ITEA (2000), Vol. **96 N.° 3,** 207-217

INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TOMATE POR LA DEFICIENCIA INDUCIDA DE CALCIO

M.A. Sanz, A. Blanco, J. Val[1]

Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), Apdo. 202, 50080 Zaragoza, España

RESUMEN

Se han estudiado los efectos provocados por la deficiencia inducida de calcio sobre el crecimiento de plantas de tomate en cultivo hidropónico. Para ello se han cultivado plantas en tres tipos de soluciones nutritivas: una con concentración normal de calcio (2,5 mM), y dos para inducir deficiencia: 125 mM y 62,5 mM de Ca^{2+}. Sobre estas plantas se han determinado en tallo: altura y grosor en su base; en hoja: humedad, espesor y peso específico, y en raíces: pesos fresco y seco.

Tras el ajuste a ecuaciones logísticas de crecimiento, se puede concluir que la elongación del tallo se retarda, deteniéndose 10-15 días antes en las plantas crecidas con 62,5 µM que en aquéllas con 125 µM Ca^{2+}. Al final del ciclo de cultivo, la altura y el grosor del tallo de las plantas deficientes, son un 50 y 30% inferior respectivamente a los de los controles.

La aparición de los primeros síntomas visuales de deficiencia se produce en las hojas más jóvenes, observándose la deformación periférica del limbo 7-10 días tras el tratamiento con 62,5 µM Ca^{2+}, mientras que en las cultivadas con 125 µM Ca^{2+} los síntomas se aprecian 10-15 días más tarde. Las raíces se oscurecen y disminuyen de tamaño, se interrumpe la aparición de nuevas hojas y aumentan el espesor y peso específico de las ya desarrolladas. Estos efectos son similares a los producidos por reguladores de crecimiento como el paclobutrazol (PBZ), cuya aplicación provoca disminución del área foliar, aumento del espesor de hoja y la inhibición del desarrollo radicular. En los estadios finales se produce la muerte de los ápices y la necrosis de las hojas más jóvenes.

Palabras clave: Cultivo hidropónico, Ecuaciones Logísticas, Nutrición vegetal, Síntomas visuales.

SUMMARY

GROWTH INHIBITION OF TOMATO PLANTS BY CALCIUM INDUCED DEFICIENCY

To study the effects of calcium-induced deficiency, tomato plants were grown in three nutrient solutions: one contained the usual calcium concentration (2.5 mM) and the other two solutions to induce deficiency (125 and 62.5 µM Ca^{2+}). On these plants, stem height and thickness, leaf humidity, thickness and specific weight, and root fresh and dry weight were determined.

1. Autor al que debe dirigirse la correspondencia, e-mail: jval@eead.csic.es

After the adjustment to logistic growth equations, it can be concluded that calcium deficiency slows down stem elongation. In the plants grown in 62.5 μM Ca^{2+} stem growth stops 10-15 days earlier than in those in 125 μM Ca^{2+}. At the end of the growing cycle, Ca-deficient plants compared to controls showed decreases in stem height and thickness of 50 and 30% respectively.

First visual symptoms of the deficiency appeared on the youngest leaves as a peripheral deformation of the limb. At 62.5 μM Ca^{2+} plant symptoms appeared 7-10 days after the start of the treatment, whereas for those at 125 μM Ca^{2+}, symptoms developed 10-15 days later. Roots became dark and their size was smaller than those of controls. Plants stopped the development of new tissues, whereas thickness and specific weight increased in the full developed leaves. These effects are similar to those produced by plant growth inhibitors such as paclobutrazol (PBZ), which enhanced leaf thickness and inhibited root development. At the end of the growing cycle, apexes and youngest leaves became necrotic and finally died.

Key words: Hydroponics, Logistic equations, Plant nutrition, Visual symptoms.

Introducción

El calcio es uno de los elementos más abundantes en la litosfera y, dependiendo de la roca madre, puede encontrarse en los suelos en muy variada proporción. El contenido total de iones en la solución del suelo es variable pero, en la mayoría de los casos, el 60-80% del total de estos iones se encuentra como Ca^{2+} y, aunque las raíces aprovechan menos del 3% del calcio disponible, esta cantidad es suficiente para satisfacer la demanda de las plantas (BARBER *et al.*, 1963).

