

LA APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GLUTÁMICO MEJORA EL RENDIMIENTO Y ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Miguel Ángel Ramírez-Cruz, Angélica Bautista-Cruz, Aurelio Báez-Pérez, Teodulfo Aquino-Bolaños, Isidro Morales y Edgar García-Sánchez

RESUMEN

La información sobre la aplicación individual de aminoácidos en el crecimiento y fisiología vegetal es relativamente escasa, debido a que la mayoría de las investigaciones se han llevado a cabo aplicando combinaciones de aminoácidos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ácido glutámico aplicado vía foliar en algunas variables de crecimiento y fisiológicas, calidad física y química de fruto, además del rendimiento en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en invernadero. Se empleó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos, cuatro repeticiones por tratamiento y cuatro plantas por repetición. Los tratamien-

tos fueron 0,0 (testigo); 1,5; 6,0 y 12,0g·l⁻¹ de ácido glutámico. Con relación al testigo, los valores SPAD 167 días después del trasplante incrementaron 8,9 y 6,0% con 6,0 y 12,0g·l⁻¹ de ácido glutámico, respectivamente. La concentración de 6,0g·l⁻¹ también incrementó 27,4% el rendimiento; 4,1% el diámetro ecuatorial del fruto; 10,3% el peso fresco del fruto y 16,9% la materia seca del fruto. El pH del fruto aumentó 5,3% con 1,5g·l⁻¹ de ácido glutámico. La aplicación foliar exógena de ácido glutámico favoreció los valores SPAD, el rendimiento y algunos parámetros de la calidad física y química del fruto de tomate.

Introducción

Los aminoácidos son moléculas orgánicas pequeñas que contienen un grupo carboxilo (COOH) y un grupo amino (NH₂). El grupo carboxilo es ácido débil, mientras que el grupo amino es básico débil. Todas las proteínas se construyen a partir de 20 aminoácidos, aunque se conocen muchos más aminoácidos; solamente los α-aminoácidos forman parte de las proteínas (Liu *et al.*, 2008). Los aminoácidos también intervienen en la síntesis de aminas, alcaloides, vitaminas, enzimas y terpenoides (Ibrahim *et al.*, 2010). Participan en funciones metabólicas y de transporte en

las plantas, mejoran los procesos de respiración y fotosíntesis, promueven el crecimiento vegetal y el rendimiento (Mohammadipour y Souri, 2019a). La aplicación directa de aminoácidos podría regular la absorción y asimilación de nitrógeno (N) por la planta (Souri, 2016). Las plantas asimilan N inorgánico (principalmente como NH₄⁺ y NO₃⁻) y N orgánico proveniente de los aminoácidos, péptidos y proteínas (Guo *et al.*, 2020). Por ello, las plantas pueden absorber aminoácidos exógenos, como el ácido glutámico, a través de sus raíces y hojas, incorporándolos a su metabolismo (Arjona *et al.*, 2004). Aunque el ácido

glutámico no es un nutrimento, en su estructura posee elementos esenciales como el N, por lo que puede ser una fuente de reserva de N (Teixeira *et al.*, 2017). Este aminoácido es precursor de otros aminoácidos tales como el ácido aspártico, serina, alanina, lisina y prolina, entre otros (Alfosea-Simón *et al.*, 2021).

La glicina y el ácido glutámico son los principales sustratos para la formación de tejido y síntesis de clorofila (Kan *et al.*, 2017), lo cual incrementa la cantidad de azúcares formados durante la fotosíntesis (Takeuchi *et al.*, 2008). El ácido glutámico también contribuye a la polinización, ya que estimula la

germinación de los granos de polen y activa el crecimiento del tubo polínico (Cao *et al.*, 2010a).

Recientemente, las prácticas de manejo que incluyen la aplicación exógena de algunos bioestimulantes como aminoácidos (Mohammadipour y Souri, 2019b; Souri y Hatamian, 2019) u otros compuestos orgánicos (Souri y Bakhtiarizade, 2019) han mostrado estimular el crecimiento vegetal, facilitar la asimilación, la translocación y el uso de nutrimentos, lo que favorece el rendimiento (Rouphael *et al.*, 2018).

El contenido de azúcar y la acidez del fruto de tomate determina la calidad de su sabor.

PALABRAS CLAVE / Aminoácido Exógeno / Rendimiento / Tomate / Valores SPAD /

Recibido: 08/06/2021. Modificado: 02/02/2022. Aceptado: 04/02/2022.

Miguel Ángel Ramírez-Cruz. Ingeniero en Agronomía. M.C. en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, México.

Angélica Bautista-Cruz (Autora de correspondencia). Doctora en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma Metropolitana,

México. Profesora-Investigadora. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, México. Dirección: Hornos 1003, Xoxocotlán, Oaxaca, México. 71230. e-mail: mbautistac@ipn.mx

Aurelio Báez-Pérez. Doctor en Edafología, Colegio de Posgraduados, México. Investigador, INIFAP, Campo Experimental Bajío, México.

Teodulfo Aquino-Bolaños. Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba. Profesor-Investigador. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, México.

Isidro Morales. Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad de Almería, España. Profesor-Investigador. Instituto

Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, México.

Edgar García-Sánchez. Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Profesor-Investigador. CONACYT-Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, México.

FOLIAR APPLICATION OF GLUTAMIC ACID IMPROVES YIELD AND PHYSICOCHEMICAL QUALITY PARAMETERS OF TOMATO FRUITS (*Solanum lycopersicum* L.)

Miguel Ángel Ramírez-Cruz, Angélica Bautista-Cruz, Aurelio Báez-Pérez, Teodulfo Aquino-Bolaños, Isidro Morales and Edgar García-Sánchez

SUMMARY

Information on the application of single amino acids for plant growth and physiology is relatively scarce since most studies have only been concerned with mixtures of amino acids. The objective of this study was to evaluate the effect of glutamic acid applied to foliage on certain growth and physiological variables, physicochemical quality parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit, and plant yield under greenhouse conditions. Treatments comprised 0.0 (control), 1.5, 6.0, and 12.0g·l⁻¹ glutamic acid and were conducted in a completely randomized design, including four treatments, four

replications per treatment, and four plants per replication. Compared to the control plants, 167 days after transplant, SPAD values in tomato plants increased by 8.9 and 6.0% after applying 6.0 and 12.0g·l⁻¹ glutamic acid, respectively. Spraying 6.0g·l⁻¹ also increased plant yield 27.4%, equatorial fruit diameter 4.1%, fruit fresh weight 10.3%, and fruit dry matter 16.9%. Fruit pH increased 5.3% after using 1.5g·l⁻¹ glutamic acid. Exogenous foliar application of glutamic acid favored the SPAD values, yield, and some physicochemical quality parameters of tomato fruits.

