

ECOFISIOLOGÍA DE *Aloe vera* (L.) Burm. f. EN GUAYACÁN, PENÍNSULA DE ARAYA, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

Víctor A. Franco-Salazar, José A. Véliz y Luisa Rojas de Astudillo

RESUMEN

Se estudió la ecofisiología de *Aloe vera* en dos parcelas, una alejada del mar (parcela A) y otra cercana al mar (parcela B), próximas a Guayacán, Península de Araya, Venezuela, en la estación seca y lluviosa. La textura del suelo para las parcelas A y B fue media y gruesa, respectivamente. La parcela B presentó menor humedad (%), alcalinidad, Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} , y mayor Cl^- y Na^+ , comparada con la parcela A. La biomasa fresca foliar fue mayor en la parcela A y en época lluviosa; mientras que la biomasa seca no se diferenció entre estaciones y fue mayor en la parcela A. La acidez titulable fue variable durante el día, con valores máximos en la parcela A y estación

lluviosa. El contenido de clorofilas fue mayor en la estación lluviosa y en la parcela A; sin embargo, los carotenoides no fueron afectados significativamente ni por la ubicación de la parcela ni por la estación. El contenido de azúcares solubles fue mayor en plantas de la parcela A; mientras que las plantas de la parcela cercana al mar incorporaron a las hojas más Cl^- y Na^+ y menos Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} . Los resultados demuestran que la sequía y la cercanía al mar afectan negativamente el cultivo de sábila, por lo que se recomienda cultivar sábila en zonas costeras no muy cercanas al mar y con un suministro adecuado de agua.

Introducción

La zona norte de Venezuela incluye zonas áridas y semiáridas con escasas precipitaciones (250-500mm), elevadas temperaturas (27-30°C) y elevada radiación solar (~6500KW/día). Los suelos son en su mayoría de baja calidad, pobres en materia orgánica y con altos contenidos salinos (Díaz, 2001), lo que hace a estas zonas poco aptas para el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Entre los cultivos alternativos que ofrecen ventajas en zonas áridas y semiáridas está el de la sábila, *Aloe vera*, una especie con metabolismo ácido crasuláceo (CAM) que le permite una alta eficiencia en el uso del

agua y, por tanto, resistencia al estrés hídrico (Lüttge, 2004). Adicionalmente, la cercanía del hidroparénquima al clorénquima en las hojas de *A. vera* reduce la distancia del movimiento de agua entre ambos tejidos, protegiéndolo de la desecación (Goldstein *et al.*, 1991; Tissue *et al.*, 1991). Estas características le han permitido a la sábila establecerse en zonas áridas y semiáridas venezolanas, permitiéndole alcanzar productos de calidad que son cotizados tanto en mercados nacionales como internacionales. En el año 2000 fueron exportadas 296ton de sábila, con un valor de 1753000 USD (Piña-Zambrano, 2005). Además, el cultivo de sábila ha recobrado considerable interés en los

mercados nacionales e internacionales, ya que es usada en medicina popular y elaboración de productos cosméticos comerciales en muchos países (Piña *et al.*, 2005).

Si bien la sábila crece en zonas áridas y semiáridas venezolanas, algunas investigaciones han demostrado que la fisiología de *A. vera* es alterada por las condiciones de cultivo. La disponibilidad de agua es esencial para alcanzar mayor crecimiento vegetativo, productividad (van Schaik *et al.*, 1997), biomasa, tasa de crecimiento (Rodríguez-García *et al.*, 2007) y número de hojas e hijuelos (Silva *et al.*, 2010). La deficiencia de macronutrientes afecta el desarrollo vegetativo (Fuentes-Carvajal *et al.*,

2006) y la aplicación de NaCl disminuye el crecimiento radical (García, 2005), el volumen foliar y el contenido de Cl^- pero aumenta los contenidos de Na^+ y K^+ de la sábila (Véliz *et al.*, 2007).

Aún cuando se han realizado algunos estudios fisiológicos en *Aloe vera*, la gran importancia comercial de esta especie hace necesario ampliar los estudios a nivel de campo a fin de aportar información que pueda contribuir a incrementar su producción en las zonas costeras venezolanas. En el presente estudio se evaluaron varios parámetros ecofisiológicos en *A. vera* durante las estaciones de lluvia y sequía en dos plantaciones establecidas en la Península de Araya, estado Sucre,

PALABRAS CLAVE / Acidez titulable / *Aloe vera* / Biomasa / Contenido Iónico / Sequía /

Recibido: 26/07/2011. Modificado: 05/05/2012. Aceptado: 10/05/2012.

Víctor A. Franco-Salazar. Licenciado en Biología y M.Sc. en Biología Aplicada, Universidad de Oriente (UDO), Venezuela. Investigador, UDO, Núcleo de Sucre (UDO-Sucre), Venezuela. Dirección: Labora-

torio de Fisiología Vegetal, Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, UDO-Sucre, Venezuela. Apartado 245, Cumaná 6101, Venezuela. e-mail: vafrancos@gmail.com.

José A. Véliz. Licenciado en Biología y M.Sc. en Biología Aplicada, UDO-Sucre, Venezuela. Docente Investigador, UDO-Sucre, Venezuela. e-mail: velizja@cantv.net.

Luisa Rojas de Astudillo. Ph.D. en Química. The University of the West Indies, Trinidad. Docente Investigador, UDO-Sucre, Venezuela. e-mail: Irojas40@yahoo.com.