El calcio es poco móvil y tiende a acumularse en los órganos más viejos, mientras que los de mayor actividad metabólica (hojas en crecimiento, flores, frutos y meristemos apicales) son los que necesitan un mayor aporte. Por tanto, la deficiencia de este macronutriente afecta en primer lugar a las partes en formación y meristemos en crecimiento, donde queda fijado y prácticamente inmóvil en sus paredes celulares. Debido a esta inmovilidad, las hojas viejas pueden tener concentraciones normales de calcio, mientras que las jóvenes, frutos u otros órganos, pueden presentar niveles por debajo de la normalidad (CHIU y BOULD, 1977).

Así pues, las alteraciones fisiológicas asociadas con la nutrición cálcica son factores importantes para los cultivos. De hecho, según POOVAIAH (1993), al aumentar la concentración de calcio en tejidos vegetales debería disminuir la incidencia de estas patologías y, por tanto, mejorar la calidad del producto. Sin embargo, niveles de calcio bajos en determinados órganos de una planta no siempre son el resultado de una absorción de calcio insuficiente, sino que puede deberse a problemas de distribución (PAIVA *et al.*, 1998).

Aunque la capacidad de asimilación de las especies vegetales varía enormemente, existen características de crecimiento innatas a la planta que ejercen fuertes efectos sobre sus funciones generales. El consumo físico mantiene el crecimiento, pero la regulación biológica dicta el patrón a seguir en su utilización y expresión final. Para células individuales u órganos, el crecimiento es potencialmente ilimitado y comienza siguiendo un modelo exponencial. Sin embargo, inte-

racciones mutuas dentro de un mismo individuo imponen limitaciones en el crecimiento, y la curva de crecimiento se desvanece de una manera sigmoidea (LEOPOLD y KRIEDEMANN, 1975).

La deficiencia de calcio interfiere el proceso fotosintético, disminuyendo enormemente la eficacia de la carboxilación y la capacidad fotosintética (ALARCÓN *et al.*, 1999), lo que conduce a descensos sustanciales en la producción de biomasa de las plantas afectadas (RAMALHO *et al.*, 1995).

Según JAUNIN y HOFER (1988), el calcio es esencial para el crecimiento, densidad y elongación de los pelos radiculares necesarios para la absorción de nutrientes. En este sentido, los experimentos realizados por MORAD *et al.* (1996) con plantas de tomate en cultivo hidropónico sometidas durante 8 días a la carencia total de calcio en el sustrato nutritivo, mostraron que se interrumpía el crecimiento de los tallos y la aparición de hojas nuevas. Estos datos, que confirman el papel del calcio en el crecimiento de las plantas, parecían sugerir que disminuyendo la concentración de este elemento en el sustrato nutritivo, pudiera regularse el desarrollo total de la planta. Basándonos en estos resultados, el objetivo de este trabajo consistió en cuantificar la inhibición del crecimiento de las plantas de tomate, mediante el ajuste a ecuaciones sigmoideas, modificando la disponibilidad de calcio en el medio de cultivo.

En 1975 SHEAR registró unas 30 enfermedades relacionadas con el calcio: Blossom-end rot (Podredumbre apical) en tomate y pimiento, Blackheart (Corazón negro) en apio, Cavity spots (Puntos hundidos) en zanahoria, Rolling apical leaves (Enrollamiento de hojas apicales) en trigo, Bitter pit (Mancha amarga) en manzana, Tipburn (Puntas quemadas) en lechuga; y muestra que factores tales como la humedad, la nutrición y el crecimiento vegetativo, pueden afectar a la severidad de los síntomas. La aparición de la podredumbre apical del tomate se ha asociado con bajos niveles de calcio en fruto y es una de las enfermedades típicas de la deficiencia de este elemento (DEKOCK DEKOCK *et al.*, 1979). Se considera que esta patología es el factor que causa las mayores pérdidas en la producción comercial de tomate en varias regiones del mundo (WILLUMSEN *et al.*, 1996).