A APLICAÇÃO FOLIAR DE ÁCIDO GLUTÂMICO MELHORA O RENDIMENTO E ALGUNS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA QUALIDADE DO FRUTO DO TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Miguel Ángel Ramírez-Cruz, Angélica Bautista-Cruz, Aurelio Báez-Pérez, Teodulfo Aquino-Bolaños, Isidro Morales e Edgar García-Sánchez

RESUMO

As informações sobre a aplicação individual de aminoácidos no crescimento e na fisiologia das plantas são relativamente escassas, tendo em vista que a maioria das pesquisas foi realizada utilizando combinações de aminoácidos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do ácido glutâmico aplicado por via foliar sobre algumas variáveis de crescimento e fisiológicas, qualidade física e química do fruto, além do rendimento de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) cultivados em uma estufa. Foi utilizado um design totalmente aleatório com quatro tratamentos, quatro repetições por tratamento e quatro plantas por re-

petição. Os tratamentos foram 0,0 (controle), 1,5, 6,0 e 12,0 g·l⁻¹ ácido glutâmico. Em relação ao controle, os valores SPAD 167 dias após o transplante aumentaram 8,9 e 6,0% com a aplicação respectiva de 6,0 e 12,0g·l⁻¹ ácido glutâmico. A concentração de 6,0 g·l⁻¹ também aumentou o rendimento em 27,4%, o diâmetro equatorial do fruto em 4,1%, a massa fresca do fruto em 10,3% e a matéria seca do fruto em 16,9%. O pH do fruto aumentou em 5,3% com 1,5g·l⁻¹ ácido glutâmico. A aplicação foliar exógena de ácido glutâmico favoreceu os valores SPAD, o rendimento e alguns parâmetros da qualidade física e química do tomate.

Un alto contenido de azúcar (sólidos solubles) y acidez titulable proporcionan un buen sabor al fruto (Kader, 2008). Los atributos de calidad de fruto como color, contenido de sólidos solubles totales, índice de acidez, pH y firmeza son afectados por variaciones genotípicas, pero condiciones de crecimiento, irradiación, temporada de cultivo, nutrición, riego, temperatura, enfermedades y condiciones postcosecha son críticos para la calidad (Turhan y Şeniz, 2009). El incremento en la calidad química del fruto asociada a la aplicación exógena de aminoácidos se ha reportado previamente en manzana (*Malus domestica* Borkh; Arabloo *et al.*, 2017;

Ilie *et al.*, 2017) y pera (*Pyrus communis* L.; Fayek *et al.*, 2011).

Boras *et al.* (2011) indicaron que la aplicación de aminoácidos en plantas de tomate aumentó significativamente el crecimiento y la producción en comparación con el testigo. En general, la información sobre el efecto positivo de la aplicación individual de aminoácidos en el crecimiento y fisiología vegetal es relativamente escasa, debido a que la mayoría de las investigaciones se han llevado a cabo aplicando una combinación de aminoácidos (Khan *et al.*, 2019). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ácido glutâmico aplicado por vía foliar en algunas

variables de crecimiento y fisiológicas, calidad física y química de fruto, además del rendimiento en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en invernadero.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó de agosto 2018 a abril 2019 en un invernadero con cubierta de polietileno de 200µm y malla antiáfidos, ubicado en San Pedro Ixtlahuaca (17°03'N, 96°40'O, 1640msnm), en la región de Valles Centrales del estado de Oaxaca, México (INAFED, 2019).

Se utilizaron semillas del híbrido de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de

crecimiento indeterminado tipo saladette (Ramses F1; Harris Moran®). La germinación de semillas se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades, se usó una mezcla de tierra de monte y agrolita en proporción 2:1 (v/v) esterilizados previamente en autoclave a 121°C durante 90min. Después de la siembra, las charolas se cubrieron con un plástico negro durante cuatro días para mantener la humedad, incrementar la temperatura y estimular la germinación. Cuando las plántulas tenían dos hojas verdaderas se inició la aplicación de solución nutritiva de acuerdo a Steiner (1984) al 15% dos veces al día hasta que tuvieron una altura de ~15cm

para realizar el trasplante. Los sustratos utilizados en invernadero fueron agrolita y vermiculita en proporción 1:1 (v/v) en bolsas de polietileno con capacidad de 16 litros.

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos, cuatro repeticiones por tratamiento y cuatro plantas por repetición. La unidad experimental fue una planta por maceta. Los tratamientos incluyeron tres concentraciones de ácido glutámico (1,5, 6,0, y 12,0g·l⁻¹) y un testigo, sin ácido glutámico. La fuente de ácido glutámico según el certificado de análisis otorgado por el proveedor (Future Foods, S.A. de C.V.), fue ácido L-glutámico (C₅H₉NO₄) con 99,6% de pureza. La aplicación de los tratamientos inició a los 31 días después del trasplante (DDT) y continuó cada 14 días por vía foliar, sin adherentes ni surfactantes. Debido a que los aminoácidos se comportan como agentes tensoactivos (Qiao *et al.*, 2012; Cerdán *et al.*, 2013; Tripathy *et al.*, 2018), no se incluyeron surfactantes adicionales en las soluciones foliares. Se realizaron en total siete aplicaciones de ácido glutámico. El riego fue por goteo con goteros tipo botón autocompensados de 8l/h y la fertirrigación se hizo de acuerdo con Steiner (1984). El pH de la solución nutritiva se ajustó a 5,5 con ácido nítrico al 55% de pureza (GreenHow®) y la conductividad eléctrica fue 2,6dS·m⁻¹. El agua de riego presentó pH 7,03 y conductividad eléctrica 0,58dS·m⁻¹; y la siguiente composición química: 2,16mg·l⁻¹ de P; 0,90mg·l⁻¹ de K; 44,36mg·l⁻¹ de Ca; 29,56mg·l⁻¹ de Mg; 82,66mg·l⁻¹ de SO₄; 33,15mg·l⁻¹ de NO₃ y 0,23mg·l⁻¹ de B. No se detectaron valores de Fe, Mn, Cu y Zn. Los macroelementos y su porcentaje de pureza en la solución nutritiva fueron: Ca (NO₃)₂ (99%), KNO₃ (99%), K₂SO₄ (97%), KH₂PO₄ (98%) y MgSO₄·7H₂O (98,80%) de las marcas YaraLiva® Calcinit®, NKS Greenhow®, Solukros®, MKS Greenhow® y Sulmag® Peñoles®, respectivamente. Se

utilizó la mezcla de microelementos (Agrimix-F Harvest More®) que contiene 10,0% de S; 4,0% de Mg; 2,0% de Zn; 0,50% de B; 3,0% de Fe; 1,0% de Cu; 3,0% de Mn y 0,01% de Mo.

Variables respuesta

La medición de las variables respuesta inició 10 días después de la quinta aplicación de ácido glutámico durante la etapa de fructificación y hasta el octavo racimo, de tal manera que las mediciones se hicieron a los 97, 111, 125, 139, 153 y 167 días después del trasplante (DDT), excepto para altura de planta (AP), actividad de glutamina sintetasa (aGS) y área foliar (AF), las cuáles se midieron solamente en determinados DDT.

