

EFECTOS DEL ESTRÉS HÍDRICO EN LA ASIMILACIÓN DEL NITRÓGENO EN PLANTAS DE TOMATE CV INCA 9-1

Inés M. Reynaldo[✉], Ivette Pérez, E. Jerez y J. M. Dell'Amico

ABSTRACT. The objective of this investigation was to compare the effects caused by drought and flooding on leaf assimilation of nitrogen in tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) INCA cv 9-1. The experiments were carried out under semicontrolled conditions and when the plants were in the flowering stage, three treatments were applied for 72 hours: normal irrigation (control), nonirrigation (drought) and water supply up to 1 cm over soil surface (flooding). Nitrate ion, amino acid and protein levels as well as the activity of glutamate dehydrogenase, glutamine synthetase and glutamate synthase enzyme and leaf water potential were determined. Humidity stress treatments increased amino acid content and enzyme activity; meanwhile drought diminished nitrate and protein levels, flooding increased them. Water potential diminished with treatment application. Changes caused by drought were more severe than those of flooding.

Key words: nitrogen, drought stress, flooding, tomato

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue comparar los efectos que provocan el déficit hídrico y la inundación sobre la asimilación foliar del nitrógeno en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv INCA 9-1. Los experimentos se realizaron en condiciones semicontroladas y cuando las plantas se encontraban en la etapa de floración se les aplicaron tres tratamientos por un período de 72 horas: riego normal (control), suspensión del riego (déficit hídrico) y suministro de agua hasta 1 cm por encima de la superficie del suelo (inundación). Se determinaron los niveles de iones nitratos, aminoácidos y proteínas así como la actividad de las enzimas glutamato deshidrogenasa, glutamina sintetasa y glutamato sintasa, y el potencial hídrico foliar. Los tratamientos de estrés de humedad produjeron un incremento en el contenido de aminoácidos y en la actividad de las enzimas; mientras el déficit hídrico disminuyó los niveles de nitratos y proteínas, la inundación los incrementó. El potencial hídrico disminuyó con la aplicación de los tratamientos. Los cambios producidos por el déficit hídrico resultaron más severos que los de la inundación.

Palabras clave: nitrógeno, estrés de sequía, inundación, tomate

INTRODUCCIÓN

El agua es suministrada a los cultivos por la lluvia o el riego; la primera es a veces muy errática y escasea cuando se necesita (déficit hídrico) o se presenta con demasiada intensidad, lo que provoca la inundación de algunos suelos. Tanto el déficit hídrico como la inundación están dentro de los fenómenos ambientales que más limitan la productividad agrícola, porque afectan grandemente todos los aspectos relacionados con el crecimiento y desarrollo de las plantas, pues alteran importantes procesos fisiológicos y rutas metabólicas, entre las que se encuentran la absorción (1), el metabolismo del nitrógeno (2) y el oxidativo (3,4).

Los nutrientes inorgánicos son generalmente absorbidos por el suelo a través de la raíz y posteriormente incorporados a compuestos orgánicos que son esencia-

les para las plantas; esta incorporación se denomina asimilación de nutrientes.

La asimilación del nitrógeno requiere el 25 % de la energía acumulada en las raíces y las hojas, para convertir compuestos inorgánicos de baja energía (NO_3^-) en compuestos orgánicos de alta energía, tales como los aminoácidos y las proteínas (5).

Teniendo en cuenta que el tomate está considerado una especie vegetal sensible a la humedad del suelo y que el nitrógeno es un elemento esencial para el desarrollo (6,7), este trabajo tuvo como objetivo conocer las afectaciones que produce en el metabolismo este elemento, cuando las plantas son sometidas a condiciones de estrés hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó con plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv INCA 9-1. Las plantas crecieron en un ambiente semicontrolado en recipientes de 5 L de capacidad con un suelo Ferralítico Rojo, al que se le aplicó una dosis de $120 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N y en la etapa de floración se le aplicaron durante 72 horas tres tratamientos consistentes en:

Dr.c. Inés M. Reynaldo y Dr.C. J. M. Dell'Amico, Investigadores Titulares; Ivette Pérez, Investigadora y Dr.C. E. Jerez, Investigador Auxiliar del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700.

✉ ines@inca.edu.cu

1. suspensión del agua de riego y cubierta con plástico transparente (déficit hídrico)
2. sellado de los orificios del drenaje de los recipientes y añadir agua hasta alcanzar 1 cm por encima de la superficie del suelo (inundación)
3. riego en días alternos (control).

Los efectos de los tratamientos se evaluaron mediante el análisis foliar de los niveles de nitratos totales (8), aminoácidos totales (9), proteínas totales (10) y actividad de las enzimas glutamato sintasa (GOGAT) (EC 1.4.1.14), glutamina sintetasa (GS) (EC 6.3.1.2) y glutamato deshidrogenasa (GDH) (EC 1.4.1.4) (11) y el potencial hídrico mediante una cámara de presión tipo Schölander.