ECOPHYSIOLOGY OF *Aloe vera* (L.) Burm. f. IN GUAYACÁN, PENÍNSULA OF ARAYA, SUCRE STATE, VENEZUELA

Víctor A. Franco-Salazar, José A. Véliz and Luisa Rojas de Astudillo

SUMMARY

The ecophysiology of *Aloe vera* was studied in two plots, plot A far from the sea and B plot near the sea, situated in Guayacán, Araya Peninsula, Venezuela during the dry and wet seasons. The soil textures in plots A and B were medium and coarse, respectively. Plot B presented lesser humidity (%), Ca^{2+} , K^+ and Mg^{2+} , and higher Cl^- and Na^+ in comparison with plot A. The fresh foliar biomass was greater in plot A and in the wet season; whereas there was no difference between seasons in dry biomass, the latter being greater in plot A. Titratable acidity was variable during the day, with the highest values in plot A and in the wet season. The content

of chlorophylls was higher in plot A and during the wet season; nevertheless, carotenoids were not significantly affected. The soluble sugar content was high in plants of plot A, while the plants of the plot B, near the sea, incorporated in their leaves more Cl^- and Na^+ and less Ca^{2+} , K^+ and Mg^{2+} . The results demonstrate that the dryness of the environment and the proximity to the sea affect the culture of *A. vera* negatively, which suggests that *A. vera* could be cultivated in coastal zones but not so near the sea and having an adequate water supply to the plantation area.

ECOFISIOLOGIA DE *Aloe vera* (L.) Burm. f. EM GUAYACÁN, PENÍNSULA DE ARAYA, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

Víctor A. Franco-Salazar, José A. Véliz e Luisa Rojas de Astudillo

RESUMO

Estudou-se a eco fisiologia de *Aloe vera* em duas parcelas, uma afastada do mar (parcela A) e outra próxima ao mar (parcela B), próximas a Guayacán, Península de Araya, Venezuela, na estação seca e chuvosa. A textura do solo para as parcelas A e B foi média e grossa, respectivamente. A parcela B apresentou menor umidade (%), alcalinidade, Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} , e maior Cl^- e Na^+ , comparada com a parcela A. A biomassa fresca foliar foi maior na parcela A e em época chuvosa; enquanto que a biomassa seca não se diferenciou entre estações e foi maior na parcela A. A acidez titulável foi variável durante o dia, com valores máximos na parcela A e estação chuvosa. O conteúdo

de clorofilas foi maior na estação chuvosa e na parcela A; no entanto, os carotenoides não foram afetados significativamente nem pela localização da parcela nem pela estação. O conteúdo de açúcares solúveis foi maior em plantas da parcela A; enquanto que as plantas da parcela próxima ao mar incorporaram às folhas mais Cl^- e Na^+ e menos Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} . Os resultados demonstram que a seca e a próxima ao mar afetam negativamente o cultivo de *Aloe vera*, pelo que se recomenda cultivar *Aloe vera* em zonas costeiras não muito próximas ao mar e com um subministro adequado de água.

Venezuela, a diferentes distancias del mar.

Materiales y Métodos

Área de estudio y material vegetal

El trabajo se llevó a cabo durante la estación seca (marzo) y lluviosa (julio) de 2008, en plantaciones de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Aloaceae) cercanas a Guayacán ($10^{\circ}38'56''N$ y $63^{\circ}49'50''O$), en el noreste de la Península de Araya, municipio Cruz Salmerón Acosta, estado Sucre, Venezuela. Ésta es una zona xeromórfica que corresponde a un monte espinoso tropical, a nivel del mar (Ewel *et al.*, 1976). La precipitación en sitio de muestreo para el 2008

fue 144,3mm, teniéndose que para marzo y julio fue de 6,1 y 42,17mm, respectivamente; mientras que la temperatura promedio anual fue $27,5^{\circ}C$, con 26,5 y $28,2^{\circ}C$ para marzo y julio, respectivamente (datos suministrados por la Estación Meteorológica Antonio José de Sucre, adscrita a la Fuerza Aérea Venezolana).

Dos plantaciones de sábila de ~5 años de establecimiento con fines comerciales y con tres años de abandono total por falta de recursos monetarios e irregularidades en el suministro de agua, entre otras, fueron usadas para llevar a cabo la presente investigación. En cada plantación se estableció una parcela de $256m^2$. Una de las plantaciones se encontraba a ~1,47km

de la orilla del mar y en ella se estableció la denominada parcela A ($10^{\circ}37'59''N$ y $63^{\circ}47'27''O$) y la otra plantación estaba más cercana al mar (~0,52km de la orilla del mar) donde se ubicó la parcela B ($10^{\circ}39'44''N$ y $63^{\circ}47'02''O$). Durante el estudio, las parcelas se desmalezaron manualmente y se eliminaron los hijuelos a las plantas de sábila. La distancia de siembra era de ~1x1m, contabilizándose unas 300 plantas en cada parcela. Las plantas no presentaban síntomas visuales de ataques de hongos y bacterias. Cada parcela fue subdividida en nueve subparcelas y de cada una se seleccionaron plantas al azar en las estaciones seca y lluviosa para la cosecha de hojas

basales (usualmente requeridas por la industria) que fueron utilizadas para los distintos análisis. Dicha cosecha foliar fue llevada a cabo, por cada subparcela, a las 7:00 del 25 de marzo y 25 de julio de 2008, excepto para las determinaciones de acidez titulable, para lo cual se cosecharon hojas durante todo un día como se señala más adelante.

Análisis de suelo

Para las mismas fechas de la cosecha foliar, en cada parcela se obtuvieron cinco muestras puntuales de suelo (0-20cm de profundidad). La textura, el pH y la humedad se determinaron por métodos estándares (Jackson, 1964; Primo y Carrasco, 1973). De

igual forma, en cinco muestras de suelo obtenidas de cada parcela y en cada estación se realizaron determinaciones iónicas. Los cationes intercambiables (Ca^{2+} , K^+ , M^{2+} y Na^+) fueron extraídos con una solución de NH_4OAc 1 mol l^{-1} (Primo y Carrasco, 1973; Gilabert *et al.*, 1990) y cuantificados mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), PerkinElmer, modelo Óptima 5300 DV. El Cl^- se

estimó en extractos acuosos de suelos por potenciometría usando un electrodo selectivo de Cl^- (LaCroix *et al.*, 1970).

Biomasa foliar

La biomasa fresca de una hoja basal cosechada por subparcela en cada estación a las 7:00 fue determinada en una balanza analítica digital inmediatamente después de la cosecha. Luego de determinar la biomasa fresca, se procedió a determinar la biomasa seca, secando la hoja en una estufa a 80°C hasta peso constante. La misma hoja fue usada para determinar el contenido iónico foliar como se describe más adelante.