La AP se midió desde el cuello hasta el meristemo apical de la planta a los 97, 111 y 125 DDT. El AF se determinó utilizando el software ImageJ a los 167 DDT. La aGS (EC 6,3,1,2) en hojas también se determinó a los 167 DDT; para ello se utilizó la metodología de análisis enzimático propuesta por Alcántar y Sandoval (1999): se maceraron 0,5g de material vegetal fresco y se añadieron 5ml de Tris-HCl 0,1M pH 7,8. Esta mezcla se filtró con tela de algodón y el filtrado se colectó en frascos de vidrio a 4°C. Posteriormente se agregaron en estricto orden, tanto a los tubos con muestra como a los tubos testigo: 0,2ml de L-glutamato 0,6M; 0,2ml de clorhidrato de hidroxilamina 0,045M y 0,2ml de sulfato de magnesio 0,45M. A los tubos con muestra únicamente se les agregó 0,2ml de trifosfato de adenosina 0,06M. Después se añadió 0,1ml de extracto vegetal a ambos tubos y finalmente 0,6ml de amortiguador Tris hidrocloreuro a los tubos con muestra y 0,8ml a los tubos testigo. Se colocaron en baño maría a 30°C durante 20min y la reacción química se detuvo con la mezcla de reactivos cloruro férrico + ácido tricloroacético + HCl. Los tubos se centrifugaron a 4800rpm durante 10min a temperatura

ambiente y después se leyó la absorbancia a 540nm para medir la cantidad de γ -glutamil hidroxamato formado.

La lectura de los valores SPAD (del inglés *Soil Plant Analysis Development*) se hizo utilizando el clorofilómetro AtLeaf®.

El muestreo de frutos se realizó de forma aleatoria; se utilizaron dos frutos por racimo en madurez comercial en cada evaluación después del trasplante. Los frutos pertenecieron al mismo número de racimo en cada medición. Se determinaron los siguientes parámetros: peso fresco del fruto (PFF) mediante una balanza electrónica Rhino®, diámetro polar (DPF) y ecuatorial (DEF) del fruto con un vernier digital Maxwell®. Para determinar la materia seca del fruto (MSF), primero se determinó el peso fresco de los frutos, luego se cortaron en rodajas y se colocaron en charolas de aluminio al interior del invernadero durante siete días para deshidrarlos parcialmente, posteriormente se colocaron en una estufa de secado marca Binder a 60°C hasta peso constante y por diferencia con el peso fresco se obtuvo el porcentaje de materia seca. El contenido de sólidos solubles totales en el fruto (SST) se cuantificó con un refractómetro portátil RHB-32 ATC®. El pH del fruto (pHF) se midió con un medidor portátil digital de pH Hanna® Instruments. El rendimiento del cultivo se determinó en kg·m⁻² a través del peso fresco de todos los frutos cosechados en cada evaluación después del trasplante.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante el método de Shapiro-Wilks y Levene, respectivamente. Posteriormente se realizó un análisis de varianzas y una prueba de comparación de medias por el método de Tukey (P≤0,05). Se utilizaron los paquetes estadísticos SAS 9,0 y SPSS Statistics 25.

Resultados

Los resultados revelaron que ciertos parámetros de la calidad física y química del fruto, los valores SPAD y el rendimiento de las plantas de tomate tuvieron una respuesta favorable a la aplicación foliar exógena de ácido glutámico. Con respecto a las plantas testigo, a los 97 DDT la aplicación de 1,5g·l⁻¹ de ácido glutámico incrementó 7,6% el DPF; 9,8% el SST y 1,5% el pHF (Tabla I). A los 111 DDT, el pHF incrementó 1,5% con 6,0g·l⁻¹ de ácido glutámico (Tabla II). A los 125 DDT, la aplicación de 1,5g·l⁻¹ de ácido glutámico incrementó 2,6% el pHF, 13,5% el R, 8,0% el PFF y 13,7% la MSF en todos los casos con respecto al testigo (Tabla III). Mientras que los valores SPAD en plantas de tomate incrementaron 6,1 y 4,8% con 1,5 y 6,0g·l⁻¹ de ácido glutámico (Tabla III).

A los 139 DDT, el pHF aumentó 3,5% con 12,0 g·l⁻¹ de ácido glutámico y el PFF incrementó 11,2% con 1,5g·l⁻¹ y 10,1% con 6,0g·l⁻¹ (Tabla IV). A los 153 DDT ninguna variable respuesta mostró cambios significativos a la aplicación de ácido glutámico (Tabla V).

A los 167 DDT, el DEF incrementó 4,1%, el R 27,4%, el PFF 10,3% y la MSF 16,9% con 6,0g·l⁻¹ de ácido glutámico. Así mismo, el pHF aumentó 5,3% con 1,5g·l⁻¹ de ácido glutámico (Tabla VI). Mientras que los valores SPAD incrementaron 8,9% con 6,0g·l⁻¹ y 6,0% con 12,0g·l⁻¹ (Tabla VI). En tanto que la aGS en las hojas de las plantas de tomate aumentó 85,4% con 1,5g·l⁻¹ de ácido glutámico (Tabla VI).

La aplicación foliar exógena de ácido glutámico no tuvo un efecto significativo en el crecimiento de las plantas de tomate.

Discusión

Los aminoácidos están involucrados en el metabolismo primario y secundario de las plantas y participan en una amplia gama de reacciones enzimáticas celulares, por lo

TABLA I
EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GLUTÁMICO EN ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL FRUTO, Y RENDIMIENTO EN PLANTAS DE *Solanum lycopersicum* L. CULTIVADAS EN INVERNADERO, 97 DDT

Variables respuesta	Concentración de ácido glutámico (g·l ⁻¹)			
	0,0 (Testigo)	1,5	6,0	12,0
AP (cm)	177,23 ±1,52 a	177,34 ±1,51 a	175,80 ±2,11 a	181,25 ±1,12 a
Valor SPAD	48,48 ±0,58 a	48,49 ±0,84 a	48,46 ±0,66 a	48,86 ±0,53 a
DEF (cm)	5,36 ±0,06 a	5,41 ±0,04 a	5,39 ±0,05 a	5,39 ±0,08 a
DPF (cm)	7,28 ±0,10 b	7,79 ±0,10 a	7,44 ±0,10 ab	7,45 ±0,09 b
MSF (%)	6,17 ±0,18 a	6,80 ±0,17 a	6,61 ±0,20 a	6,47 ±0,23 a
PFF (g)	115,75 ±2,64 a	121,31 ±2,51 a	117,94 ±2,94 a	116,38 ±3,70 a
pHF	4,58 ±0,01 bc	4,65 ±0,01 a	4,60 ±0,02 ab	4,53 ±0,02 c
SST (°Brix)	4,48 ±0,06 b	4,91 ±0,04 a	4,53 ±0,05 b	4,61 ±0,03 b
R (kg·m ⁻²)	1,29 ±0,10 a	1,59 ±0,13 a	1,42 ±0,12 a	1,42 ±0,10 a

DDT: días después del trasplante, AP: altura de planta, DEF: diámetro ecuatorial del fruto, DPF: diámetro polar del fruto, MSF: materia seca del fruto, PFF: peso fresco del fruto, pHF: pH del fruto, SST: contenido de sólidos solubles totales en el fruto, R: rendimiento. Letras minúsculas en cada fila indican el efecto del tratamiento de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0,05).