En este trabajo se ha pretendido cuantificar la inhibición del crecimiento de plantas de tomate en función de la disponibilidad de calcio en el medio de cultivo. Este es el primer paso para el estudio, en profundidad, de la deficiencia de calcio que, en nuestro caso, hemos abordado utilizando como modelo una planta susceptible cuyos síntomas se manifiestan principalmente en sus frutos. Para ello se ha diseñado un sistema experimental que ha consistido en el cultivo de plantas de tomate en solución hidropónica utilizando dos niveles de deficiencia, 2,5 y 5% del calcio utilizado en la solución que alimenta las plantas control.

Material y métodos

Material vegetal

El estudio sobre deficiencia de calcio en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Tres Cantos) se realizó mediante cultivo hidropónico en una cámara climatizada situada en la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza), bajo condiciones controladas de temperatura (21 ± °C), humedad relativa (80 ± 5%), iluminación (fotoperiodo de 16 horas) y aireación forzada median-

te compresor (cada 10 minutos). Se realizaron 5 repeticiones de los experimentos entre el 24 de junio de 1998 y el 22 de abril de 1999. El promedio de radiación fotosintéticamente activa fue 242 µmoles de fotones m^{-2} seg^{-1}.

La solución nutritiva estándar usada tenía la siguiente composición: KNO_3 = 2,5 mM; $MgSO_4.7\ H_2O$ = 1 mM; KH_2PO_4 = 1 mM; $Ca(NO_3)_2.4\ H_2O$ = 2,5 mM; $MnCl_2.4\ H_2O$ = 4,6 µM; H_3BO_3 = 23,2 µM; Na_2MoO_4 = 0,06 µM; $ZnSO_4.7\ H_2O$ = 0,4 µM; $CuSO_4$ = 0,185 µM; Fe(EDDHA) = 44,76 µM.

Se germinaron semillas de tomate en perlita, y durante tres semanas se regaron, cada tres o cuatro días, alternando en cada riego agua desionizada y solución nutritiva estándar diluida a la cuarta parte. El paso a hidropónico se realizó en dos fases: en primer lugar se seleccionaron las plántulas de porte más homogéneo (entre 25 y 30) y se trasladaron a un recipiente de 35 litros que contenía solución hidropónica estándar y con borboteo de aire regularmente a través de la solución; después, transcurridas dos semanas se transfirieron a otros recipientes para su crecimiento definitivo.

Se aplicaron tres tratamientos que consistieron en variar la concentración de Ca^{2+} en el medio de cultivo. Así, en el *Tratamiento 1* las plantas crecieron en solución hidropónica estándar (2,5 mM Ca), en el *Tratamiento 2* el medio nutritivo era 125 µM Ca y en el *Tratamiento 3,* 62,5 µM Ca. Experimentos preliminares determinaron la elección de estas concentraciones de calcio como las más adecuadas para evidenciar diferencias significativas entre tratamientos (resultados no mostrados). Se realizaron 5 ciclos de cultivo y las plantas se desarrollaron en contenedores de 20 litros (1 o 2 plantas por recipiente). La solución nutritiva era renovada cada semana.

Peso específico, humedad y espesor de hojas

En todos los casos, se ha podido observar que, en las plantas del *Tratamiento 3,* el crecimiento se detiene antes que en las del *Tratamiento 2.* Así, en los *Tratamientos 1 y 2* pueden distinguirse tres partes: zona vieja, zona adulta y zona en desarrollo, mientras que en el *Tratamiento 3* solo pueden ser divididas en dos partes, dado que los tallos de nueva formación y sus correspondientes hojas mueren en los primeros estadios del desarrollo. Por lo tanto, una vez transcurrido el ciclo de cultivo se separaron las hojas en 9 grupos que correspondían a los tratamientos aplicados, distinguiendo tres edades fisiológicas: hojas viejas, adultas y jóvenes o en pleno desarrollo.

Se tomaron 10 hojas por cada grupo y de cada una se cortó un disco de superficie conocida (0,33 cm^2) con un área total de 3,3 cm^2. Se pesaron los discos para obtener el peso fresco (*pf*) y se secaron en estufa de aire a 60°C durante 3 días. Tras este proceso se realizó una nueva pesada para obtener la masa de materia seca o peso seco (*ps*). El peso específico o índice foliar (mg cm^{-2}) se calculó dividiendo el peso seco por la superficie total.

