

Respuestas de las variedades MEX 69-290 y CP 72-2086 de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) a la salinidad

Castañeda-Castro, O.¹; Trejo-Téllez, L.I.²; Gómez-Merino, F.C.¹; Jácome-Ortiz, L.³; Hernández de la Luz, H.³; Morales-Ramos, V.¹; González-Arno, M.T.³; Martínez-Ocampo, Y.M.⁴; Gámez-Pastrana, R.⁴; Pastelín-Solano, M.C.³

¹Colegio de Postgraduados *Campus* Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C.P. 94946. ²Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo. Carretera México-Tezcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230. ³Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Prolongación de Oriente 6 No. 1009, Orizaba, Veracruz. C.P. 94340. ⁴Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Peñuela-Amatlán s/n, Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C.P. 94945.

*Autora responsable: tlibia@colpos.mx

RESUMEN

Se evaluó la respuesta de dos variedades de caña de azúcar (Mex 69-290 y CP 72-2086) al tratamiento con NaCl (0, 50 y 100 mM) en una solución nutritiva en fase de plántula. Los indicadores fueron la concentración y acumulación de sodio, potasio, calcio y magnesio (Na, K, Ca, Mg) en vástago, y la relación de acumulación entre cationes esenciales respecto a Na y la concentración de prolina. Las variedades evaluadas mostraron respuestas diferenciales, siendo más susceptible a NaCl la Mex 69-290, en función de que los contenidos de cationes esenciales se redujeron en mayor porcentaje y, por tanto, la relación de contenido entre éstos y el Na, además de que en esta variedad se observaron decrementos en la concentración de prolina a medida que la concentración de NaCl en la solución nutritiva se incrementó. La variedad CP 72-2086 mostró mayor tolerancia a NaCl al registrar capacidad de exclusión de Na en el vástago.

Palabras clave: K/Na, Ca/Na, Mg/Na, prolina, sodicidad

INTRODUCCIÓN

La salinidad es un factor de estrés abiótico que más afecta la producción agrícola y se calcula que más de 800 millones de hectáreas en el mundo presentan algún problema relacionado (Munns y Tester, 2008). En México, en 2011, la Comisión Nacional del Agua reportó que 7.3% de los acuíferos presentan problemas de salinidad (CONAGUA, 2011). Ésta dificulta el flujo de agua en las raíces de las plantas, causando estrés osmótico y efectos tóxicos por la acumulación de sodio (Na) y cloro (Cl) en la célula vegetal y, por consiguiente, reducción en la absorción de cationes esenciales (Munns y Tester, 2008), principalmente potasio (K) (García-Morales *et al.*, 2012).

Se han identificado algunos mecanismos de tolerancia a NaCl en plantas superiores. Por ejemplo, en especies glicófitas tolerantes a cloruro de sodio (NaCl) se reduce la acumulación de iones tóxicos como Na y Cl en la parte aérea, en comparación con especies sensibles (Ashraf y Ahmad, 2000). Por otro lado, la acumulación de prolina es frecuentemente reportada en plantas tolerantes a estrés osmótico (Wanek y Richter, 1997). La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es un cultivo considerado moderadamente sensible a sales y, particularmente al NaCl, lo que afecta su crecimiento y morfología radical, el crecimiento del sistema aéreo, procesos fotosintéticos y el equilibrio en la absorción nutricional (García y Jáuregui, 2008; García y Medina, 2009). En el contexto anterior, el objetivo de este estudio fue determinar las respuestas a estrés salino de dos de las variedades de caña de azúcar más cultivadas en México, considerando como indicadores la concentración y acumulación de K, Ca, Mg y Na, y concentración de prolina en parte aérea de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero (tipo cenital, con estructura rectangular, cubierta de plástico calibre 600, con 8 m de ancho, 45 m de largo y 5.7 m de altura). Se usaron vitroplántulas de dos meses de edad, aclimatadas en un sustrato consistente en una mezcla de tepetzil y Peat moss® (50/50% v/v), con una altura aproximada de 15 cm, de las variedades de caña de azúcar Mex 69-290 y CP 72-2086, provenientes de la Biofábrica Vitromotz, del Ingenio Central Motzorongo, ubicado en el municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca. Las plántulas se establecieron en cultivo hidropónico en la solución nutritiva de Steiner