TABLA II
EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GLUTÁMICO EN ALGUNOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL FRUTO, Y RENDIMIENTO EN PLANTAS DE *Solanum lycopersicum* L. CULTIVADAS EN INVERNADERO, 111 DDT

Variables respuesta	Concentración de ácido glutámico (g·l ⁻¹)			
	0,0 (Testigo)	1,5	6,0	12,0
AP (cm)	192,79 ±2,08 a	192,22 ±2,19 a	191,57 ±3,16 a	199,53 ±1,34 a
Valor SPAD	47,96 ±0,86 a	49,33 ±0,62 a	47,62 ±0,90 a	49,20 ±0,98 a
DEF (cm)	5,54 ±0,03 a	5,50 ±0,04 a	5,47 ±0,04 a	5,40 ±0,07 a
DPF (cm)	7,04 ±0,06 a	7,14 ±0,10 a	7,11 ±0,08 a	7,05 ±0,09 a
MSF (%)	6,07 ±0,19 a	6,72 ±0,22 a	6,54 ±0,26 a	6,27 ±0,27 a
PFF (g)	116,38 ±1,91 a	120,56 ±2,50 a	118,13 ±2,73 a	117,56 ±3,03 a
pHF	4,08 ±0,01 b	4,06 ±0,01 b	4,20 ±0,01 a	4,08 ±0,02 b
SST (°Brix)	4,78 ±0,05 a	4,71 ±0,13 a	4,93 ±0,07 a	4,85 ±0,06 a
R (kg·m ⁻²)	2,01 ±0,11 a	2,08 ±0,15 a	2,07 ±0,14 a	1,92 ±0,14 a

DDT: días después del trasplante, AP: altura de planta, DEF: diámetro ecuatorial del fruto, DPF: diámetro polar del fruto, MSF: materia seca del fruto, PFF: peso fresco del fruto, pHF: pH del fruto, SST: contenido de sólidos solubles totales en el fruto, R: rendimiento. Letras minúsculas en cada fila indican el efecto del tratamiento de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0,05).

TABLA III
EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GLUTÁMICO EN ALGUNOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL FRUTO, Y RENDIMIENTO EN PLANTAS DE *Solanum lycopersicum* L. CULTIVADAS EN INVERNADERO, 125 DDT

Variables respuesta	Concentración de ácido glutámico (g·l ⁻¹)			
	0,0 (Testigo)	1,5	6,0	12,0
AP (cm)	204,66 ±2,86 a	203,74 ±2,96 a	203,65 ±4,38 a	214,27 ±1,80 a
Valor SPAD	48,88 ±0,41 b	51,87 ±0,60 a	51,25 ±0,62 a	50,80 ±0,42 ab
DEF (cm)	5,26 ±0,04 a	5,32 ±0,06 a	5,26 ±0,05 a	5,15 ±0,04 a
DPF (cm)	6,80 ±0,06 a	6,82 ±0,08 a	6,82 ±0,04 a	6,83 ±0,10 a
MSF (%)	6,31 ±0,23 b	7,18 ±0,17 a	6,75 ±0,20 ab	6,43±0,10 b
PFF (g)	107,38 ±0,75 b	116,06 ±1,95 a	111,25 ±2,10 ab	108,50 ±1,76 b
pHF	4,84 ±0,02 b	4,97 ±0,03 a	4,19 ±0,01 c	4,89 ±0,04 ab
SST (°Brix)	4,94 ±0,08 a	4,98 ±0,09 a	4,89 ±0,08 a	4,98 ±0,03 a
R (kg·m ⁻²)	2,60 ±0,07 b	2,96 ±0,09 a	2,83 ±0,10 ab	2,64 ±0,07 b

DDT: días después del trasplante, AP: altura de planta, DEF: diámetro ecuatorial del fruto, DPF: diámetro polar del fruto, MSF: materia seca del fruto, PFF: peso fresco del fruto, pHF: pH del fruto, SST: contenido de sólidos solubles totales en el fruto, R: rendimiento. Letras minúsculas en cada fila indican el efecto del tratamiento de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0,05).

que pueden influir diversos procesos fenológicos y fisiológicos (Teixeira *et al.*, 2017). Las plantas utilizan los aminoácidos de acuerdo con sus necesidades nutricionales y sus antecedentes genéticos, en sincronía con las señales ambientales y de crecimiento (Singh *et al.*, 2018). Esta puede ser la razón por la cual las variables de la calidad física y química del fruto, los valores SPAD y el rendimiento en plantas de tomate con diferente edad respondieron de manera distinta a la aplicación foliar exógena de ácido glutámico. La demanda de ácido glutámico está relacionada con la fenología de la planta. En las primeras etapas fenológicas existe una mayor demanda en las hojas jóvenes y meristemas apicales debido a la función de este aminoácido en la síntesis de clorofila, y posteriormente en el llenado de los frutos mediante la acumulación de compuestos nitrogenados como las proteínas, tiamina, riboflavina, niacina y vitamina B6 (Ho, 1996).

El ácido glutámico desempeña una función clave en la eficiencia del metabolismo del N. Es el primer compuesto producido durante la asimilación del N, formando glutamina y asparagina. En estas formas, el N es transportado a diferentes órganos de la planta y es utilizado en la síntesis de clorofila y aminoácidos (Forde y Lea, 2007).

Zhang *et al.* (2017a) reportaron que el metabolismo del C y del N de la planta se vio afectado por el ácido poli-γ-glutámico (una homo-poliámidas aniónica biosintética formada por unidades de ácido D/L-glutámico). Las plantas que recibieron ácido poli-γ-glutámico tuvieron un mayor contenido de azúcares solubles, un menor contenido de NO₃-N y de aminoácidos libres. Sin embargo, esos resultados difieren de los encontrados por Xu *et al.* (2014), quienes observaron que el contenido foliar de proteínas solubles y aminoácidos libres en plantas de col china (*Brassica campestris* spp. *pekinensis*) mejoraron significativamente con la aplicación

TABLA IV
EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GLUTÁMICO EN ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL FRUTO, Y RENDIMIENTO EN PLANTAS DE *Solanum lycopersicum* L. CULTIVADAS EN INVERNADERO, 139 DDT

Variables respuesta	Concentración de ácido glutámico (g·l ⁻¹)			
	0,0 (Testigo)	1,5	6,0	12,0
Valor SPAD	51,84 ±0,93 a	53,26 ±0,97 a	54,87 ±0,96 a	53,72 ±0,92 a
DEF (cm)	5,24 ±0,03 a	5,25 ±0,07 a	5,24 ±0,03 a	5,16 ±0,04 a
DPF (cm)	6,71 ±0,08 a	6,89 ±0,08 a	6,73 ±0,12 a	6,93 ±0,07 a
MSF (%)	6,13 ±0,14 a	6,56 ±0,19 a	6,28 ±0,19 a	6,69 ±0,18 a
PFF (g)	100,81 ±2,65 b	112,12 ±2,09 a	111,06 ±2,33 a	106,63 ±1,59 ab
pHF	4,80 ±0,03 b	4,95 ±0,07 ab	4,20 ±0,01 c	4,97±0,02 a
SST (°Brix)	4,94 ±0,02 a	5,03 ±0,09 a	4,89 ±0,05 a	4,94 ±0,05 a
R (kg·m ⁻²)	3,38 ±0,11 a	3,64 ±0,18 a	3,87 ±0,17 a	3,40 ±0,10 a

DDT: días después del trasplante, DEF: diámetro ecuatorial del fruto, DPF: diámetro polar del fruto, MSF: materia seca del fruto, PFF: peso fresco del fruto, pHF: pH del fruto, SST: contenido de sólidos solubles totales en el fruto, R: rendimiento. Letras minúsculas en cada fila indican el efecto del tratamiento de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0,05).

