

EFFECTO DEL POTASIO SOBRE LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y CONTENIDO DE CLOROFILA EN AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.)

R. San Miguel-Chávez¹; V. Hernández-Sequera²; D. Rosas-Calleja²;
A. Trinidad-Santos²; A. Larqué-Saavedra¹

¹Especialidad de Botánica, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Carretera México- Texcoco km. 36.5, Montecillo, Estado de México, MEXICO. C.P. 56230

²Especialidad de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Carretera México- Texcoco km. 36.5, Montecillo, Estado de México, MEXICO. C.P. 56230

RESUMEN

Se estudió en invernadero el efecto de concentraciones crecientes de potasio, sobre la conductancia estomática y el contenido de clorofila en tres cultivares de amaranto ('Azteca', 'Mercado' y 'Nepal'), a los 104 días después de la siembra. El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.), se sembró en macetas de plástico con arena de río previamente lavada. Se prepararon soluciones nutritivas con diferentes niveles de potasio con las que se regaron las macetas a capacidad de campo. El diseño experimental fue en bloques al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones, haciendo un total de 28 unidades experimentales. En ausencia de potasio, los cultivares Mercado y Nepal presentaron valores de conductancia de 78.0 ± 8.9 y 103.7 ± 13.9 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente, en tanto que a mayor concentración de potasio en el sustrato ($6 \text{ meq} \cdot \text{litro}^{-1}$) las conductancias se incrementaron a 97.3 ± 11.4 y 110.7 ± 2.4 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. La cantidad de clorofila, expresada en $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ también se incrementó en los cultivares Mercado y Nepal al aplicar $6 \text{ meq} \cdot \text{litro}^{-2}$ de potasio. En el cultivar Azteca no se observó ningún efecto al aplicar solución nutritiva con 0 a $6 \text{ meq} \cdot \text{litro}^{-1}$ de potasio, tanto en su conductancia estomática como en el contenido de clorofila.

PALABRAS CLAVE: Clorofila, hidroponia, intercambio gaseoso, nutrición mineral, K.

EFFECT OF POTASSIUM ON STOMATAL CONDUCTANCE AND CHLOROPHYLL CONTENT IN AMARANTH (*Amaranthus hypochondriacus* L.)

SUMMARY

Effects of three concentrations of potassium on stomatal conductance and chlorophyll content were studied on three different cultivars of amaranth ('Azteca', 'Mercado' and 'Nepal'), 104 days after sowing. The plants were grown in pots filled with washed river sand as substrate. Nutrient solutions with different potassium levels were applied to the substrate; moisture was maintained at field capacity. Pots were arranged in a randomized block design, with 7 treatments and 4 replicates. Without potassium addition, the cultivars Mercado and Nepal showed stomatal conductances of 78.0 ± 8.9 and 103.7 ± 13.9 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, but with $6 \text{ meq} \cdot \text{liter}^{-1}$ the conductances were increased to 97.3 ± 11.4 and 110.7 ± 2.4 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. Higher levels of chlorophyll were found in cultivars Mercado and Nepal irrigated with the same concentration of potassium. The Azteca cultivar was not affected on its stomatal conductance or chlorophyll content by any of the potassium treatments.

KEY WORDS: Chlorophyll, hydroponics, gaseous exchange, mineral nutrition, K.

INTRODUCCIÓN

El potasio es un macronutriente indispensable para el establecimiento y desarrollo de los vegetales, ya que influye en la activación de enzimas, el transporte de iones a través de las membranas, la neutralización de aniones y contribuye significativamente a mantener el potencial osmótico de las células (Clarkson y Hanson, 1980; Syed, 1994; Taiz y Zeiger, 1991), por lo que la planta necesita de un aporte constante de potasio; por otra parte, este

elemento, al igual que el fósforo, frecuentemente se encuentra presente en bajas concentraciones en el suelo (Syed, 1994).

Particularmente el transporte de potasio a través de las membranas de las dos células guarda que rodean al poro estomático es importante, ya que para efectuar el intercambio de vapor de agua y de bióxido de carbono los estomas deben permanecer abiertos por cierto tiempo (Nobel, 1991; Mansfield y Atkinson, 1990).

En la mayor parte de las plantas C_3 y C_4 , las células guarda de los estomas absorben potasio cuando existe suficiente luz en el ambiente, incrementan su concentración interna de 0.3 a 0.6 M (Nobel, 1991), con lo cual aumenta la presión osmótica interna y disminuye el potencial hídrico; en estas condiciones el agua entra espontáneamente a las células epidérmicas, provocando un incremento en la presión hidrostática interna de las células guarda y promoviendo la apertura del estoma (Nobel, 1991; Mansfield y Atkinson, 1990).