Acidez titulable y pigmentos

El curso diario de la acidez titulable se determinó durante un día en el clorénquima adaxial de la sección media de una hoja basal cosechada por subparcela en cada estación a las 6:00, 10:00, 14:00 18:00 y 22:00. Se maceró 1g de tejido con agua destilada, se centrifugó a fuerza centrífuga relativa (FCR) de 200 por 5min y, posteriormente, alícuotas del sobrenadante se titularon a pH 7 con KOH 0,01mol l^{-1} (Nobel y Hartsock, 1983; Goldstein *et al.*, 1991). La acumulación nocturna de ácido (ΔH^+) fue calculada como la diferencia entre los valores de acidez de las 6:00 y 18:00.

El contenido de clorofila a, b y carotenoides totales se

TABLA I
CONTENIDO IÓNICO DEL SUELO Y ANÁLISIS DE VARIANZA EN UNA PLANTACIÓN DE *Aloe vera* ALEJADA (~1,47km; PARCELA A) Y EN OTRA CERCANA (~0,52km; PARCELA B) AL MAR DURANTE LA ESTACIÓN DE SEQUÍA Y LLUVIA

Tratamientos	Contenido de iones ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo)				
	Ca^{2+}	Cl^-	K^+	Mg^{2+}	Na^+
Parcela A	12890,4 \pm 1108,8 a*	129,6 \pm 45,5 b	1425,9 \pm 145,2 a	3309,8 \pm 172,5 a	474,5 \pm 142,9 b
Parcela B	3324,9 \pm 611,6 b	1340,5 \pm 342,9 a	702,5 \pm 67,2 b	1927,2 \pm 379,9 b	2914,4 \pm 521,4 a
Sequía	7980,4 \pm 1847,3	756,9 \pm 364,4	962,7 \pm 105,4	2594,5 \pm 355,2	1697,4 \pm 600,6
Lluvia	8234,9 \pm 1808,5	713,2 \pm 261,1	1165,7 \pm 203,1	2642,5 \pm 392,5	1691,5 \pm 512,1
ANOVA					
Parcela (P)	Fs=51,42; p<0,001	Fs=33,98; p<0,001	Fs=22,88; p<0,001	Fs=10,37; p=0,005	Fs=32,73; p<0,001
Estación (E)	Fs= 0,04; p>0,05	Fs= 0,85; p>0,05	Fs= 1,17; p>0,05	Fs= 0,01; p>0,05	Fs= 0,02; p>0,05
P \times E	Fs= 0,20; p>0,05	Fs= 1,46; p>0,05	Fs= 2,14; p>0,05	Fs= 1,00; p>0,05	Fs= 0,49; p>0,05

*Promedios \pm ES, n=10. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre parcelas.

determinó a partir de 0,1g de clorénquima adaxial de la sección media de una hoja basal cosechada por subparcela en cada estación a las 7:00. Los pigmentos se extrajeron en etanol 80% (V/V) durante 72h a 4°C , en oscuridad. La absorbancia de los extractos fue medida en un espectrofotómetro (UV mini-1240, SHIMADZU, Japón) a 665, 649 y 470nm y usadas para determinar el contenido de pigmentos (Takemoto *et al.*, 1988).

Azúcares solubles totales

Los azúcares solubles totales se extrajeron a partir del clorénquima adaxial de la sección media de una hoja basal cosechada por subparcela en cada estación a las 7:00. Se maceró 1g de tejido en etanol 80%, en baño a 80°C por 5min y se centrifugó a una FCR de 1500 por 15min (De la Barrera y Nobel, 2004). Luego se evaporó 1ml del sobrenadante casi totalmente y el residuo se resuspendió en agua destilada; esta solución se usó para determinar el contenido de azúcares siguiendo el método colorimétrico de antrona (Wang *et al.*, 2002), leyendo la absorbancia a 625nm y empleando una curva estándar de glucosa.

Contenido iónico foliar

Un gramo de material seco y molido (malla 40), proveniente de una hoja basal cosechada por subparcela en cada

estación a las 7:00, se calcinó durante 3h a 500°C . Posteriormente, las cenizas fueron disueltas con HCl 6mol l^{-1} , sometidas a evaporación y resuspendidas en HCl 2mol l^{-1} , diluidas con agua desionizada caliente y filtradas. Este filtrado fue usado para determinar el contenido de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} por ICP-OES (Faria *et al.*, 2007). Para la determinación del Cl^- , se mezcló 1g de material molido con CaO y agua antes de ser calcinado durante 2h a 550°C (Engel *et al.*, 2001). Las cenizas fueron digeridas con HNO_3 1mol l^{-1} y el Cl^- fue cuantificado usando un electrodo selectivo de cloruros (Renault, 2005).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de dos vías con réplicas (Sokal y Rohlf, 1979), considerando como factores las plantaciones y la estación climática sobre el contenido iónico del suelo y sobre los parámetros fisiológicos de *A. vera*. Los datos se analizaron mediante el paquete estadístico computarizado STATGRAPHICS Centurion XV.II.

Resultados y Discusión

Características del suelo

Los suelos estudiados son de textura media, Franco arcillo-arenoso (FAa), para la parcela alejada del mar (parcela A) y de textura gruesa, Franco arenoso (Fa), para la par-

cela cercana al mar (parcela B). El porcentaje de humedad fue mayor en la parcela A ($5,2 \pm 0,26\%$) que en la B ($2,2 \pm 0,47\%$). El contenido iónico del suelo fue diferente estadísticamente entre parcelas, siendo mayor el contenido de Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} en la parcela A y de Cl^- y Na^+ en la parcela B. No hubo diferencias estadísticamente significativas en el contenido iónico del suelo entre las estaciones de muestreo (Tabla I).

Los suelos de textura gruesa, tales como los de la parcela B, permiten mayor lixiviación y arrastre del agua e iones hacia las capas inferiores (Salcedo-Pérez *et al.*, 2007), por lo que retienen menos humedad y su contenido de iones esenciales (Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+}) es menor (Tabla I). Contrariamente, los suelos con un mayor contenido de arcilla como los de la parcela A retienen mayor cantidad de agua y de iones esenciales. Los mayores contenidos de Cl^- y Na^+ en la parcela B, se corresponden con su cercanía al mar.