TABLA V
EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GLUTÁMICO EN ALGUNOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL FRUTO, Y RENDIMIENTO EN PLANTAS DE *Solanum lycopersicum* L. CULTIVADAS EN INVERNADERO, 153 DDT

Variables respuesta	Concentración de ácido glutámico (g·l ⁻¹)			
	0,0 (Testigo)	1,5	6,0	12,0
Valor SPAD	51,71 ±0,76 a	52,72 ±0,90 a	53,93 ±0,64 a	53,21 ±0,64 a
DEF (cm)	5,11 ±0,19 a	5,10 ±0,14 a	5,13 ±0,20 a	5,16 ±0,20 a
DPF (cm)	6,29 ±0,09 a	6,49 ±0,07 a	6,46 ±0,09 a	6,61±0,09 a
MSF (%)	5,83 ±0,17 a	6,39 ±0,13 a	6,45 ±0,23 a	6,37 ±0,18 a
PFF (g)	104,63 ±2,24 a	107,06 ±1,41 a	108,75 ±1,93 a	105,56 ±1,11 a
pHF	4,55 ±0,00 a	4,70 ±0,04 a	4,70 ±0,09 a	4,62 ±0,06 a
SST (°Brix)	5,01 ±0,22 a	5,38 ±0,11 a	5,48 ±0,12 a	5,29 ±0,12 a
R (kg·m ⁻²)	2,81 ±0,09 a	3,03 ±0,14 a	3,17 ±0,07 a	2,88 ±0,10 a

DDT: días después del trasplante, DEF: diámetro ecuatorial del fruto, DPF: diámetro polar del fruto, MSF: materia seca del fruto, PFF: peso fresco del fruto, pHF: pH del fruto, SST: contenido de sólidos solubles totales en el fruto, R: rendimiento. Letras minúsculas en cada fila indican el efecto del tratamiento de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0,05).

TABLA VI
EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GLUTÁMICO EN ALGUNOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL FRUTO, Y RENDIMIENTO EN PLANTAS DE *Solanum lycopersicum* L. CULTIVADAS EN INVERNADERO, 167 DDT

Variables respuesta	Concentración de ácido glutámico (g·l ⁻¹)			
	0,0 (Testigo)	1,5	6,0	12,0
Valor SPAD	51,39 ±0,54 b	53,46 ±0,96 ab	56,01 ±0,62 a	54,51 ±0,52 a
AF (cm ²)	5911,01±390,70 a	5929,38±329,42 a	6133,20±358,09 a	5702,27±248,11 a
DEF (cm)	5,00 ±0,06 b	5,03 ±0,03 b	5,21 ±0,05 a	5,16 ±0,04 ab
DPF (cm)	5,93 ±0,11 a	6,10 ±0,06 a	6,03 ±0,08 a	6,17 ±0,11 a
MSF (%)	5,54 ±0,22 b	5,74 ±0,18 b	6,48 ±0,22 a	6,24 ±0,16 ab
PFF (g)	101,06 ±2,05 b	103,38 ±1,33 b	111,50 ±2,16 a	105,69 ±1,26 ab
pHF	4,68 ±0,01 c	4,93 ±0,04 a	4,83 ±0,02 ab	4,75 ±0,04 bc
SST (°Brix)	5,21 ±0,07 a	5,34 ±0,12 a	5,22 ±0,15 a	5,12 ±0,08 a
R (kg·m ⁻²)	2,10 ±0,14 b	2,28 ±0,09 b	2,68 ±0,08 a	2,37 ±0,10 ab
aGS (μmol γ-GH·g ⁻¹ ·PF·h ⁻¹)	1,03 ±0,07 b	1,91 ±0,15 a	1,47 ±0,13 ab	1,22 ±0,14 b

DDT: días después del trasplante, AF: área foliar, DEF: diámetro ecuatorial del fruto, DPF: diámetro polar del fruto, MSF: materia seca del fruto, PFF: peso fresco del fruto, pHF: pH del fruto, SST: contenido de sólidos solubles totales en el fruto, R: rendimiento, aGS: actividad de glutamina sintetasa en hojas, GH: glutamil hidroxamato, PF: peso fresco. Letras minúsculas en cada fila indican el efecto del tratamiento de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0,05).

de ácido poli-γ-glutámico. De acuerdo con Zhang *et al.* (2017a) la discrepancia en estos resultados puede depender de la especie vegetal y de las condiciones de cultivo.

Se ha reportado que los valores SPAD están positiva y significativamente correlacionados con la concentración de clorofila foliar (Uddling *et al.*, 2007; Basyouni *et al.*, 2015; Basyouni y Dunn, 2017) en varias especies vegetales, incluido el tomate (Ferreira *et al.*, 2006). El aumento en los valores SPAD (Tablas III y VI) como respuesta a la aplicación foliar de ácido glutámico indicó la absorción foliar y metabolización de este aminoácido, corroborando los resultados de Beale *et al.* (1975), quienes demostraron la absorción foliar del ácido L-glutámico y su función en la síntesis de clorofila. Serna-Rodríguez *et al.* (2011) también encontraron que la aplicación de 1,25; 2,50 y 10,00g·l⁻¹ de ácido glutámico aumentó el contenido de clorofila foliar en plantas de tomate de 116 días de edad cultivadas en invernadero. Los resultados de Cao *et al.* (2010b) mostraron que el contenido de clorofila foliar incrementó en plantas de cebollino chino (*Allium tuberosum* Rottler ex Spreng) que recibieron ácido glutámico a una concentración de 5 a 10mM, mientras que Yu *et al.* (2010) encontraron que la aplicación de 0,8g·l⁻¹ de ácido glutámico en plantas de espino chino (*Crataegus pinnatifida* Bge.) incrementó significativamente el contenido de clorofila foliar en comparación con las plantas testigo. Por su parte, Zhang *et al.* (2009) indicaron que añadir aminoácidos a la solución nutritiva puede incrementar el contenido de clorofila foliar en plantas de tomate. La clorofila es una molécula macrocíclica del grupo de los tetrapirroles. Su síntesis inicia con la formación del ácido 5-aminolevulinico (ALA), el precursor universal de todos los tetrapirroles (Brzezowski *et al.*, 2015). La ruta biosintética del ALA en los tejidos de las plantas verdes, conocida como ruta C5, requiere L-glutamato

para proporcionar el esqueleto de C (Hudson *et al.*, 2011). Chatterjee y Kundu (2015) mencionaron que se requieren ocho unidades de glutamato cloroplástico para la síntesis de clorofila. La fuente de este glutamato cloroplástico puede ser la glutamato sintasa (GOGAT) dependiente de la ferredoxina (EC 1.4.7.1) o la GOGAT dependiente del NADPH (EC 1.4.1.13).