Los tratamientos se distribuyeron siguiendo un diseño completamente aleatorizado. Los muestreos se llevaron a cabo tomando la segunda y tercera hojas del ápice hacia la base del tallo, y para las evaluaciones se utilizaron tres muestras compuestas por tres plantas cada una y los análisis se realizaron por triplicado. Los resultados se expresan como el porcentaje de las variaciones de las plantas sometidas a la inundación y la sequía con respecto a las controles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El déficit hídrico provocó una disminución en los niveles de nitrato foliar (Figura 1).

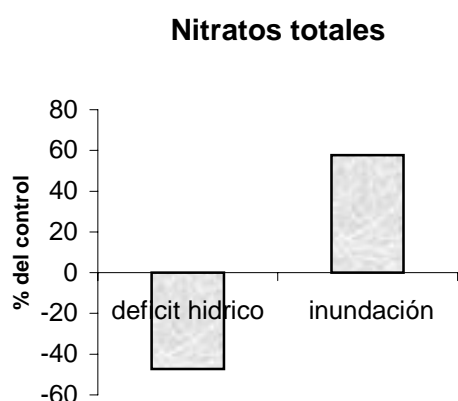


Figura 1. Variación de los niveles de nitratos en plantas sometidas a déficit hídrico e inundación

Esto puede ser consecuencia de dos factores: primero, a una disminución en la absorción, ya que los nutrientes dentro del suelo se mueven a la superficie de la raíz por flujo de masa o por difusión. En el flujo de masa, los nutrientes son llevados por el movimiento del agua a través del suelo hacia la raíz. La cantidad de nutrientes que llega a la raíz por flujo de masa depende de la velocidad del flujo de agua a través del suelo hacia la planta, el cual depende a su vez de la velocidad de transpiración y de los niveles de nutrientes en la solución del suelo (12), y en consecuencia cuando un suelo se seca, la resistencia al flujo del agua incrementa. Y, segundo, a un aumento en la actividad de reducción ejerci-

da sobre el ión; lo último en este caso no es posible, porque en esas plantas se produjo una disminución del 50 % en la actividad de la enzima nitrato reductasa (datos no publicados), encargada de reducir el nitrato a nitrito, el cual una vez reducido a amonio pasa al proceso de asimilación del nitrógeno.

Sin embargo, el aumento de los iones nitratos en las hojas de las plantas inundadas, sí debe ser consecuencia de la actividad de la enzima NR, ya que con anterioridad (13, 14) ha sido planteado que la inundación provoca disminución en la actividad de dicha enzima en diferentes cultivos.

Los niveles de aminoácido foliar aumentaron con la aplicación de los tratamientos de estrés (Figura 2). No obstante, el incremento encontrado en las plantas sometidas al déficit hídrico fue alrededor del 70 % superior a las plantas inundadas. Este comportamiento parece estar potenciado en primer término por la degradación que se produjo en las proteínas, evidenciado por la disminución ocurrida en sus niveles y, en segundo, a un posible aumento en su biosíntesis, al igual que ocurrió en las plantas inundadas. El aumento en la biosíntesis de algunos aminoácidos ha sido planteado por diferentes autores, como una respuesta de las plantas ante condiciones de estrés medioambiental (15, 16).

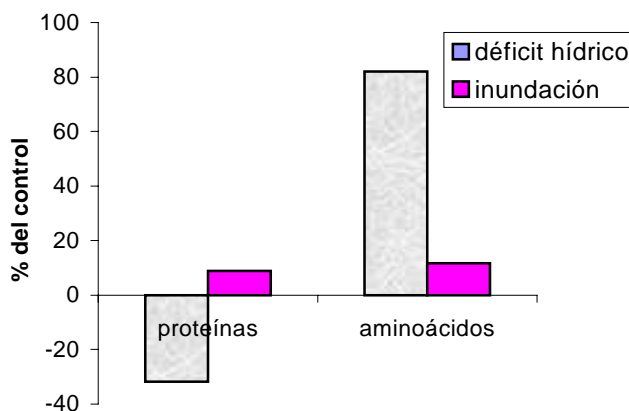


Figura 2. Variación de los niveles de proteínas y aminoácidos en plantas sometidas a déficit hídrico e inundación

Los resultados encontrados son coincidentes con los autores que plantean que entre los cambios más característicos en las plantas sometidas a estrés medioambiental se encuentra el incremento de las reacciones degradativas en relación con las sintéticas. No obstante, el leve incremento de las proteínas detectado en las plantas inundadas pudo estar provocado por el hecho de que cuando las raíces están en anoxia, la síntesis de proteínas cesa excepto para una continua producción de polipéptidos denominados **proteínas de estrés anaeróbico**, que son enzimas entre las que se encuentran la alcohol deshidrogenasa y sacarosa sintasa, que se relacionan con la sensibilidad de las plantas a la anoxia (17).