Al finalizar los muestreos sobre las plantas de tomate (aproximadamente 35 días después de su instalación en el cultivo hidropónico definitivo), éstas se extrajeron del medio de cultivo, y se procedió al lavado de su masa radicular, en primer lugar con agua corriente y después con agua destilada. Posteriormente, se secaron bien con papel de filtro y se tomó su peso fresco. Por último se llevaron a estufa de aire para secar a 60°C.

Al cabo de una semana se tomó el peso seco de estas muestras para calcular el porcentaje de humedad.

El espesor de hojas se determinó mediante un micrómetro digital (Mitutoyo, Reino Unido).

Análisis de crecimiento: altura y grosor de tallos

Los datos de crecimiento del tallo (altura y grosor) fueron ajustados a la ecuación logística que describe el crecimiento vegetativo según el procedimiento matemático de COSTA *et al.* (1994):

$$y = \frac{C}{(1+e^{(-B*(x-M))})}$$

donde y es la longitud o grosor, x el tiempo en días, C es la longitud o grosor final y M el tiempo de máxima velocidad de crecimiento. La velocidad máxima de crecimiento es la tangente al punto de inflexión de esta curva y viene dada por:

$$\frac{BC}{4}$$

El ajuste de las curvas se hizo mediante regresión no lineal. Los parámetros de las correspondientes curvas, así como el resto de los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza, y cuando el resultado fue significativo para un nivel de confianza del 95%, se aplicó el test de Duncan para la separación de medias.

Resultados y discusión

Los primeros síntomas visuales de deficiencia en las plantas del *Tratamiento 3* aparecieron en las hojas más jóvenes con una deformación periférica del limbo 7-10 días después del comienzo del estrés de calcio. La muerte del ápice y la necrosis de las hojas más jóvenes se observaron unos 12-15 días después del comienzo del tratamiento. En las raíces se observó un oscurecimiento que podría reflejar una degradación general de los tejidos de la planta similar a la descrita por JAKOBSEN (1979) en raíces de cebada deficiente en calcio. En el caso de las plantas del *Tratamiento 2* los primeros síntomas visuales aparecieron 20-25 días después del comienzo del tratamiento. La necrosis apical y la de las hojas más jóvenes se observaron transcurridos 27-30 días de la aplicación del estrés. La aparición de los primeros síntomas visuales (deformación de la periferia del limbo de las hojas más jóvenes) parece reflejar el desencadenamiento de procesos irreversibles que conducen a una muerte rápida de la planta (HO y ADAMS, 1989; MORARD *et al.* (1996). De hecho, en el momento de la recolección de muestras, las plantas control habían entrado en floración, mientras que en las deficientes, los pocos botones florales que aparecieron no llegaron a ser viables.

Tal como describen LEOPOLD y KRIEDEMANN (1975), en la Figura 1 puede observarse el ajuste a curvas sigmoideas de las curvas que representan la variación de la altura de las plantas y del grosor de la base del tallo respecto al tiempo transcurrido desde el tratamiento. La confianza del ajuste para ambos parámetros fue superior al 95%.

Al establecer la comparación con las plantas control, se observa que los dos tratamientos de deficiencia de calcio provocaron una disminución de la elongación del tallo (figura 1). Conforme avanza el ciclo se acentúa la severidad de los efectos: la elongación del tallo se detiene, se interrumpe la aparición de nuevas hojas, y posteriormente aparece necrosis apical. El crecimiento de las plantas del *Tratamiento 3* se detiene unos días antes que en las del *Tratamiento 2*. Las plantas control (*Trata-*