El pH fue moderadamente alcalino en la parcela A ($8,5 \pm 0,04$) y ligeramente alcalino en la B ($7,7 \pm 0,48$). La mayoría de las especies crecen mejor en sustratos que contengan valores de pH entre 5 y 7, donde pueden absorber mejor los nutrientes (Epstein y Bloom, 2006). Reportes previos indican que *A. vera* también presenta una buena absorción de nutrientes entre

TABLA II
BIOMASA FRESCA Y SECA FOLIAR DE *Aloe vera*
Y ANÁLISIS DE VARIANZA EN UNA PLANTACIÓN
ALEJADA (~1,47km; PARCELA A) Y EN OTRA CERCANA
(~0,52km; PARCELA B) AL MAR DURANTE
LA ESTACIÓN DE SEQUÍA Y LLUVIA

Tratamientos	Biomasa fresca (g)	Biomasa seca (g)
Parcela A	299,5 ±14,1 A*	15,9 ±0,5 A
Parcela B	252,7 ±8,1 B	10,6 ±0,5 B
Sequía	244,3 ±8,0 b	13,9 ±0,7
Lluvia	307,9 ±13,2 a	12,6 ±0,9
ANOVA		
Parcela (P)	Fs=11,51; p=0,001	Fs=58,98; p<0,001
Estación (E)	Fs=21,32; p<0,001	Fs= 3,52; p>0,05
P × E	Fs= 8,01; p=0,006	Fs= 1,99; p>0,05

*Promedios ±ES, n=18. Letras mayúsculas en la misma columna indican diferencias significativas entre parcelas; mientras que las minúsculas indican diferencias entre estaciones.

estos pH (Fuentes-Carvajal *et al.*, 2006) por lo que el pH ligera o moderadamente alcalino de ambas parcelas pudiera interferir con la absorción de nutrientes esenciales para el óptimo desarrollo de la sábila.

Biomasa foliar

Los mayores valores de biomasa fresca se encontraron en las hojas de *A. vera* cultivadas en la parcela A; mientras que la misma variable resultó superior en las hojas cosechadas en lluvia con respecto a las de sequía. Hubo interacción entre estación y parcela sobre la biomasa fresca (Tabla II). De similar manera, la biomasa seca de las hojas cosechadas en la parcela A fue mayor que en la B; sin embargo, este parámetro no se diferenció estadísticamente entre estaciones (Tabla II).

La cercanía al mar junto a las condiciones adversas del ambiente xerofítico, imponen una condición de estrés hídrico y/o salino que se acentúa durante la estación de sequía, afectando la biomasa en la sábila. Cultivada bajo irrigación en un ambiente xerofítico de Aruba, *A. vera* incrementó su crecimiento con respecto a plantas no irrigadas (Genet y van Schooten, 1992). van Schaik *et al.* (1997) demostraron que la cantidad de agua disponible para el cultivo es

crucial para el aumento de la biomasa fresca foliar y, por ende, del crecimiento de *A. barbadensis* (= *A. vera*). Estos mismos autores señalan que durante la sequía, la sábila reduce el agua almacenada en el hidroparénquima, disminuyendo la producción del gel, lo que se corresponde con los menores valores en la biomasa fresca encontrados en el presente estudio. Similarmente, Rodríguez-García *et al.* (2007) y Silva *et al.* (2010) demostraron que el bajo potencial hídrico o la poca disponibilidad de agua para la sábila reduce, entre otras cosas, su biomasa fresca foliar y el crecimiento.

Los bajos contenidos de humedad e iones esenciales como Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} del suelo y las altas concentraciones de Cl^- y Na^+ del sustrato de la parcela B pudieron ser factores limitantes de la producción de biomasa fresca y seca de las plantas de esta parcela, comparada con las de la parcela A. En otra suculenta de ambientes áridos, *Opuntia ficus-indica* (tuna), el aumento en la concentración de NaCl en solución hidropónica afectó adversamente la tasa relativa de crecimiento debido al efecto osmótico, tóxico y/o a la inhibición en la absorción de nutrientes esenciales para la producción de materia seca que impone la presencia de sal en el suelo (Franco-Sala-

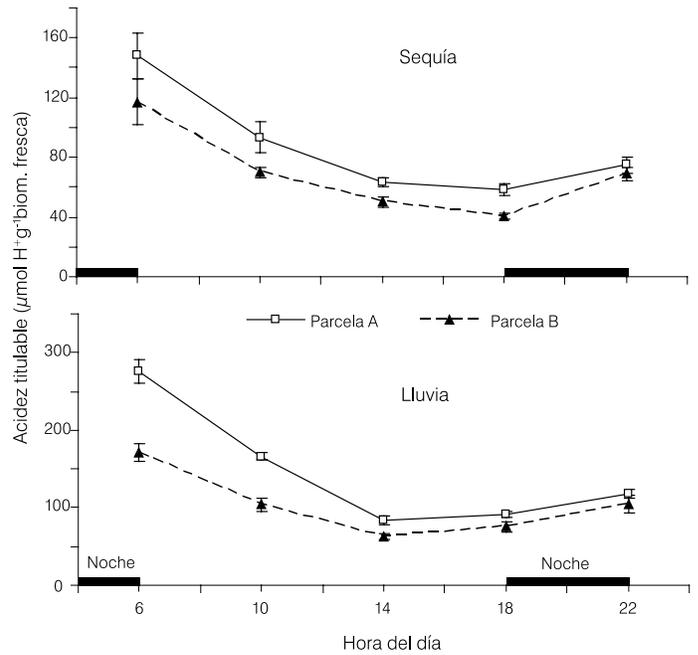


Figura 1. Curso diario de la acidez titulable del clorénquima de *Aloe vera* en una plantación alejada (~1,47km; parcela A) y en otra cercana (~0,52km; parcela B) al mar, durante la estación de sequía y lluvia. Los valores son los promedios ±ES, n= 9.

zar y Véliz, 2007). En consecuencia, la disminución en la biomasa foliar mostrada por la sábila en la parcela B con baja disponibilidad de agua y altos contenidos de Cl^- y Na^+ , evidencia que la disminución de la biomasa es un fenómeno común en plantas suculentas bajo estrés hídrico y/o salino.