(Steiner, 1984) a una concentración de 10%, misma que fue complementada con micronutrientes a partir del producto comercial Tradecorp AZ®. Las raíces se oxigenaron usando bombas de pecera (Marca Zone) durante 15 minutos en intervalos de 30 minutos. Diez días después del establecimiento del cultivo hidropónico se renovaron las soluciones nutritivas y se les adicionaron 0, 50 y 100 mM de NaCl, teniendo un total de seis tratamientos resultado de la combinación de las variedades y concentraciones de NaCl, con tres repeticiones y una cubeta de plástico de 3 L⁻¹ de capacidad con cuatro plántulas como unidad experimental, distribuidas completamente al azar.

Las plántulas se trataron durante 10 días con las soluciones conteniendo NaCl. El pH de las soluciones nutritivas fue ajustado a 5.5 y éstas se renovaron durante el periodo de tratamientos una vez (día 5 de tratamientos). Después de este periodo, los vástagos de las plántulas fueron secados en estufa de aire forzado (modelo EEAF) durante 48 h a 70 °C y se determinó el peso seco. Las muestras secas se molieron en un molino tipo Wiley y se digestaron con una mezcla de ácido nítrico y perclórico en proporciones 2:1, respectivamente (Alcántar y Sandoval, 1999). En los extractos resultantes se determinaron las concentraciones de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na), usando un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma (ICP-ES 725).

Los contenidos de K, Ca, Mg y Na en vástagos de caña de azúcar se obtuvieron con los datos de la concentración nutricional y los pesos secos del vástago, y con ellos se estimaron las relaciones de contenidos K/Na, Ca/Na, Mg/Na y (K+Ca+K)/Na. La con-

centración de prolina se determinó en material seco, siguiendo la metodología descrita por Bates (1973), con lecturas a 520 nm de absorbancia en un espectrofotómetro (Genesys 10 series Spectrophotometer, Thermo Scientific); la prolina fue usada como estándar para la elaboración de la curva de calibración. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ANDEVA con el programa SAS (SAS, 2011) y prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó que la concentración de los cationes esenciales K, Ca y Mg no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Por el contrario, la concentración de Na guardó una relación positiva con la de NaCl adicionada a la solución nutritiva; así también se observó que la variedad Mex 69-290 tiene concentraciones superiores de este elemento que las que presenta CP 72-2086, siendo la excepción el tratamiento sin NaCl en la solución nutritiva (Cuadro 1).

Los contenidos de Na en vástago se relacionaron de manera positiva con las concentraciones de NaCl en la solución nutritiva en ambas variedades; no obstante, la mayor acumulación de Na en la variedad Mex 69-290 respecto a la CP 72-2086 fue evidente. En lo que respecta al contenido de cationes esenciales, la variedad CP 72-2086 registró mayor acumulación que la Mex 69-290, independientemente de la concentración de NaCl evaluada. Asimismo, en la CP 72-2086 no hubo reducción significativa en el contenido de cationes esenciales, con el incremento de la concentración de NaCl en la solución nutritiva. La variedad Mex 69-290 solo mostró

Cuadro 1. Concentraciones de Na, K, Ca y Mg en vástagos de dos variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) tratadas con NaCl.

NaCl, mM	Variedad	Na	K	Ca	Mg
		mg kg ⁻¹ de materia seca	g kg ⁻¹ de materia seca		
0	CP 72-2086	1030.80±54.58c	13.51±1.23a	4.06±0.31a	2.88±0.26a
	Mex 69-290	981.15±166.18c	12.68±1.59a	3.65±0.38a	2.49±0.52a
50	CP 72-2086	14826.50±2224.62b	9.95±1.37a	2.72±0.33a	2.82±0.51a
	Mex 69-290	19270.04±3677.63b	10.27±1.90a	2.85±0.46a	2.39±0.32a
100	CP 72-2086	21291.27±4535.77b	9.33±2.05a	2.59±0.49a	2.81±0.28a
	Mex 69-290	37446.36±1996.44a	11.36±0.78a	2.88±0.20a	2.96±0.25a

Medias ± DE con letras iguales en cada columna indican que en cada evaluación no existen diferencias estadísticas significativas ($\alpha=0.05$).

reducción significativa del contenido de Ca en vástagos de plantas tratadas con NaCl, en comparación con la ausencia de NaCl en la solución nutritiva (Figura 1). Las reducciones en el contenido de Ca en la CP 72-2086 con el tratamiento con 50 y 100 mM de NaCl fueron del orden de 27.3% y 24.1%, respectivamente, en comparación con el testigo (0 mM NaCl), mientras que en Mex 69-290 correspondieron a 34.5% y 20.9%, respectivamente.