Estudios previos (Souri *et al.*, 2017; Basanth y Mahesh, 2018) han mostrado un incremento en la biomasa y en el rendimiento de otros cultivos como consecuencia de la aplicación foliar de aminoácidos. En el presente estudio, la aplicación foliar de $6,0\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de ácido glutámico incrementó el R, el PFF y la MSF en plantas de tomate a 167 DDT (Tabla VI). Serna-Rodríguez *et al.* (2011) también encontraron un incremento en el PFF y la MSF en plantas de tomate de 158 días de edad con la aplicación de $1,25$; $2,50$ y $5,00\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de ácido glutámico. Ariza-Flores *et al.* (2015) encontraron que la aplicación foliar de $0,45\text{kg}/\text{ha}$ de ácido glutámico incrementó el rendimiento en plantas de lima mexicana (*Citrus aurantifolia* Christm Swingle) en comparación con las plantas testigo.

Es posible que el incremento en la biomasa y el rendimiento de las plantas de tomate promovido por la aplicación foliar de ácido glutámico se deba a una mayor biosíntesis de proteínas y de clorofila, así como a un aumento en la tasa fotosintética, lo cual es clave para incrementar el rendimiento del cultivo (Khan *et al.*, 2012; 2019; Souri y Hatamian, 2019). De hecho, Alfosea-Simón *et al.* (2021) observaron que una respuesta común fue el incremento en la conductancia estomática, en plantas de tomate tratadas con aminoácidos como ácido aspártico, ácido glutámico y L-alanina, de manera individual o combinada. Es posible que la aplicación foliar de ácido glutámico haya favorecido las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis, lo cual ha sido reportado por Lee *et al.* (2017), quienes encontraron

efectos positivos en la tasa fotosintética y la conductancia estomática con la aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de col china (*Brassica campestris* spp. *pekinensis*).

La glutamina sintetasa es una enzima involucrada en la asimilación de N por las plantas. Esta enzima participa en la primera etapa de asimilación del NH_4^+ , el cual es responsable de la síntesis de glutamina (Zhang *et al.*, 2017b). La aplicación de $1,5\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de ácido glutámico aumentó la aGS en las hojas de plantas de tomate a los 167 DDT (Tabla VI) y resultados similares fueron reportados por Serna-Rodríguez *et al.* (2011), quienes encontraron que la aGS fue mayor en plantas de tomate de 158 días de edad que recibieron $5,0\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de ácido glutámico en comparación con las plantas testigo. Cao *et al.* (2010b) también hallaron que la aGS incrementó en plantas de cebollino chino (*Allium tuberosum* Rottler ex Spreng) tratadas con ácido glutámico 5mM respecto a las plantas testigo. Yu *et al.* (2010) tuvieron un resultado similar con referencia al incremento de la aGS en plantas de espino chino (*Crataegus pinnatifida* Bge.) con la aplicación de $0,4$ y $0,8\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de ácido glutámico en comparación con las plantas testigo.

Probablemente el incremento en la aGS en las hojas de las plantas de tomate se deba a que esta enzima constituye un punto de conexión del metabolismo del N y del C, como primer componente enzimático en la captación de N y, en este caso, del N procedente del ácido glutámico aplicado vía foliar a las plantas de tomate. La glutamina sintetasa es capaz de unir el N a un esqueleto de C (Torreira *et al.*, 2014). Németh *et al.* (2018) indicaron que al aumentar la cantidad de esqueletos de C provenientes del glutamato, aumenta la eficiencia de la aGS. En consecuencia, el glutamato participa en las reacciones bioquímicas no sólo como sustrato, sino también como regulador. De esta manera, la aGS es esencial para un crecimiento y

desarrollo normal de la planta (Bao *et al.*, 2015).

La aplicación foliar de ácido glutámico favoreció algunos atributos de la calidad física y química del fruto de tomate como el DEF, PFF, MSF, SST y pHF (Tabla VI). Ariza-Flores *et al.* (2015) encontraron que la aplicación foliar de $0,45\text{kg}/\text{ha}$ de ácido glutámico en lima mexicana (*Citrus aurantifolia* Christm Swingle) incrementó el DEF en comparación con plantas testigo, pero no observaron un efecto positivo en la acidez del jugo ni en los SST.

Los resultados de Abd El-Aal *et al.* (2010) también mostraron un incremento en el SST en plantas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.) con tres aplicaciones foliares de 1000ppm del producto comercial Aminovit Plus, el cual contiene ácido glutámico ($55\text{g}/100\text{cm}^3$).

Los diferentes cambios observados en la calidad física y química de las plantas de tomate con la aplicación foliar de ácido glutámico probablemente se deban a que este aminoácido aparte de estar relacionado con funciones fisiológicas, puede estar involucrado en el metabolismo vegetal y en procesos de señalización (Häusler *et al.*, 2014). Se ha reportado que los receptores de glutamato en las plantas se podrían activar no solo por el glutamato, sino también por otros aminoácidos como serina, alanina, metionina, triptófano, fenilalanina, leucina, asparagina, treonina, cisteína, glicina y tirosina (Forde y Roberts, 2014). La activación de estos receptores podría desencadenar una serie de mecanismos de señalización en procesos relacionados con la absorción de N por las raíces (Miller *et al.*, 2008), desarrollo y arquitectura radicular (Weiland *et al.*, 2015), metabolismo antioxidante (Weiland *et al.*, 2015), regulación de factores de transcripción (Santi *et al.*, 2017), así como el balance entre el metabolismo del N y del C (Price *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación foliar exógena de ácido glutámico a una concentración de

$6,0\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ fue la que mejor promovió los valores SPAD, algunos parámetros de la calidad física y química de fruto, así como el rendimiento en plantas de tomate a los 167 DDT (Tabla VI). Las otras dos concentraciones de ácido glutámico evaluadas ($1,5$ y $12,0\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) fueron demasiado bajas o demasiado altas, no tuvieron efecto y pudieron haber sido una fuente de estrés para la planta. La concentración óptima requerida es esencial para el óptimo desarrollo y crecimiento de la planta (Khan *et al.*, 2019). En este sentido, estudios previos sugieren que los niveles óptimos de varios aminoácidos pueden depender de la especie o del genotipo vegetal, lo cual debe ser determinado antes de recomendar su uso (El-Sharabasy *et al.*, 2015). Por lo tanto, para crear productos bioestimulantes altamente eficientes es indispensable comprender la función que los distintos aminoácidos desempeñan en los procesos fisiológicos y metabólicos de los cultivos, así como los posibles efectos antagónicos, neutrales y sinérgicos entre ellos (Alfosea-Simón *et al.*, 2021).

Conclusiones

La aplicación foliar exógena de $6,0\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de ácido glutámico favoreció los valores SPAD, el rendimiento y algunos parámetros de la calidad física y química del fruto en plantas de tomate cultivadas en invernadero. Lo anterior posiblemente fue debido a que la aplicación foliar de ácido glutámico en las plantas de tomate benefició las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis, la biosíntesis de proteínas y de clorofila, lo cual es clave para incrementar el rendimiento del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento a través del proyecto SIP 20190109 para llevar a cabo la presente investigación, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de

estudios de posgrado al primer autor.