Acidez titulable

La Figura 1 muestra que el clorénquima de *A. vera* presentó fluctuación diaria de la acidez titulable, con máxima acumulación de ácidos al final de la noche (6:00). Para esa hora, las plantas de la parcela

A (Fs=22,13; p<0,001) y en la estación lluviosa (Fs=39,74; p<0,001) evidenciaron los máximos de acidez titulable; además, hubo interacción entre parcela y estación (Fs=6,47; p=0,02). Igualmente, a las 18:00 la plantas de parcela A (Fs=13,08; p=0,001) y de la estación lluviosa (Fs=57,06; p=0,001) tuvieron máximos, aunque no hubo interacción entre factores. En la Figura 2 se puede observar que la ΔH^+ del clorénquima fue mayor en hojas cosechadas en la parcela A (Fs=7,96; p=0,008) y en la estación lluviosa (Fs=10,72; p=0,002) comparadas con la parcela B

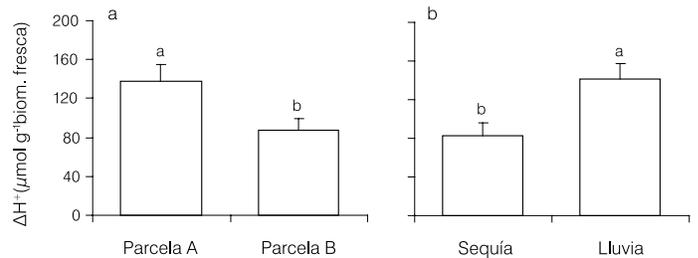


Figura 2. Acumulación nocturna de ácido (ΔH^+) del clorénquima de *Aloe vera* en a) una plantación alejada (~1,47km; parcela A) y en otra cercana (~0,52km; parcela B) al mar y b) durante la estación de sequía y lluvia. Los valores son los promedios ±ES, n=18. Las letras sobre las barras indican diferencias entre parcelas (p=0,008) y entre estaciones (p=0,002).

y la estación de sequía, respectivamente. Resultados similares fueron encontrados en las especies CAM, *Agave lechuguilla*, *O. ficus-indica*, *Talinum triangulare* e *Hyloceus undatus*, donde se observaron fluctuaciones diarias en la absorción de CO₂ y/o la acidez titulable, siendo las plantas bien irrigadas las que presentaron mayores valores, comparadas con aquellas sometidas a sequía (Nobel y Quero, 1986; Goldstein *et al.*, 1991; Pieters *et al.*, 2003; Nobel, 2006).

Los menores valores de ΔH⁺ en las plantas cosechadas durante la sequía se corresponden con los encontrados para la especie C₃-CAM, *Clusia minor*, donde los valores de este parámetro se incrementaron con las lluvias moderadas y disminuyeron con la sequía (Herrera *et al.*, 2008). El déficit hídrico también redujo la ΔH⁺ en *Talinum triangulare* (Herrera *et al.*, 2000; Pieters *et al.*, 2003).

La menor acidez del clorénquima de las plantas cosechadas en la parcela B, cercana al mar (Figuras 1 y 2) puede deberse a los altos valores de Cl⁻ y Na⁺ presentes en sus suelos, ya que en la especie CAM, *Cereus validus* y *O. humifusa*, la aplicación de NaCl redujo la absorción nocturna de CO₂ y la acumulación de malato (Nobel *et al.*, 1984; Silverman *et al.*, 1988). La menor acidez en las plantas de dicha parcela, se corresponde con los valores más bajos de biomasa seca mostrados por las mismas plantas, producto de la limitación en la fijación de carbono necesario para el crecimiento.

Pigmentos

El contenido de clorofilas (*a*, *b* y total) del clorénquima fue menor en las plantas de la parcela B (Tabla III). Posiblemente esto se deba a que la presencia de Cl⁻ y Na⁺ en el suelo de la parcela B afectó la tasa de síntesis y degradación de clorofila alterando la concentración foliar de los pigmentos analizados. Simi-

TABLA III
CONTENIDO DE PIGMENTOS FOLIARES DE *Aloe vera* Y ANÁLISIS DE VARIANZA EN UNA PLANTACIÓN ALEJADA (~1,47km; PARCELA A) Y EN OTRA CERCANA (~0,52km; PARCELA B) AL MAR DURANTE LA ESTACIÓN DE SEQUÍA Y LLUVIA

Tratamientos	Pigmentos (mg·g ⁻¹ biomasa fresca)			
	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Carotenoides totales
Parcela A	40,1 ±2,2 A*	37,9 ±1,8 A	77,9 ±3,9 A	10,2 ±1,2
Parcela B	26,9 ±2,3 B	25,9 ±2,3 B	52,1 ±3,4 B	10,8 ±1,1
Sequía	29,9 ±2,4 b	27,8 ±2,5 b	57,7 ±4,4 b	10,8 ±0,9
Lluvia	37,1 ±2,8 a	36,0 ±2,2 a	72,3 ±4,6 a	10,3 ±1,4
ANOVA				
Parcela (P)	Fs=20,13; p<0,001	Fs=20,07; p<0,001	Fs=30,28; p<0,001	Fs=0,15; p>0,05
Estación (E)	Fs= 6,04; p<0,05	Fs= 9,25; p=0,005	Fs= 9,67; p=0,004	Fs=0,11; p>0,05
P × E	Fs= 1,51; p>0,05	Fs= 0,24; p>0,05	Fs= 0,41; p>0,05	Fs=0,82; p>0,05

*Promedios ±ES, n=18. Letras mayúsculas en la misma columna indican diferencias significativas entre parcelas; mientras que las minúsculas indican diferencias entre estaciones.

larmente, el contenido de clorofilas disminuyó en plantas de Olivo (*Olea europea*), una especie generalmente cultivada en regiones áridas y semiáridas de Irán, al aumentar la concentración de NaCl en el medio radical (Mousavi *et al.*, 2008). Sin embargo, Tezara *et al.* (2003) y Franco-Salazar y Véliz (2008) encontraron que el tratamiento salino (NaCl) no afectó el contenido de clorofila en las especies suculentas *Lycium nodosum* y *O. ficus-indica*, respectivamente.