Si bien no se observaron reducciones estadísticas significativas por efecto de NaCl al analizar el contenido de K en cada una de las variedades, es importante resaltar la magnitud de la disminución que éste ocasiona, comparando los contenidos registrados en plantas tratadas con NaCl con el testigo en cada variedad. Esto permitió notar que el contenido de K se redujo en 20% y 18% en la variedad CP 72-2086 con los tratamientos de 50 y 100 mM de NaCl, en comparación con el testigo, mientras que la Mex 69-290 mostró reducciones en el contenido de K de 32% y 10%, respectivamente, respecto a su testigo. Günes *et al.* (1996) encontraron que el contenido de K en tallos de pimiento morrón se redujo significativamente al aumentar el nivel de salinidad de 2.1 a 9.5 dS m⁻¹. En ambientes salinos, las plantas tienden a absorber cantidades excesivas de Na en lugar de K, lo que inhibe el crecimiento vegetal al disminuir la capacidad de ajuste osmótico y de mantenimiento de la turgencia en hojas (Tester y Davenport, 2003).

Por otra parte, el catión esencial menos afectado por la adición de NaCl a la solución nutritiva fue el Mg. Con la concentración de 50 mM se redujo su contenido en solo 9.8% y 16.6% en las variedades CP 72-2086 y Mex 69-290, respectivamente, en comparación con los testigos correspondientes. Es interesante notar que el suministro de NaCl en la concentración más alta (100 mM) ocasionó conteni-

dos superiores de Mg a los de los testigos correspondientes en ambas variedades, registrando valores de 2.9% y 7.9% en la CP 72-2086 y en la Mex 69-290, respectivamente (Figura 1). Lo anterior coincide con lo señalado por Flores *et al.* (2001), quienes registraron que el estrés salino no afectó la concentración de Mg en tomate.

Las relaciones de acumulación entre cada uno de los cationes esenciales y Na fueron menores a medida que incrementó la concentración de NaCl en la solución nutritiva, siendo esta disminución de mayor magnitud en la variedad Mex 69-290. Por tanto, esta tendencia se mantiene al considerar los contenidos de K, Ca y Mg de manera conjunta, respecto a Na (Cuadro 2).

En lo que a concentración de prolina se refiere, las variedades evaluadas mostraron tendencias opuestas. En el caso de CP 72-2086 se observó una relación positiva entre concentración de prolina y de NaCl en la solución nutritiva; por el contrario, en Mex 69-290 la concentración de prolina mostró una tendencia decreciente, a medida que la concentración de NaCl aumentó en la solución nutritiva (Figura 2). La acumulación de osmolitos como prolina son benéficos para plantas en condiciones de estrés, dado que reducen el potencial hídrico dentro de

Cuadro 2. Relaciones de acumulación de cationes esenciales respecto a sodio en dos variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*).

NaCl, mM	Variedad de caña	K/Na	Ca/Na	Mg/Na	(K+Ca+Mg)/Na
0	CP 72-2086	12.98	3.91	2.77	19.66
	Mex 69-290	13.08	3.77	2.92	19.77
50	CP 72-2086	0.67	0.19	0.16	1.02
	Mex 69-290	0.53	0.15	0.15	0.83
100	CP 72-2086	0.44	0.12	0.12	0.68
	Mex 69-290	0.30	0.08	0.08	0.46