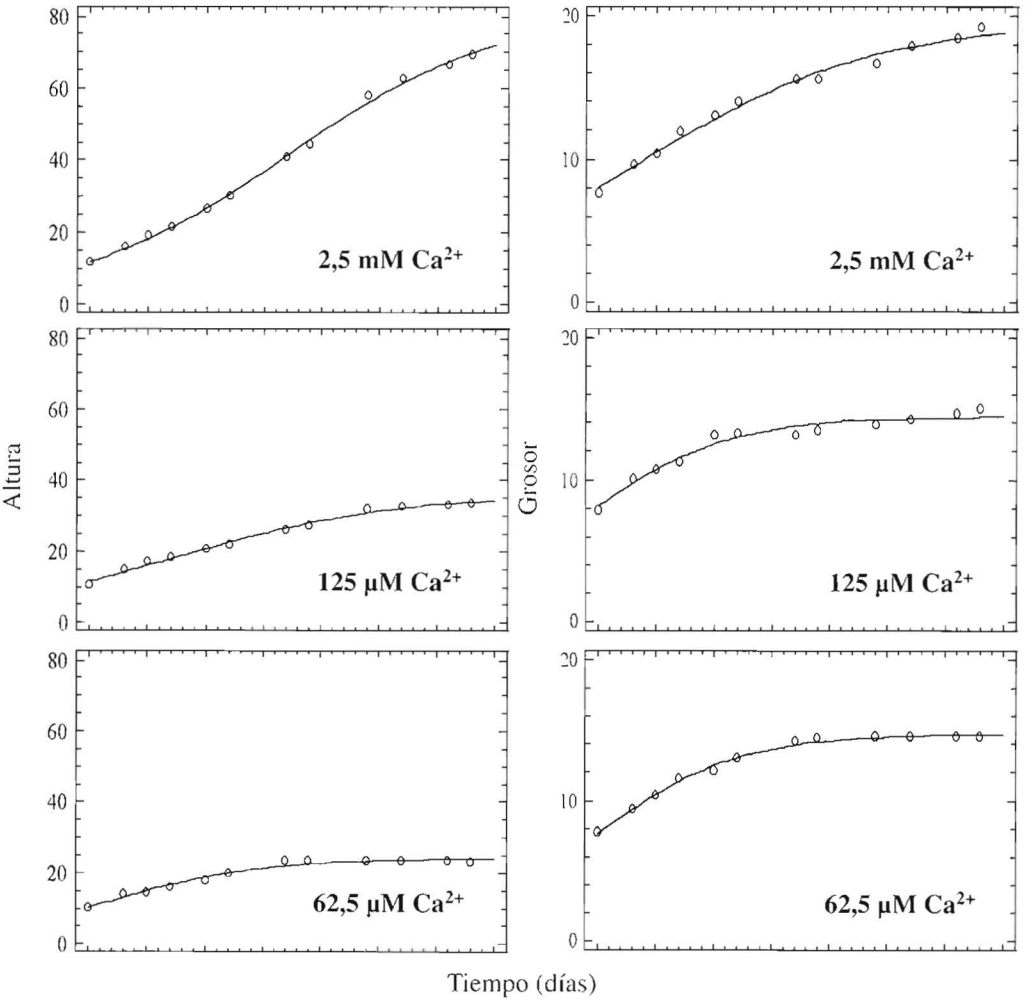


Figura 1. Evolución de la altura (cm) y del grosor del tallo (mm) (ajustados a curvas sigmoides) de plantas de tomate según la concentración de Ca^{2+} en la solución de cultivo.

Figure 1. Development of stem height (cm) and thickness (mm) of tomato plants (adjusted to sigmoid equations) according to the concentration of calcium in the culture solution.

miento 1) llegan a alcanzar una altura incluso superior al doble que las deficientes (figuras 1 y 2, cuadro 1). Al igual que ocurría con la altura, también se puede observar cómo el engrosamiento del tallo se detiene en las plantas deficientes.

En el cuadro 1 se exponen los parámetros de crecimiento referidos a las plantas de tomate cultivadas en medio hidropónico. Los parámetros calculados son: el máximo valor alcanzado, el tiempo de máximo crecimiento y la tasa de crecimiento máximo, En el cuadro 1 se exponen los parámetros de crecimiento referidos a las plantas de tomate cultivadas en medio hidropónico. Los parámetros calculados son: el máximo valor alcanzado, el tiempo de máximo crecimien-