La conductancia estomática en la transferencia de CO_2 y vapor de agua entre la atmósfera y el mesófilo es importante en estudios de evaluación de producción de biomasa, pues a través de los estomas es por donde ingresa el carbono necesario para la síntesis de diversas moléculas orgánicas (Long y Hallgren, 1988; Nava y Larqué-Saavedra, 1990).

El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) también conocido como "alegría", es una especie de amplio potencial alimenticio, en cuanto a su semilla se refiere, la cual contiene hierro, calcio, carbohidratos, proteínas y lisina, en cantidades superiores al promedio de los cereales (Granados y López, 1990). La síntesis de estas moléculas depende en gran medida de una eficiente actividad fotosintética y ésta, a su vez, de factores como el funcionamiento del aparato estomático.

Al revisar la literatura sobre fertilización en *Amaranthus hypochondriacus* L. (Orea y Trinidad, 1984; Alejandre y Gómez, 1990; Trinidad *et al.*, 1990) se encontró que en la mayor parte de los estudios, sólo se ha experimentado con los nutrimentos nitrógeno (N) y fósforo (P) con el objetivo de incrementar la producción, y se ha dejado a un lado a otros elementos esenciales como el potasio.

En el presente trabajo se estudió el efecto de diferentes concentraciones de potasio en una solución nutritiva sobre la conductancia estomática y la clorofila total de las hojas de tres cultivares de amaranto. La hipótesis a probar fue que a mayor concentración de potasio en la solución nutritiva se produce un aumento en la conductancia estomática y en el contenido de clorofila de las hojas y con ello determinar el nivel de potasio que favorezca la productividad de este cultivar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo de marzo a noviembre de 1994, bajo un invernadero con cubierta plástica ubicado en Montecillo, Edo. de México.

Se sembraron semillas de *Amaranthus hypochondriacus* L. de los cultivares Azteca, Mercado y Nepal en macetas de plástico de 20 y 30 cm de diámetro inferior y

superior, respectivamente, y 35 cm de altura, las cuales contenían 4 kg de sustrato (arena de río lavada). Diariamente se evaluó gravimétricamente el contenido de agua en el sustrato para asegurar que éste tuviera no menos de 50 % de humedad aprovechable con base en 5.8 % de capacidad de campo y 3.1 % de punto de marchitez permanente en la arena (Hewitt, 1966). Cuando el contenido de humedad se abatía al nivel señalado, se regaba con la solución nutritiva de Hewitt (1966), preparada con agua destilada (pH 5.0 y conductividad eléctrica de $19 \mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C), cada una de las macetas, de acuerdo con el tratamiento correspondiente (siete en total).

Los tratamientos de concentración de potasio y de otros nutrimentos en la solución nutritiva utilizada se presentan en el Cuadro 1. Las sales utilizadas fueron: nitrato de potasio (KNO_3), sulfato de potasio (K_2SO_4), fosfato monobásico (KH_2PO_4), nitrato de calcio ($Ca(NO_3)_2$), cloruro de calcio ($CaCl_2$), fosfato monocálcico ($Ca(H_2PO_4)_2$), nitrato de magnesio ($Mg(NO_3)_2$), sulfato de magnesio ($MgSO_4$), nitrato de amonio (NH_4NO_3), cloruro de sodio ($NaCl$), ácido bórico (H_3BO_3), sulfato de zinc heptahidratado ($ZnSO_4\cdot 7H_2O$), ácido molíbdico ($H_2MoO_4\cdot H_2O$), cloruro de manganeso tetrahidratado ($MnCl_2\cdot 4H_2O$) y sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4\cdot 5H_2O$).

CUADRO 1. Concentración de los niveles de potasio y de otros elementos usados en la solución nutritiva^z, para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Contenido de elementos (meq·litro ⁻¹)							
	K	NO ₃	PO ₄	Ca	S ^y	Mg	Na	Cl
1	0	8	1	6		1.5	0.5	0.5
2	1	8	1	6		1.5	0.5	0.5
3	2	8	1	6		1.5	0.5	0.5
4	3	8	1	6		1.5	0.5	0.5
5	4	8	1	6		1.5	0.5	0.5
6	5	8	1	6		1.5	0.5	0.5
7	6	8	1	6		1.5	0.5	0.5

^z Solución nutritiva Hewitt ajustada por la Sección de Nutrición Vegetal de la Especialidad de Edafología, Colegio de Postgraduados.

^y La concentración de azufre (S) varió de 6.5 a 12.5 meq·litro⁻¹, debido a los reactivos utilizados.

Durante los primeros 15 días después de la siembra las macetas se regaron con la solución de Hewitt a 50 %; después de esta fecha se usó 100 %, de acuerdo con los diferentes tratamientos.

El ensayo se llevó a cabo con un diseño experimental de bloques al azar con siete tratamientos con cuatro repeticiones y ocho macetas por repetición.