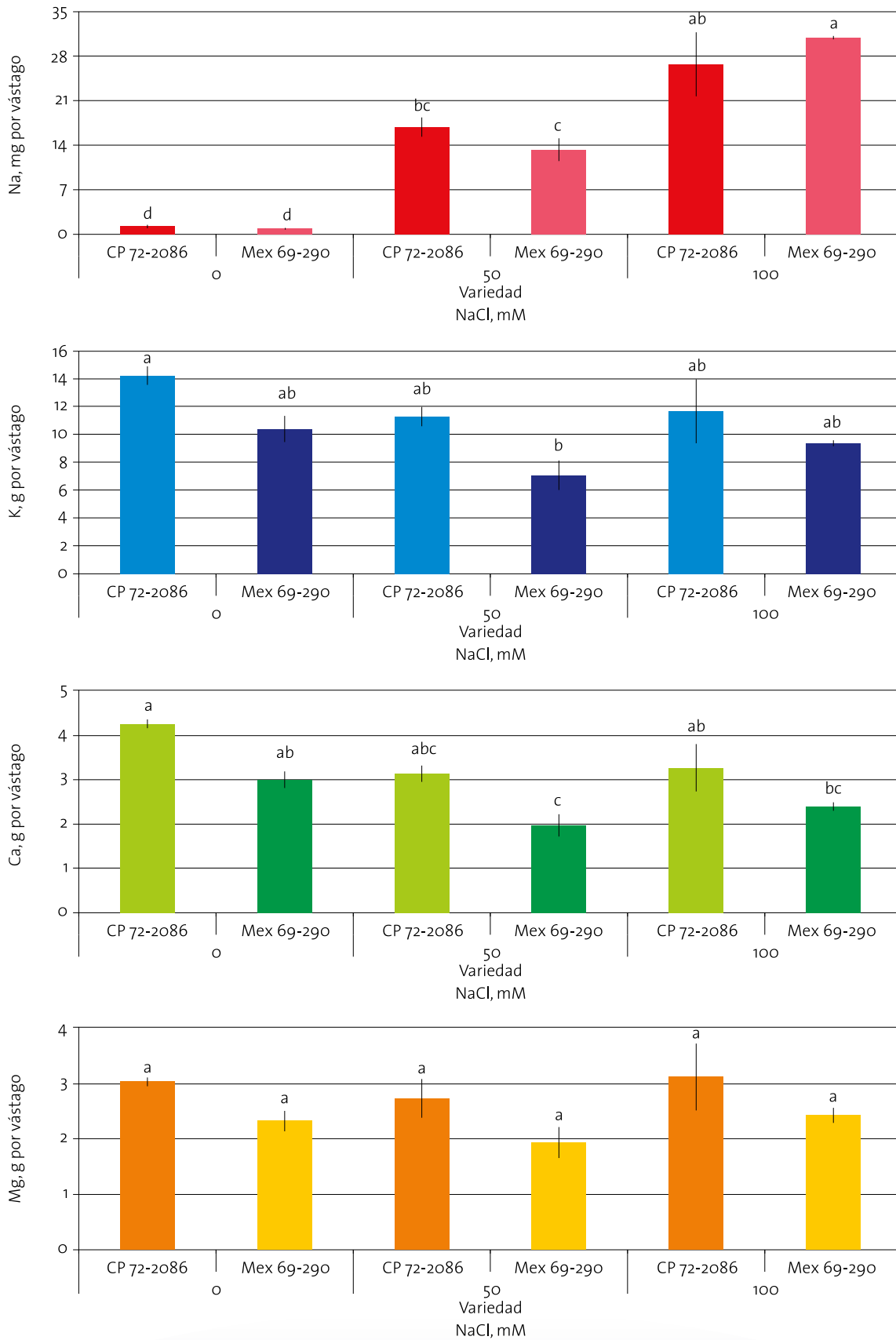


Figura 1. Contenido de Na, K, Ca y Mg en vástago de las variedades CP 72-2086 y Mex 69-290 de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) tratadas con NaCl. Medias \pm desviación estándar con letras iguales en cada sub-figura indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($\alpha=0.05$).