La actividad de las enzimas GDH, GOGAT, GS disminuyó tanto con la sequía como con la inundación (Figura 3), lo que se corresponde con la disminución y el bajo incremento en las proteínas detectado como consecuencia de los tratamientos de estrés, ya que estas enzimas son las encargadas de incorporar el NH_3 a los compuestos carbonados para formar los compuestos orgánicos nitrogenados, como se expresó anteriormente. En la figura se aprecia que la sequía tuvo un mayor impacto que la inundación sobre las enzimas asimiladoras del nitrógeno.

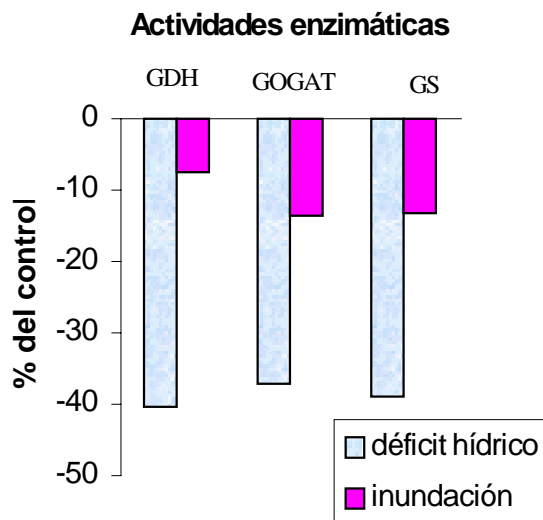


Figura 3. Variación de la actividad de las enzimas GDH, GOGAT y GS en plantas sometidas a déficit hídrico e inundación

Es conocido que las condiciones de energía limitada inhiben la actividad de las enzimas asimiladoras del nitrógeno.

Los resultados de la medición del potencial hídrico foliar evidenciaron que las plantas controles tenían un estado hídrico mejor que las de los otros dos tratamientos, dado por la disminución del valor encontrado en estas últimas, el cual varió de -0.4 Mpa a -0.9 y -0.78 en las plantas sometidas al déficit hídrico y la inundación respectivamente. Estos datos reflejan que las plantas sometidas al tratamiento de déficit hídrico están menos abastecidas de agua que las procedentes de la inundación, lo que se corresponde con la mayor severidad en los cambios encontrados en los indicadores del metabolismo del nitrógeno evaluados.

Los resultados parecen indicar que en períodos cortos, el proceso de absorción de agua cuando hay escasez es más lento que cuando hay problemas de aireación del suelo, lo que pudiera explicarse por el hecho de que a medida que un suelo se seca y su potencial hídrico va tomando valores cada vez más negativos, las plantas han de disminuir su potencial hídrico, con el fin de mantener el gradiente de potencial necesario para la absorción del agua. Por otro lado, las raíces usualmente obtienen suficiente oxígeno para su respiración aeróbica directa-

mente del suelo, pero en los suelos inundados el agua llena los poros y bloquea su difusión, lo que provoca daños en el metabolismo de la raíz, originándole así una deficiencia de ATP para conducir procesos fisiológicos esenciales, como es la capacidad de las raíces para absorber activamente iones y mantener bajo el potencial hídrico, que es necesario para incorporar agua del suelo (18), lo que posiblemente alarga el período de tiempo de aparición de los efectos de la inundación.

Los resultados encontrados permiten plantear que existe bastante semejanza en el comportamiento de los indicadores, aunque hay diferencia en la magnitud de las variaciones, durante la asimilación del nitrógeno en plantas jóvenes de tomate cuando se someten a déficit hídrico e inundación por períodos cortos, lo que se resume en la Figura 4.



Figura 4. Esquema de los cambios producidos en hojas de plantas de tomate sometidas a 72 horas de déficit hídrico e inundación. (Las flechas indican el sentido y la magnitud de los cambios)

Esta semejanza puede ser consecuencia de que en la mayor parte de las plantas terrestres, el exceso de agua producido por inundación o encharcamiento puede resultar tan desfavorable como un déficit hídrico. Esto se debe a que la difusión de los gases a través de las disoluciones acuosas es unas 10^4 veces menor que en el aire (5), por lo que cuando las plantas se encuentran en suelos inundados se originan condiciones anaeróbicas en sus raíces. Los productos finales de este proceso, así como la presencia de iones tóxicos (19), especies reactivas del oxígeno, tienden a lesionar las células radicales y a aumentar su resistencia hidráulica. Estos factores, a su vez, contribuyen a condicionar el gradiente de potencial hídrico, necesario para mover el agua a través de la planta a una velocidad suficiente para satisfacer las pérdidas transpiratorias, lo que conlleva a provocar fenómenos de déficit hídrico en las partes aéreas.