Adicionalmente, el contenido de clorofilas (*a*, *b* y total) del clorénquima disminuyó durante la sequía (Tabla III). Similarmente, la sequía severa (sin ningún riego) durante 180 días redujo significativamente el contenido de clorofilas en *O. ficus-indica* (Aguilar y Peña, 2006). No obstante, en la especie CAM, *Peperomia carnevalii*, el contenido de clorofila foliar se mantuvo constante durante 40 días de sequía (Herrera *et al.*, 2000); mientras que el déficit hídrico durante 20 días no afectó el contenido de clorofila en *Lycium nodosum* (Tezara *et al.*, 2003).

El contenido de carotenoides totales no varió significativamente entre estaciones ni entre parcelas (Tabla III). Los carotenoides son conocidos como pigmentos accesorios en la fotosíntesis; además, bajo estrés por alta irradiación y por sequía algunos carotenoi-

des juegan un rol protector, ya que disipan la sobreexcitación del aparato fotosintético. Esta función de los carotenoides ha sido señalada para *A. vera* y *A. arborescens* bajo condiciones de sequía y alta irradiación (Díaz *et al.*, 1990; Merzlyak *et al.*, 2005). En el presente estudio, las condiciones de disponibilidad de agua y salinidad del suelo no tuvieron un efecto significativo sobre el contenido de carotenoides totales. De manera similar, el déficit hídrico no afectó el contenido de carotenoides en *Talinum triangulare* (Pieters *et al.*, 2003).

Azúcares solubles totales

El contenido de azúcares solubles totales fue diferente entre parcelas (Fs=22,78; p<0,001), con máximos en el clorénquima de hojas cosechadas en la parcela A (19,5 ±1,70mg·g⁻¹ de biomasa fresca) con respecto a la parcela B (10,1 ±1,13mg·g⁻¹ de biomasa fresca). Entre estaciones no hubo diferencias (Fs=0,03; p>0,05), con valores de 14,6 ±2,26 y 15,0 ±1,29mg·g⁻¹ de biomasa fresca para la estación seca y lluviosa, respectivamente.

Se ha señalado que bajo estrés por sequía y/o salinidad algunas plantas pueden responder degradando o acumulando carbohidratos (Soussi *et al.*, 1998; Jin *et al.*, 2007; Nerd y Nobel, 2008; Zheng *et al.*, 2009). Según los resulta-

dos del presente estudio, el estrés impuesto por la sequía no afectó la acumulación de azúcares solubles totales pero la concentración de sal en el suelo parece haber ocasionado una menor acumulación de los mismos.

Los valores más bajos en el contenido de carbohidratos de las plantas de la parcela B, pueden relacionarse con los mínimos encontrados en clorofila, acidez titulable y biomasa, ya que al verse afectados estos últimos, no hay una buena producción de carbohidratos, necesarios para el óptimo crecimiento y desarrollo.

Contenido iónico foliar

Las Tablas I y IV muestran que las plantas de *A. vera* cultivadas en suelos con mayor contenido de Ca²⁺, Cl⁻, K⁺, Mg²⁺ y Na⁺ absorbieron mayores cantidades de dichos elementos. Entre períodos climáticos, sólo se encontró mayor contenido de Cl⁻ en el período lluvioso (Tabla IV).

Las raíces de *A. vera* cultivada en los suelos de la parcela B, tuvieron una alta permeabilidad a los iones Cl⁻ y Na⁺. Esto sugiere que la toxicidad de estos iones quizás afectó los mecanismos de exclusión de iones, propició su ingreso a los tejidos (Jeffries, 1981; Nerd *et al.*, 1991; Fernández-García *et al.*, 2004) y consecuentemente aumentó su contenido en las hojas (Tabla IV).

TABLA IV
CONTENIDO IÓNICO FOLIAR DE *Aloe vera* Y ANÁLISIS DE VARIANZA EN UNA PLANTACIÓN ALEJADA (~1,47km; PARCELA A) Y EN OTRA CERCANA (~0,52km; PARCELA B) AL MAR DURANTE LA ESTACIÓN DE SEQUÍA Y LLUVIA

Tratamientos	Contenido de iones (mg·g ⁻¹ biomasa seca)				
	Ca ²⁺	Cl ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Parcela A	147,5 ±5,6 A*	19,0 ±1,0 B	150,5 ±9,6 A	67,0 ±2,0 A	4,8 ±0,7 B
Parcela B	86,5 ±3,8 B	53,2 ±3,1 A	89,9 ±7,0 B	43,8 ±2,5 B	69,4 ±7,5 A
Sequía	111,8 ±8,8	31,7 ±3,6 b	120,0 ±9,8	57,4 ±3,8	30,7 ±7,4
Lluvia	122,2 ±8,6	40,5 ±5,4 a	120,4 ±12,3	53,4 ±3,3	43,5 ±11,0
ANOVA					
Parcela (P)	Fs=83,46; p<0,001	Fs=215,64; p<0,001	Fs=25,37; p<0,001	Fs=53,59; p<0,001	Fs=204,73; p<0,001
Estación (E)	Fs= 2,44; p>0,05	Fs= 6,80; p<0,05	Fs= 0,00; p>0,05	Fs= 1,56; p>0,05	Fs= 2,14; p>0,05
P × E	Fs= 0,10; p>0,05	Fs= 3,05; p>0,05	Fs= 1,04; p>0,05	Fs= 0,93; p>0,05	Fs= 0,14; p>0,05

*Promedios ±ES, n=18. Letras mayúsculas en la misma columna indican diferencias significativas entre parcelas; mientras que las minúsculas indican diferencias entre estaciones.