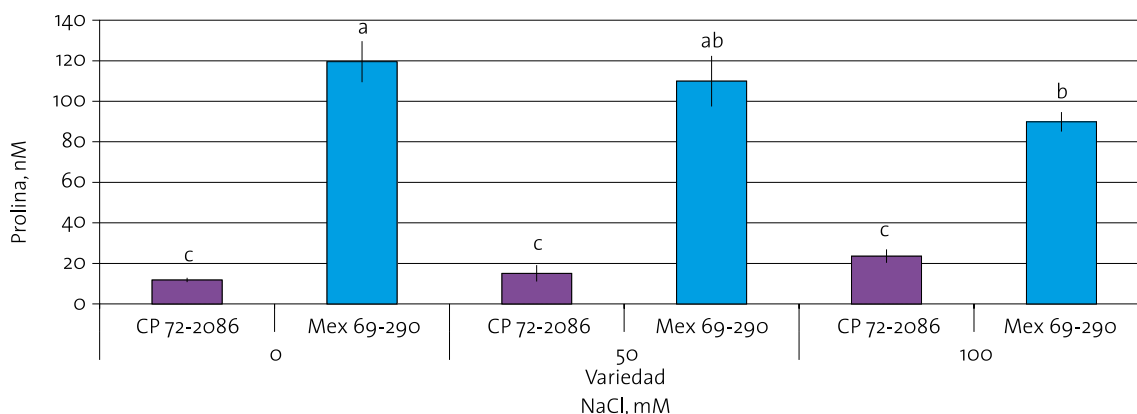


Figura 2. Concentración de prolina en vástago de las variedades CP 72-2086 y Mex 69-290 de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) tratadas con NaCl. Medias \pm desviación estándar con letras iguales indican que en cada evaluación no existen diferencias estadísticas significativas ($\alpha=0.05$).

la célula y previenen pérdida de agua (Mahajan y Tuteja, 2005).

CONCLUSIONES

La variedad CP 72-2086 registró mayor tolerancia a NaCl que la Mex 69-290, al registrar mayor capacidad de exclusión de Na al vástago. La acumulación de cationes esenciales (K, Ca y Mg) en la primera variedad fue menos afectada por la presencia de NaCl en la solución nutritiva. Adicionalmente, la concentración de prolina en CP 72-2086 aumentó a medida que la de NaCl fue incrementado.

AGRADECIMIENTOS

Al Fideicomiso Institucional y a la Línea Prioritaria de Investigación 5 “Biotecnología microbiana, vegetal y animal” del Colegio de Postgraduados, por los apoyos y facilidades brindadas.

LITERATURA CITADA

- Alcántar G.G., Sandoval V.M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Ashraf M., Ahmad S. 2000. Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fibre characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Res.* 66: 115-127.
- Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
- CONAGUA. 2011. Estadísticas del agua en México-Edición 2011. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. México, D. F. 181 p. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF> Consultado: Diciembre, 2013.
- Flores P., Carvajal M., Cerdá A., Martínez V. 2001. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. *J. Plant Nutr.* 24: 1561-1573.
- García M., Jáuregui D. 2008. Efecto de la salinización con NaCl o Na₂SO₄ sobre la anatomía foliar en dos genotipos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) con tolerancia salina diferencial. *Ernstia* 18: 89-105.
- García M., Medina E.E. 2009. Acumulación de iones y solutos orgánicos en dos genotipos de caña de azúcar, estresados con sales simples o suplementadas con calcio. *Bioagro.* 21:3-14.
- García-Morales S., Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C., Espinosa-Victoria D. 2012. Growth inhibition and changes in nutrient accumulation in cucumber plants under salinity conditions. *Acta Hort.* 947: 83-90.
- Günes A., Inal A., Alpasian M. 1996. Effect of salinity on stomatal resistance, proline, and mineral composition of pepper. *J. Plant Nutr.* 19: 389-396.
- Mahajan S., Tuteja N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives Biochem. Biophys.* 444: 139-158.
- Munns R., Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 178 p. Disponible en: <http://support.sas.com/documentation/onlinedoc/stat/930/introcom.pdf>. 08/11/2013.
- Steiner A. 1984. The universal nutrient solution. 633-649. *In: ISOSC Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture.* The Netherlands.
- Tester M., Davenport R. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527.
- Wanek W., Richter, A. 1997. Biosynthesis and accumulation of D-ononitol in *Vigna umbellata* in response to drought stress. *Plant Physiol.* 101: 416-424.