Antes de la floración (104 días después de la siembra), se evaluó la conductancia estomática (C.e.) y la cantidad de clorofila en la planta únicamente en los tratamientos que recibieron 0, 5 y 6 meq·litro⁻¹ de K, puesto que fueron las que se hallaban en condiciones de ser evaluadas. Las determinaciones de C.e. se hicieron a las 8:30 y 14:00 h, por medio de un porómetro de difusión marca LICOR modelo Li-1600, en hojas completas y

maduras ubicadas en el tercio superior de la planta, según el método propuesto por Nava y Larqué (1990).

La estimación de clorofila total se cuantificó mediante un medidor de clorofila portátil marca MINOLTA mod. SPAD-502; se hicieron cuatro determinaciones independientes a lo largo de la hoja que previamente se utilizó para medir conductancia estomática.

El análisis de correlación entre variables, así como las diferencias entre los tratamientos evaluados se compararon por medio de una prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), con el programa estadístico SAS (Institute Inc., Cary, NC 27511, USA).

RESULTADOS

Cuando se determinó la conductancia de los estomas a las 8:30 h, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ni entre cultivares, los valores de C.e. se ubicaron entre 109.9 y 165.5 mmol·m⁻²·s⁻¹, con una temperatura ambiental de 21.8°C y 600 μmol·m⁻²·s⁻¹ de radiación fotosintéticamente activa (RFA).

Sin embargo, cuando se realizó el muestreo a las 14:00 h (Figura 1), se observó que el cultivar Azteca no presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los valores de C.e. de los tratamientos con 0 y 6 meq·litro⁻¹ de potasio; en tanto que en el cultivar Mercado a 0 y 5 meq·litro⁻¹ sus lecturas fueron de 78.0±8.9 y 76.6±14.6 mmol·m⁻²·s⁻¹ sin diferencias entre ellos; no obstante, con 6 meq·litro⁻¹ se registró un incremento significativo al presentar 97.3±11.4 mmol·m⁻²·s⁻¹. El cultivar Nepal no presentó incremento significativo en la C.e. con 6 meq·litro⁻¹ de potasio; se observó un valor de 110.7±2.4 en comparación con 103.7±13.9 mmol·m⁻²·s⁻¹ en ausencia de potasio. Todos estos valores se obtuvieron en una temperatura ambiental de 28.6 °C y 1200 μmol·m⁻²·s⁻¹ de RFA.

En cuanto al contenido de clorofila (Figura 2), éste se incrementó en los amarantos Mercado y Nepal conforme aumentó el potasio en sus sustratos, en tanto que el cultivar Azteca nuevamente no presentó diferencias significativas entre los tratamientos.

Con el fin de confirmar si existía una asociación entre las concentraciones de potasio empleadas con la C.e. y el contenido de clorofila (Figuras 1 y 2), se procedió a realizar un análisis de correlación entre las concentraciones de potasio y estas variables (Cuadro 2). De estos resultados se derivó que únicamente en el cultivar Mercado cuando se incrementa la concentración de potasio en el sustrato, aumenta la C.e. Solamente en los cultivares Mercado y Nepal hubo asociación entre la concentración de potasio en el sustrato y su contenido de clorofila.

Concentración de potasio (meq·litro⁻¹)

Figura 1. Efecto del potasio sobre la conductancia estomática (C.e.) de *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivares Azteca, Mercado y Nepal. Lecturas tomadas a las 14:00 h. Cada punto representa la media de la clorofila de cuatro hojas ± error estándar.

Concentración de potasio (meq·litro⁻¹)

Figura 2. Concentración de clorofila en *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivares Azteca, Mercado y Nepal, cultivados en tres concentraciones de potasio. Cada punto representa la media de la clorofila de cuatro hojas ± error estándar.

CUADRO 2. Coeficientes de correlación (r) entre concentración de potasio, conductancia estomática y contenido de clorofila en los distintos cultivares de amaranto.

	'Azteca'	'Mercado'	'Nepal'
Potasio-conductancia estomática	-0.47	0.58	0.12
Potasio-clorofila	-0.87	0.95	0.99

DISCUSIÓN

El potasio es esencial en la fisiología de la planta, ya que es responsable de mantener el potencial osmótico en las células (Clarkson y Hanson, 1980; Syed, 1994; Taiz y Zeiger, 1991). En el caso de la apertura y cierre de los estomas, el potasio es transportado a través de las membranas de las células guarda, abriéndose cuando aumenta su concentración al doble (Nobel, 1991), lo cual indica que es indispensable la existencia de éste para un adecuado control de la apertura y cierre del aparato estomático en el cultivar Mercado. En el caso de los cultivares Azteca y Nepal, el no haber encontrado una correlación entre la concentración de potasio y la conductancia estomática, pudiera estar indicando que las hojas de estos cultivares lograron acumular suficiente potasio hasta antes de que se suspendiese el aporte de éste en la solución de Hewitt, y esa cantidad de potasio es suficiente para un adecuado balance en la apertura y cierre de los estomas (Mansfield y Atkinson, 1990), o bien podría tratarse de cultivares que requieren poco potasio y lo poco que aportó la arena de K₂O fue suficiente (Nobel, 1991; Taiz y Zeiger, 1991).