Las posibles causas para la discriminación de la absorción de nutrientes esenciales (Ca²⁺, K⁺ y Mg²⁺; Tabla IV) por la sábila, bajo las condiciones salinas presentes en la parcela B, tal vez fueron las mismas señaladas por Sultana *et al.* (2001) para *O. sativa* sometida a salinidad: los iones en altas concentraciones en el suelo (Na⁺ y Cl⁻; Tabla I) son absorbidos en altas cantidades, lo que pudo llevar a la excesiva acumulación en el tejido. Estos iones pudieron inhibir la absorción de otros iones en la raíz (Ca²⁺, K⁺ y Mg²⁺) y, por ello, su poco transporte hacia la parte aérea, eventualmente, llevó al menor contenido en las hojas (Tabla IV).

En plantas que crecen en sustrato salino, el Na⁺ compite con el K⁺ por el flujo intracelular, porque estos cationes son transportados por proteínas comunes (Sultana *et al.*, 2001). Por ello, el menor contenido de K⁺ y mayor de Na⁺ para la parcela B, con respecto a la parcela A, es indicativo de tal competencia iónica.

Por su parte, la salinidad (NaCl) también ocasiona interacciones con Ca²⁺ y Mg²⁺ en la zona radical (Mousavi *et al.*, 2008), reduciendo la disponibilidad, transporte y movilidad de estos últimos iones hacia las regiones en crecimiento de la planta, lo cual afecta la cualidad de los órganos vegetativos y reproductivos

(Grattan y Crieve, 1999), lo que se puede relacionar con los bajos valores en las hojas de las plantas de la parcela B.

Conclusiones

La fisiología de *Aloe vera* resulta negativamente afectada cuando la planta es cultivada en zonas relativamente cercanas al mar (~500m) y durante la estación seca debido, posiblemente, a las altas concentraciones de sales existentes en el suelo (Na⁺ y Cl⁻), cuyo incremento durante el periodo seco conlleva al aumento de los efectos osmóticos y/o tóxicos y, con ello, a la reducción de la biomasa, acidez titulable, clorofilas, azúcares solubles e iones esenciales (Ca²⁺, K⁺ y Mg²⁺) en esta especie. Esto sugiere que se pudiera cultivar sábila en zonas costeras pero no muy cercanas al mar y con un suministro adecuado de agua, teniendo la precaución de no incrementar las concentraciones de sales en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Jesús Bello, Wilmer Sánchez, Henry Astudillo, Isaías Velásquez y Freddy Velásquez, al Centro de Investigaciones Ecológicas de Guayacán de la UDO (CIEG-UDO) y al Instituto de investigación en Biomedicina y Ciencias Aplicadas (IIBCA) por la colabora-

ción, y al Consejo de Investigación de la UDO por el apoyo financiero.

REFERENCIAS

- Aguilar G, Peña CB (2006) Alteraciones fisiológicas provocadas por sequía en nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 231-237.
- De la Barrera E, Nobel PS (2004) Carbon and water relations for developing fruits of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, including effects of drought and gibberelic acid. *J. Exp. Bot.* 55: 719-729.
- Díaz M (2001) Ecología experimental y ecofisiología: bases para el uso sostenible de los recursos naturales de las zonas áridas neo-tropicales. *Interiencia* 26: 472-478.
- Díaz M, Ball E, Lüttge U (1990) Stress-induced accumulation of the xanthophyll rhodoxanthin in leaves of *Aloe vera*. *Plant Physiol. Biochem.* 28: 679-682.
- Engel RE, Bruebaker L, Emborg TJ (2001) A chloride deficient leaf spot of durum wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1448-1454.
- Epstein E, Bloom AJ (2006) *Nutrición Mineral de Plantas: Principios e Perspectivas*. 2ª ed. Sinauer. Londrina, Brazil. 403 pp.
- Ewel JJ, Madriz A, Tosi JA (1976) *Zonas de Vida de Venezuela*. 2ª ed. Editorial Sucre. Caracas, Venezuela. 265 pp.
- Faria BF, Aparecida C, Romeiro S, Magalhães AM, Paz-González A (2007) Pb-phytoextraction by maize in a Pb-EDTA treated oxisol. *Sci. Agric.* 64: 52-60.
- Fernández-García N, Martínez V, Carvajal M, (2004) Effect of

salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167: 616-622.

Franco-Salazar VA, Véliz JA (2007) Respuestas de la tuna [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] al NaCl. *Interiencia* 32: 125-130.

Franco-Salazar VA, Véliz JA (2008) Efectos de la salinidad sobre el crecimiento, acidez titulable y concentración de clorofila en *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Saber* 20:12-17.

Fuentes-Carvajal A, Véliz JA, Imery J (2006) Efecto de la deficiencia de macronutrientes en el desarrollo de *Aloe vera*. *Interiencia* 31: 116-122.

García OJ (2005) *Cambios Estructurales y Cuantificación de Proteínas en Raíces de Aloe vera (L.) Burm. f. (Sábila) Sometidas a Estrés Salino por Cloruro de Sodio (NaCl)*. Tesis. Universidad de Oriente. Cumaná. Venezuela. 40 pp.

Genet WB, van Schooten CA (1992) Water requirement of *Aloe vera* in a dry caribbean climate. *Irrig. Sci.* 13: 81-85.

Gilbert de Brito J, López de Rojas I, Roberti R (1990) Análisis del suelo para diagnóstico de fertilidad. En *Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia*. Serie D N° 26. Cap. 7. FONAIAP-CENIAP. Maracay, Venezuela. pp. 1-17.

Goldstein G, Ortega JK, Nerd A, Nobel PS (1991) Diel patterns of water potential components for the crassulacean acid metabolism plant *Opuntia ficus-indica* when well-watered or droughted. *Plant Physiol.* 95: 274-288.

Grattan SR, Crieve CM (1999) Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hort.* 78: 127-157.

Herrera A, Fernández MD, Taisma MA (2000) Effects of drought on CAM and water relations in plants of *Peperomia carnevalii*. *Ann. Bot.* 86: 511-517.

Herrera A, Ballestrini C, Tezara W (2008) Nocturnal sap flow in the C₃-CAM species, *Clusia minor*. *Trees* 22: 491-497.

Jackson M (1964) *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, EEUU. 485 pp.

Jefferies RL (1981) Osmotic adjustment and the response of halophytic plant to salinity. *BioScience* 31: 42-46.

