salino, ha sido asociada con una mayor síntesis de proteínas y de RNA (10), con una menor pérdida de los pigmentos fotosintéticos y un incremento de la actividad de la nitrato reductasa (19), así como con una disminución en la concentración de prolina y un menor daño oxidativo provocado por dicho estrés (11). Sin embargo, no existe apenas información en cuanto al BB-16, pues en un estudio muy preliminar realizado en el caso de la variedad sensible J-104 (20) se encontró que la concentración que estimuló el crecimiento de las plántulas ($0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$), incrementó la concentración de prolina foliar y la actividad específica de las enzimas peroxidasas; sin embargo, no sucedió así con la EBL; lo que hizo sugerir que, al parecer, o los mecanismos por los cuales estos dos compuestos protegen a las plántulas pueden variar, o las diferencias estructurales entre estos compuestos hacen que su interacción con el metabolismo de la planta sea diferente.

A pesar de las diferencias en las respuestas, estos resultados del BIOBRAS-16 son muy alentadores si se tiene en cuenta que es una formulación producida en nuestro país, cuyo costo es sumamente inferior al de la 24-epibrasinólida; por lo que sería de gran interés práctico poder confirmar estos resultados realizados a nivel de laboratorio, en suelos afectados por salinidad donde actualmente el país produce posturas de arroz.

REFERENCIAS

1. Hayat, S. y Ahmad, A. *Brassinosteroids: Bioactivity and Crop Productivity*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.
2. Sasse, J. M. Physiological actions of brassinosteroids: an update. *J. Plant Growth Regul.*, 2003, vol. 22, p. 276-288.
3. Krishna, P. Brassinosteroid-mediated stress responses. *J. Plant Growth Regul.*, 2003, vol. 22, p. 289-297.
4. Bajguz, A. y Hayat, S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. Review. *Plant Physiol. Biochem.*, 2009, vol. 47, p. 1-8.
5. Núñez, M.; Mazorra, L. M.; Reyes, Y. y Martínez, L. Los brasinoesteroides y las respuestas de las plantas a estrés abióticos. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 2, p. 56-65.
6. Ali, B.; Hayat, S. y Ahmad, A. 28-Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environ. Exp. Bot.*, 2007, vol. 59, p. 217-223.

7. Arora, N.; Bhardwaj, R.; Sharma, P. y Arora, H. K. 28-Homobrassinolide alleviates oxidative stress in salt treated maize (*Zea mays* L.) plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 2008, vol. 20, no. 2, p. 153-157.
8. Ali, Q.; Athar, H-ur-R. y Ashraf, M. Modulation of growth, photosynthetic capacity and water relations in salt stressed wheat plants by exogenously applied 24-epibrassinolide. *Plant Growth Regul.*, 2008, vol. 56, p. 107-116.
9. Shahbaz, M.; Ashraf, M. y Athar, H-ur-R. Does exogenously application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* L.)?. *Plant Growth Regul.*, 2008, vol. 55, p. 51-64.
10. Anuradha, S. y Rao, S. R. Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regul.*, 2001, vol. 33, p. 151-153.
11. Özdemir, F.; Bor, M.; Demiral, T. y Turkan, I. Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidative system of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Growth Regul.*, 2004, vol. 42, p. 203-211.
12. Núñez, M.; Robaina, C. y Coll, F. Synthesis and practical applications of brassinosteroid analogs. En: *Brassinosteroids. Bioactivity and Crop Productivity*. Netherlands:Kluwer Academic Publishers, 2003.
13. Mazorra, L. M. y Núñez, M. Inducción de termotolerancia por la 24-epibrasinólida y dos análogos espiroestánicos de brasinoesteroides en plantas de tomate. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 3, p. 89-93.
14. Reyes, Y.; Mazorra, L. M.; Martínez, L. y Núñez, M. Efecto del análogo de brasinoesteroides (BIOBRAS-16) en la germinación y el crecimiento inicial de las plantas de dos variedades de tomate en condiciones de estrés salino. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 3, p. 82-88.
15. Núñez, M.; Mazorra, L. M.; Martínez, L.; González, M. C. y Robaina, C. Análogos de brasinoesteroides revierten parcialmente el impacto del estrés salino en el crecimiento inicial de las plántulas de dos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 2, p. 95-99.
16. González, M. C.; Pérez, N. y Cristo, E. Ginés, primer mutante de arroz obtenido a partir de la irradiación con protones. *Cultivos Tropicales*, 2009, vol. 30, no. 3, p. 59.
17. Munns, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 2005, vol. 167, p. 645-663.
18. Hayat, S.; Hasam, S.; Hayat, Q. y Ahmad, A. Brassinosteroids protect *Lycopersicon esculentum* from cadmium toxicity applied as shotgun approach. *Protoplasma*, 2010, vol. 239, p. 3-14.
19. Anuradha, S. y Rao, S. S. Application of brassinosteroids to rice seeds (*Oryza sativa* L.) reduced the impact to salt stress on growth, prevented photosynthetic pigment loss and increased nitrate reductase activity. *Plant Growth Regul.*, 2003, vol. 40, p. 29-32.
20. Núñez, M. Productos bioactivos en el incremento de la tolerancia de plantas de arroz al estrés salino. Informe Final de Proyecto. PNCT «Biotecnología Agropecuaria». Código: 00300294, 2010, 73 p.

Recibido: 2 de septiembre de 2011

Aceptado: 29 de agosto de 2012

¿Cómo citar?

Núñez Vázquez, Miriam; Reyes Guerrero, Yanelis; Rosabal Ayan, Lissy; Martínez, Lisbel; González Cepero, María C. y Pieters, Alejandro. Brasinoesteroides y sus análogos estimulan el crecimiento de plántulas de dos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en medio salino. *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 1, p. 74-80.