En cuanto al contenido de clorofila (Figura 2), los resultados de correlación pudieran estar indicando que en los cultivares Mercado y Nepal conforme se incrementó la concentración de potasio también aumentaron los niveles de clorofila en sus hojas, en tanto que el cultivar Azteca no es sensible en sus niveles de clorofila ante las oscilaciones de potasio en la solución de Hewitt. Clarkson y Hanson (1980) y Taiz y Zeiger (1991) mencionaron que en varios cultivos, la falta de disponibilidad de potasio en el sustrato produce clorosis marginal de las hojas y posteriormente necrosis en las mismas; por lo que cabe la posibilidad que los amarantos 'Mercado' y 'Nepal' fuesen sensibles a la falta de una fuente de potasio durante todo su ciclo de vida.

Sin embargo, parte de esta respuesta también pudiera ser el reflejo de la gran variabilidad genética que presenta el género *Amaranthus* (Márquez, 1990).

Los estudios fisiológicos de los amarantos mexicanos son escasos ya que no se les ha dado la importancia que merecen e investigaciones como la presente es importante que se realicen sobre todo en el área de nutrición, fotosíntesis y relaciones hídricas, si en verdad se desea incrementar la producción de semilla o de forraje en este cultivo.

LITERATURA CITADA

- ALEJANDRE, I. G.; GÓMEZ, L.F. 1990. Ensayo sobre fertilización y densidad de población en amaranto *Amaranthus hypochondriacus* L., pp. 125-141. *In: El Amaranto Amaranthus spp.* A. Trinidad S.; F. Gómez L.; R.G. Suárez. (eds.). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 31(1): 239-298.
- GRANADOS S., D.; LÓPEZ R., G.F. 1990. Chinampas: historia y etnobotánica de la "alegría" (*Amaranthus hypochondriacus* L.), domesticación de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y romerillo (*Suaeda diffusa* Wats.), pp. 23-56. *In: El Amaranto Amaranthus spp.* A. Trinidad S.; F. Gómez L.; R.G. Suárez (eds.). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- HEWITT, E.J. 1966. Sand and Water Culture Methods Used in the Study of Plant Nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux. The Eastern Press Ltd. Reading, London, U.K. 150 p.
- LONG, S.P.; HALLEGREN, J.E. 1988. Medición de la asimilación de CO₂ por las plantas en el campo y el laboratorio, pp. 52-78. *In: Técnicas de Fotosíntesis y Bioproduktividad.* J. Coombs, D.O.; Hall, S.P.; Long; J.O.M. Scurlock (eds.). Ed. Futura, D.F., México.
- MANSFIELD, T.A.; ATKINSON, C.J. 1990. Stomatal behavior in water stressed plants, pp. 241-264. *In: Stress Responses in Plants Adaptation and Acclimation Mechanisms.* R.G. Alscher; J.R. Cumming (eds.). Plant Biology, Volume 12. Wiley Liss. New York, USA.
- MÁRQUEZ S., F. 1990. Generalidades sobre el establecimiento de un programa inmediato de mejoramiento genético en amaranto, pp. 217-225. *In: El Amaranto Amaranthus spp.* A. Trinidad S.; F. Gómez L.; Suárez R.G. (eds.). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- NAVA S., T.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A. 1990. Fotosíntesis y transpiración de *Solanum cardiophyllum* Lindl. y *S. tuberosum* L. *Agrociencia, Serie Fitociencia* 1(1): 27-50.
- NOBEL, P.S. 1991. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Academic Press, Inc. California, USA. 635 p.
- OREA L., J.; TRINIDAD S., A. 1984. Respuesta de dos genotipos de *Amaranthus hypochondriacus* L. (verde y roja) a diferentes dosis de N y P en la producción de proteína. Primer Seminario Nacional del Amaranto. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 179-185.
- SYED, M.A. 1994. Nutrient uptake by plants under stress conditions, pp. 227-246. *In: Handbook of Plant and Crop Stress.* M. Pessarakli (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California, USA. 559 p.
- TRINIDAD S., A.; MEDINA A, D.E.K.; VERA, M.F. 1990. Utilización de fertilización en el cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*), pp. 110-117. *In: El Amaranto Amaranthus spp.* A. Trinidad S.; F. Gómez L.; Suárez R.G. (eds.). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.