Jin ZM, Wang CH, Liu ZP, Gong WJ (2007) Physiological and ecological characters studies on *Aloe vera* under soil salin-

- ity and seawater irrigation. *Proc. Biochem.* 42: 710-714.
- LaCroix RL, Keeney DR, Walsh LM (1970) Potentiometric titration of chloride in plant tissue extracts using the chloride ion electrode. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 1: 1-6.
- Lüttge U (2004) Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Ann. Bot.* 93: 629-652.
- Merzlyak M, Solovchenko A, Pogosyan S (2005) Optical properties of rhodoxanthin accumulated in *Aloe arborescens* Mill. leaves under high-light stress with special reference to its photoprotective function. *Photochem. Photobiol. Sci.* 4: 333-340.
- Mousavi A, Lessani H, Babalar M, Talaei AR, Fallani E (2008) Influence of salinity on chlorophyll, leaf water potential, total soluble sugars, and mineral nutrients in two young olive cultivars. *J. Plant Nutr.* 31: 1906-1916.
- Nerd A, Nobel PS (2008) Effects of drought on water relations and nonstructural carbohydrates in cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Physiol. Plant.* 81: 495-500.
- Nerd A, Karadi A, Mizrahi Y (1991) Salt tolerance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Plant Soil* 137: 201-207.
- Nobel PS (2006) Parenchyma-Chlorenchyma water movement during drought for the hemiepiphytic cactus *Hyloceus undatus*. *Ann. Bot.* 97: 469-474.
- Nobel PS, Hartsock TL (1983) Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal acid accumulation, and CO₂ uptake for a crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus-indica*. *Plant Physiol.* 71: 71-75.
- Nobel PS, Quero E (1986) Environmental productivity indices for a Chihuahuan desert CAM plant, *Agave lechuguilla*. *Ecology* 67: 1-11.
- Nobel PS, Lüttge U, Heuer S, Ball E (1984) Influence of applied NaCl on crassulacean acid metabolism and ionic levels in a cactus, *Cereus validus*. *Plant Physiol.* 75: 799-803.
- Pieters AJ, Tezara W, Herrera A (2003) Operation of xanthophyll cycle and degradation of D1 protein in the inducible CAM plant, *Talinum triangulare*, under water deficit. *Ann. Bot.* 92: 393-399.
- Piña-Zambrano H (2005) Perfil preliminar del mercado de la zábila (*Aloe barbadensis* Mill.) en el estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 17: 85-92.
- Piña H, Azócar R, Lugo Z, Romero C (2005) Tipología de la producción primaria de zábila (*Aloe barbadensis* L.) en el estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 17: 25-34.
- Primo E, Carrasco J (1973) *Química Agrícola I: Suelos y Fertilizantes*. Alhambra. Madrid, España. 472 pp.
- Renault S (2005) Tamarack response to salinity: effects of sodium chloride on growth and ion, pigment, and soluble carbohydrate levels. *Can. J. For. Res.* 35: 2806-2812.
- Rodríguez-García R, Jasso D, Gil-Marín JA, Angulo-Sánchez JL, Lira-Saldivar RH (2007) Growth, stomatal resistance, and transpiration of *Aloe vera* under different soil water potentials. *Ind. Crops Prod.* 25: 123-128.
- Salcedo-Pérez E, Vázquez-Alarcón A, Krishnamurthy L, Zamora-Natera F, Hernández-Álvarez E, Rodríguez R (2007) Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Inter-ciencia* 32: 115-120.
- Silva H, Sagardía S, Seguel O, Torres C, Tapia C, Franck N, Cardemil L (2010) Effect of water availability on growth and water use efficiency for biomass and gel production in *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* M.). *Ind. Crops Prod.* 31: 20-27.
- Silverman FP, Young DR, Nobel PS (1988) Effects of applied NaCl on *Opuntia humifusa*. *Physiol. Plant.* 72: 343-348.
- Sokal RR, Rohlf FJ (1979) *Biometría, Principios y Métodos Estadísticos en la Investigación Biológica*. Blume. Madrid, España. 382 pp.
- Soussi M, Ocaña A, Lluch C (1998) Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.). *J. Exp. Bot.* 49: 1329-1337.
- Sultana N, Ikeda T, Kashem MA (2001) Effect of foliar spray of nutrient solution on photosynthesis, dry matter accumulation and yield in seawater-stressed rice. *Env. Exp. Bot.* 46: 129-140.
- Takemoto BK, Bytnerowicz A, Olszyk DM (1988) Depression of photosynthesis, growth, and yield in field-grown green pepper (*Capsicum annum* L.) exposed to acidic fog and ambient ozone. *Plant Physiol.* 88: 477-482.
- Tezara W, Martínez D, Rengifo E, Herrera A (2003) Photosynthetic responses of the tropical spiny shrub *Lycium nodosum* (Solanaceae) to drought, soil salinity and saline spray. *Ann. Bot.* 92: 757-765.
- Tissue DT, Yakir D, Nobel PS (1991) Diel water movement between parenchyma and chlorenchyma of two desert CAM plants under dry and wet conditions. *Plant Cell Env.* 14: 407-413.
- van Schaik AH, Struik PC, Damian TG (1997) Effects of irrigation and N on the vegetative growth of *Aloe barbadense* Mill. in Aruba. *Trop. Agric.* 74: 104-109.
- Véliz J, Franco-Salazar V, García M (2007) Efecto de la salinidad en *Aloe vera* y *Opuntia ficus-indica*: plantas CAM de interés comercial. *Rev. Fac. Agron. LUZ* 24: 337-341.
- Wang Y-Y, Khoo K-H, Chen S-T, Lin C-C, Wong C-H, Lin C-H (2002) Studies on the immunomodulating and antitumor activities of *Ganoderma lucidum* (Reishi) polysaccharides: functional and proteomic analyses of a fucose-containing glycoprotein fraction responsible for the activities. *Bioorg. Med. Chem.* 10: 1057-1062.
- Zheng YH, Xu XB, Wang MY, Zheng XH, Li ZJ, Jiang GM (2009) Responses of salt-tolerant and intolerant wheat genotypes to sodium chloride: photosynthesis, antioxidants activities, and yield. *Photosynthetica* 47: 87-94.