REFERENCIAS

- Abd El-Aal FS, Shaheen AM, Ahmed AA, Mahmoud AR (2010) Effect of foliar application of urea and amino acids mixtures as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 6: 583-588.
- Alcántar GG, Sandoval VM (1999) *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal: Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación*. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 155 pp.
- Alfósea-Simón M, Simón-Grao S, Zavala-Gonzalez EA, Cámara-Zapata JM, Simón I, Martínez-Nicolás JJ, Lidón V, García-Sánchez F (2021) Physiological, nutritional and metabolic responses of tomato plants after the foliar application of amino acids aspartic acid, glutamic acid and alanine. *Front. Plant Sci.* 11: 581234. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.581234>
- Arabloo M, Taheri M, Yazdani H, Shahmoradi, M (2017) Effect of foliar application of amino acid and calcium chelate on some quality and quantity of Golden Delicious and Granny Smith apples. *Trakia J. Sci.* 15: 14-19. <https://doi.org/10.15547/tjs.2017.01.003>
- Ariza-Flores R, Barrios-Ayala A, Herrera-García M, Barbosa-Moreno F, Michel-Aceves A, Otero-Sánchez MA, Alia-Tejaca I (2015) Fitohormonas y bioestimulantes para la floración, producción y calidad de lima mexicana de invierno. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6: 1653-1666.
- Arjona HD, Herrera JE, Gómez JA, Ospina J (2004) Evaluation of the application of urea, molasses and amino acids on growth and yield of onion plants (*Allium cepa* L. Group cepa) in the Bogotá Savanna. *Agron. Colomb.* 22: 177-184.
- Bao A, Zhao Z, Ding G, Shi L, Xu F, Cai H (2015) The stable level of glutamine synthetase 2 plays an important role in rice growth and in carbon-nitrogen metabolic balance. *Int. J. Mol. Sci.* 16: 12713-12736. <https://doi.org/10.3390/ijms160612713>
- Basanth N, Mahesh G (2018) Bioefficacy of nova nutri boost for yield and yield components in paddy (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 7: 2250-2253. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.259>
- Basyouni R, Dunn B (2017) *Use of Optical Sensors to Monitor Plant Nitrogen Status in Horticultural Plants*. <http://factsheets.okstate.edu/documents/hla-6719-use-of-optical-sensors-to-monitor-plant-nitrogen-status-in-horticultural-plants/> (Cons. 30/01/2022).
- Basyouni R, Dunn BL, Goad C (2015) Use of nondestructive sensors to assess nitrogen status in potted poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* L. (Willd. ex Klotzsch)) production. *Sci. Hortic.* 192: 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.011>
- Beale SI, Gough SP, Granick S (1975) Biosynthesis of δ -aminolevulinic acid from the intact carbon skeleton of glutamic acid in greening barley. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 72: 2719-2723. <https://doi.org/10.1073/pnas.72.7.2719>
- Boras M, Zidan R, Halloum W (2011) Effect of amino acids on growth, production and quality of tomato in plastic greenhouses. *Biol. Sci. Ser.* 33: 229-238.
- Brzezowski P, Richter AS, Grimm B (2015) Regulation and function of tetrapyrrole biosynthesis in plants and algae. *Biochim. Biophys. Acta.* 1847: 968-985. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbabi.2015.05.007>
- Cao JX, Peng ZP, Huang JC, Yu JH, Li WN, Yang LX, Lin ZJ (2010a) Effect of foliar application of amino acid on yield and quality of flowering Chinese cabbage. *Chin. Agric. Sci. Bull.* 26: 162-165.
- Cao YP, Gao ZK, Li JT, Xu GH, Wang M (2010b) Effects of exogenous glutamic acid on nitrate contents and quality of Chinese chive. *Acta Hortic.* 856: 91-98. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.856.11>
- Cerdán M, Sánchez-Sánchez A, Jordá JD, Juárez M, Sánchez-Andreu J (2013) Effect of commercial amino acids on iron nutrition of tomato plants grown under lime-induced iron deficiency. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176: 859-866. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200525>
- Chatterjee A, Kundu S (2015) Revisiting the chlorophyll biosynthesis pathway using genome scale metabolic model of *Oryza sativa japonica*. *Sci. Rep.* 5: 14975. <https://doi.org/10.1038/srep14975>
- El-Sharabasy S, Issa F, Hammad G, El-Dawayaty M (2015) Effect of different amino acids at different concentrations on multiplication and rooting stage of in vitro propagation of strawberries (*Fragaria x Ananassa* Duch cv. Chandler). *Egypt J. Genet. Cytol.* 44: 31-45.
- Fayek MA, Yehia TA, El-Fakhrany EMM, Farag AM (2011) Effect of ringing and amino acids application on improving fruiting of Le Conte Pear trees. *J. Hortic. Sci. Ornament. Plants* 3: 01-10.
- Ferreira MMM, Ferreira GB, Fontes PCR, Dantas JP (2006) Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. *Ceres* 53: 83-90.
- Forde BG, Lea PJ (2007) Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signaling. *J. Exp. Bot.* 58: 2339-2358. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm121>
- Forde BG, Roberts MR (2014) Glutamate receptor-like channels in plants: a role as amino acid sensors in plant defence? *F1000Prime Rep.* 6: 37. <https://doi.org/10.12703/P6-37>
- Guo N, Hu J, Yan M, Luo L, Qu H, Tegeder M, Xu G (2020) *Oryza sativa* Lysine-Histidine-type Transporter 1 functions in root uptake and root-to-shoot allocation of amino acids in rice. *Plant J.* 103: 395-411. <https://doi.org/10.1111/tpj.14742>
- Häusler RE, Ludewig F, Krueger S (2014) Amino acids - A life between metabolism and signalling. *Plant Sci.* 229: 225-237. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.09.011>
- Ho LC (1996) Tomato. En Zamski E, Shaffer AA (Eds.) *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops*. Dekker. EEUU. pp: 709-728
- Hudson D, Guevara D, Yaish MW, Hannam C, Long N, Clarke JD, Bi YM, Rothstein SJ (2011) *GNC* and *CGAI* modulate chlorophyll biosynthesis and glutamate synthase (*GLU1/Fd-GOGAT*) expression in *Arabidopsis*. *PLoS One* 6: e26765. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026765>
- Ibrahim SMM, Taha LS, Farahat MM (2010) Influence of foliar application of pepton on growth, flowering and chemical composition of *Helichrysum bracteatum* plants under different irrigation intervals. *Ozean J. Appl. Sci.* 3: 143-155.
- Ilie AV, Petrisor C, Hoza D (2017) Influence of foliar application of amino acids to yield and quality attributes of apple. *J. Hortic. Forest. Biotechnol.* 21: 104-107.
- INAFED (2019) *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Oaxaca*. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20310a.html> (Cons. 05/08/2019).
- Kader AA (2008) Flavor quality of fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 88: 1863-1868. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3293>
- Kan CC, Chung TY, Wu HY, Juo YA, Hsieh, MH (2017) Exogenous glutamate rapidly induces the expression of genes involved in metabolism and defense responses in rice roots. *BMC Genom.* 18: 186-202. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3588-7>
- Khan AS, Ahmad B, Jaskani MJ, Ahmad R, Malik AU (2012) Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. *Int. J. Agric. Biol.* 14: 383-388.
- Khan S, Yu H, Li Q, Gao Y, Sallam BN, Wang H, Liu P, Jiang W (2019) Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy.* 9: 266-282. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>
- Lee H J, Kim JS, Lee SG, Kim SK, Mun B, Choi CS (2017) Glutamic acid foliar application enhances antioxidant enzyme activities in kimchi cabbages leaves treated with low air temperature. *Hortic. Sci. Technol.* 35: 700-706. <https://doi.org/10.12972/kjst.20170074>
- Liu XQ, Ko KY, Kim SH, Lee KS (2008) Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39: 269-281. <https://doi.org/10.1080/00103620701759301>
- Miller AJ, Fan X, Shen Q, Smith SJ (2008) Amino acids and nitrate as signals for the regulation of nitrogen acquisition. *J. Exp. Bot.* 59: 111-119. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm208>
- Mohammadipour N, Souri MK (2019a) Beneficial effects of glycine on growth and leaf nutrient concentrations of coriander (*Coriandrum sativum*) plants. *J. Plant Nutr.* 42: 1637-1644. <https://doi.org/10.1080/1904167.2019.1628985>
- Mohammadipour N, Souri MK (2019b) Effects of different