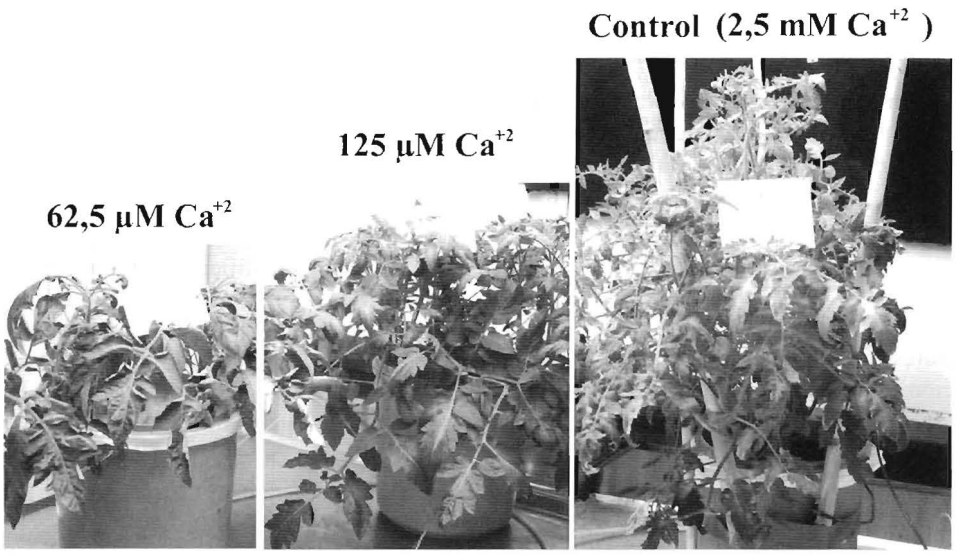


Figura 2. Imágenes de plantas de tomate cultivadas en medios con distintas concentraciones iniciales de Ca^{+2}. Nótese que las plantas control y el tratamiento 125 µM están representados a una escala menor que el 62,5 µM.

Figure 2. Photographs of tomato plants cultured in hydroponics with different initial concentrations of Ca^{+2}. Control plants and 125 µM Ca^{+2} are represented in a smaller scale than that of treatment 62,5 µM Ca^{2+}.

Cuadro 1

Parámetros de crecimiento de la altura y del grosor en la base del tallo de plantas de tomate cultivadas a diferentes concentraciones de Ca^{2+} en la solución nutritiva

Table 1

Plant height and stem thickness of tomato plants grown under different Ca^{2+} concentrations in the culture solution

	Calcio en solución		
	2,5 mM	125 µM	62,5 µM
Altura máxima (cm)	79,81 ± 4,34	41,74 ± 7,67	26,39 ± 3,51
Tiempo de máximo crecimiento de altura (días)	19,85 ± 4,02	3,88 ± 1,67	3,73 ± 0,98
Tasa de crecimiento máximo de altura (cm $día^{-1}$)	1,95 ± 0,33	1,12 ± 0,26	0,92 ± 0,04
Grosor máximo (mm)	19,22 ± 0,59	14,06 ± 0,57	13,75 ± 1,43
Tiempo de máximo crecimiento de grosor (días)	4,03 ± 0,64	0,91 ± 0,12	0,58 ± 0,11
Tasa de crecimiento máximo de grosor (mm $día^{-1}$)	0,50 ± 0,02	0,59 ± 0,01	0,59 ± 0,02

Los datos se expresan como el promedio de 5 repeticiones ± el error estándar.

The data are shown as the average of 5 replicates ± standard error.

to y la tasa de crecimiento máximo, tanto para la altura como para el grosor del tallo.

Como se ha mencionado anteriormente, el resultado más espectacular que puede extraerse del Cuadro 1, sería la inhibición del crecimiento de la planta por efecto de la deficiencia de calcio, pero además hay que resaltar que la tasa de máximo crecimiento para las plantas deficientes se produce en un periodo 5 veces menor que en los controles. Estos datos indican que la restricción del calcio en el medio de cultivo actúa como un potente inhibidor del crecimiento vegetativo.

Al estudiar el crecimiento del grosor del tallo de la planta se observan diferencias menos espectaculares que en el caso de la altura. El cuadro 1 muestra que el valor máximo de este parámetro disminuye bajo condiciones de deficiencia, pero sólo en aproximadamente un 30% del alcanzado por los controles.