En resumen, las respuestas generales al estrés pueden deberse a la presencia de mecanismos comunes de transmisión de la señal producida por los estímulos ambientales.

REFERENCIAS

- Clarkson, D. T. y Lüttge, U. Mineral nutrition: inducible and repressible nutrient transport systems. *Progress in Botany*, 1991, vol. 52, p. 61-83.
- Reynaldo, I. M. /et al./ Impacto de la sequía en el metabolismo del nitrógeno de plantas de tomate. Cátedra de Medio Ambiente Volumen 0, V Taller p. 110-113, 1999.
- Schwartz, P. K.; Harbele, H. y Polle, A. Interactive effects of elevated CO₂, ozone and drought stress on the activities of antioxidative enzymes in needles of Norway spruces trees grown with luxurives N-supply. *J. Plant Physiol.*, 1996, vol. 148, p. 351-355.
- Guan, L. M.; Zhao, J. y Sandalios, J. G. Cis-elements and trans factors that regulate expression of the maize Cat 1 antioxidant gene response to ABA and osmotic stress: H₂O₂ is the likely intermediary signaling molecule for the response. *The Plant Journal*, 2000, vol. 22, no. 2, p. 87-95.
- Taiz, L. y Zeiger, E. *Plant Physiology*. 2^a. ed. Massachusetts: Sinauer Associates. D., 1998.
- Dell'Amico, J. M. /et al./ Efecto de la deficiencia de oxígeno sobre el desarrollo y las relaciones hídricas de cuatro variedades de tomate. Actas de Horticultura. En: Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. (8:1999:La Habana), 1999.
- Bloom, A. J. Nitrogen as a limiting factor: Crop acquisition of ammonium and nitrate. En: Ecology in Agriculture, San Diego: Academic Press, 1997, p. 145-172.
- Cataldo, M. /et al./ Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communication Soil Sciences and Plant Analysis*, 1975, vol. 72, p. 248-53.
- Echevarría, I.; Reynaldo, I. M. y Mainardi, S. Algunos aspectos del metabolismo nitrogenado en semillas de arroz germinado en dos concentraciones de NaCl. I. Variedad Amistad'82. *Cultivos Tropicales*, 1995, vol. 16, no. 1, p. 43-45.
- Lowry, J. /et al./ Protein measurement by Folin reagent. *J. Biol. Chem.*, 1951, vol. 193, p. 265-76.
- Loyola-Vargas, V. M. y Sánchez, Jiménez, E. de. Differential role of glutamate dehydrogenase in nitrogen metabolism of maize tissues. *Plant Physiol.*, 1984, vol. 76, p. 536-540.
- Steudle, E. y Peterson, C. A. How does water get through roots?. *J. Exp. Bot.*, 1998, vol. 49, p. 775-788.
- Dell'Amico, J. M. /et al./ Efecto de la deficiencia de O₂ sobre el desarrollo y las relaciones hídricas de cuatro variedades de tomate. *Actas de Horticultura*, 1999, vol. 24, p. 117-122.
- Pérez, I.; Dell'Amico, J. M.; Rodríguez, P.; Echevarría, I.; Camejo, D. y Reynaldo, I. Alteraciones fisiológicas y bioquímicas de dos cultivares de tomate ante condiciones de inundación. *Cultivos Tropicales*, 1997, vol. 18, no. 3, p. 30-35.
- Manur, C. J. /et al./ Free amino acids in leaves of cotton plants under water deficit. *R. Bras. Fisiol. Veg.*, 1994, vol. 6, p. 103-106.
- Yoshida, Y. /et al./ Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. *Plant Cell Physiol.*, 1997, vol. 38, p. 1095-1102.
- Sachs, M. M. /et al./ Anaerobic gene expression and flooding tolerance in maize. *J. Exp. Bot.*, 1996, vol. 47, p. 1-15.
- Drew, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism. Injury and acclimation under hypoxia and anoxia. *Annu Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol.*, 1997, vol. 48, p. 223-250.
- Foyer, C. H. /et al./ Hydrogen peroxide and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. *Physiol Plant*, 1997, vol. 100, p. 241-254.

Recibido: 11 de octubre del 2001

Aceptado: 6 de diciembre del 2001

Cursos de Verano

Precio: 200 USD

Biología de la productividad de las plantas en condiciones de estrés abiótico

Coordinador: Dra.C. Inés Reynaldo Escobar

Duración: 30 horas

Fecha: 23 al 27 de agosto



SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
 Dirección de Educación, Servicios Informativos
 y Relaciones Públicas
 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
 Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
 La Habana, Cuba. CP 32700
 Telef: (53) (64) 6-3773
 Fax: (53) (64) 6-3867
 E.m ail: posgrado@inca.edu.cu