- levels of glycine in the nutrient solution on the growth, nutrient composition and antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Acta Agrobot. 72*: 1759-1767. <https://doi.org/10.5586/aa.1759>
- Németh E, Nagy Z, Pécsvárad A (2018) Chloroplast glutamine synthetase, the key regulator of nitrogen metabolism in wheat, performs its role by fine regulation of enzyme activity via negative cooperativity of its subunits. *Front. Plant Sci. 9*: 191. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00191>
- Price MB, Jelesko J, Okumoto S (2012) Glutamate receptor homologs in plants: functions and evolutionary origins. *Front. Plant Sci. 3*: 235. <https://doi.org/10.3389/fpls.2012.00235>
- Qiao W, Zheng Z, Peng H, Shi L (2012) Synthesis and properties of three series amino acid surfactants. *Tenside Surfact. Deterg. 49*: 161-166. <https://doi.org/10.3139/113.110179>
- Rouphael Y, Kyriacou MC, Petropoulos SA, De Pascale S, Colla G (2018) Improving vegetable quality in controlled environments. *Sci. Hortic. 234*: 275-289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>
- Santi C, Molesini B, Gluzzo F, Pii Y, Vitulo N, Pandolfini T (2017) Genome-wide transcriptional changes and lipid profile modifications induced by *Medicago truncatula* N5 overexpression at an early stage of the symbiotic interaction with *Sinorhizobium meliloti*. *Genes 8*: 396. <https://doi.org/10.3390/genes8120396>
- Serna-Rodríguez JR, Castro-Brindis R, Colinas-León MT, Sahagún-Castellanos J, Rodríguez-Pérez JE (2011) Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic. 17*: 9-13.
- Singh R, Parihar P, Prasad SM (2018) Sulfur and calcium simultaneously regulate photosynthetic performance and nitrogen metabolism status in as-challenged *Brassica juncea* L. seedlings. *Front. Plant Sci. 9*: 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00772>
- Souri MK (2016) Aminochelelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. *Open Agric. 1*: 118-123. <https://doi.org/10.1515/opag-2016-0016>
- Souri MK, Bakhtiarzade M (2019) Biostimulation effects of rosemary essential oil on growth and nutrient uptake of tomato seedlings. *Sci. Hortic. 243*: 472-476. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.056>
- Souri MK, Hatamian M (2019) Aminochelelates in plant nutrition: a review. *J. Plant Nutr. 42*: 67-78. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549671>
- Souri MK, Sooraki FY, Moghadamyar M (2017) Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean under foliar and soil applications of an aminochelelate fertilizer. *Hortic. Environ. Biotechnol. 58*: 530-536. <https://doi.org/10.1007/s13580-017-0349-0>
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. *Proc. 6th Int. Cong. on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Wageningen, Holanda*. pp. 633-650.
- Takeuchi M, Arakawa C, Kuwahara Y, Gemma H (2008) Effects of L-proline foliar application on the quality of 'Kosui' Japanese pear. *Acta Hortic. 800*: 549-554. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.800.72>
- Teixeira WF, Fagan EB, Soares LH, Umburanas RC, Reichardt K, Neto DD (2017) Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Front. Plant Sci. 8*: 327. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00327>
- Torreira E, Seabra AR, Marriott H, Zhou M, Llorca Ó, Robinson CV, Carvalho HG, Fernández-Tornero C, Barbosa PPJ (2014) The structures of cytosolic and plastid-located glutamine synthetases from *Medicago truncatula* reveal a common and dynamic architecture. *Acta Crystallogr. Sect. D Biol. Crystallogr. 70*: 981-993. <https://doi.org/10.1107/S1399004713034718>
- Tripathy D B, Mishra A, Clark J, Farmer T (2018) Synthesis, chemistry, physicochemical properties and industrial applications of amino acid surfactants: A review. *Compt. Rend. Chim. 21*: 112-130. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2017.11.005>
- Turhan A, Şeniz V (2009) Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *Afr. J. Agric. Res. 4*: 1086-1092.
- Uddling J, Gelang-Alfredsson J, Piikki K, Pleijel H (2007) Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosyn. Res. 91*: 37-46. <https://doi.org/10.1007/s11220-006-9077-5>
- Weiland M, Mancuso S, Baluska F (2015) Signalling via glutamate and GLRs in *Arabidopsis thaliana*. *Funct. Plant Biol. 43*: 1-25. <https://doi.org/10.1071/FP15109>
- Xu Z, Lei P, Feng X, Xu X, Liang J, Chi B, Xu H (2014) Calcium involved in the poly (γ -glutamic acid)-mediated promotion of Chinese cabbage nitrogen metabolism. *Plant Physiol. Biochem. 80*: 144-152. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.036>
- Yu C, Lv DG, Qin SJ, Yang L, Ma HY, Liu GC (2010) Changes in photosynthesis, fluorescence, and nitrogen metabolism of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) in response to exogenous glutamic acid. *Photosynthetica 48*: 339-347. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0044-1>
- Zhang S, Hu F, Li H, Li X (2009) Influence of earthworm mucus and amino acids on tomato seedling growth and cadmium accumulation. *Environ. Pollut. 157*: 2737-2742. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.04.027>
- Zhang L, Yang X, Gao D, Wang L, Li J, Wei Z, Shi Y (2017a) Effects of poly- γ -glutamic acid (γ -PGA) on plant growth and its distribution in a controlled plant-soil system. *Sci. Rep. 7*: 6090. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06248-2>
- Zhang Z, Xiong S, Wei Y, Meng X, Wang X, Ma X (2017b) The role of glutamine synthetase isozymes in enhancing nitrogen use efficiency of N-efficient winter wheat. *Sci. Rep. 7*: 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01071-1>