Es interesante que la tasa de crecimiento máximo aumenta ligeramente para las plantas deficientes, pero ésta se produce antes de que transcurra el primer día del tratamiento. Por el contrario, los controles siguen engrosando el tallo, alcanzando una velocidad máxima al 4.° día del tratamiento.

De estos resultados puede desprenderse que el grosor del tallo es un parámetro interesante para cuantificar el grado de inhibición producido por la deficiencia de calcio, puesto que, aunque su crecimiento se mantiene hasta finalizar el ciclo de cultivo, la pendiente máxima se produce durante el primer día del tratamiento. Es posible que la planta detecte las condiciones de deficiencia antes incluso de que lleguen a ser limitantes para su subsistencia, y que el sistema de señales externas, actúe de forma que se aceleren ciertos procesos que favorezcan la supervivencia de la planta en previsión de condiciones desfavorables.

Los datos obtenidos sobre el porcentaje de humedad (cuadro 2) indican que, a pesar de encontrarse en un medio deficiente en calcio, las plantas sometidas a los trata-

Cuadro 2
Humedad de hojas (%) de plantas de tomate sometidas a deficiencia inducida de calcio, según su estado fenológico
Table 2
Humidity of leaves (%) from tomato plants under induced Ca^{2+} deficiency, according to their phenoligical status

	Concentración de Ca^{2+} en el medio de cultivo		
Hojas	2,5 mM	125 µM	62,5 µM
Viejas	81,9 ± 3,0	87,6 ± 0,6	82,2 ± 2,3
Adultas	83,1 ± 0,4	84,0 ± 0,4	81,3 ± 2,2
Jóvenes	71,7 ± 4,2	74,6 ± 3,2	-

Los datos se expresan como el promedio de 5 repeticiones ± el error estándar.
The data shown are the average of 5 replicates ± standard error.

mientos de deficiencia de calcio se encontraban adecuadamente hidratadas.

Respecto al estado fenológico de las hojas, puede observarse que únicamente las más jóvenes contienen menor porcentaje de agua que las viejas e incluso que las adultas.

En el cuadro 3 se observa un incremento en el espesor de las hojas a medida que disminuye la concentración de calcio en el medio de cultivo. Independientemente del tratamiento aplicado, las hojas viejas tienen mayor espesor que las adultas y jóvenes. Con respecto al peso específico, en este mismo cuadro, se observa que en el caso de las hojas control, el mayor valor de este parámetro se obtiene de las hojas más jóvenes, pero esto no es debido a un mayor espesor, sino a su reducido porcentaje de humedad (cuadro 2). Por otra parte, independiente de la edad fisiológica de las hojas, tanto el peso específico como el espesor aumentan concomitantemente con la disminución de Ca^{2+} en el medio de cultivo.

Éstos son efectos similares a los producidos por reguladores de crecimiento como el paclobutrazol (PBZ). En este sentido, PEQUERUL *et al.* (1997) encuentran un aumento del peso específico de las hojas de melocotonero y remolacha, en condiciones de campo y cámara de cultivo respectivamente, debido a la aplicación de PBZ. Esta inhibición de crecimiento provoca una disminución del área foliar y un aumento del espesor de hoja.

Por último, se puede notar que, en las raíces del Control, el peso fresco es el

Cuadro 3
Peso específico (mg cm^{-2}) y espesor (mm) de hoja según se edad fisiológica y el tratamiento inductor de la deficiencia de calcio
Table 3
Leaf specific weight (mg cm^{-2}) and thickness (mm) in accordance with its physiological age and with the calcium deficiency treatment

	Ca^{2+} en solución		
	2,5 mM	125 µM	62,5 µM
Hojas viejas			
Peso específico	4,24 ± 1,29	3,64 ± 0,86	7,12 ± 1,5
Espesor	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Hojas adultas			
Peso específico	3,18 ± 0,21	4,39 ± 0,21	7,73 ± 1,50
Espesor	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,0
Hojas jóvenes			
Peso específico	5,00 ± 0,64	5,61 ± 0,21	-
Espesor	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,0	-

Los datos se expresan como el promedio de 5 repeticiones ± el error estándar.
The data are shown as the average of 5 replicates ± standard error.

Cuadro 4
Pesos fresco y seco (g) de la raíz de plantas de tomate en función del tratamiento restrictivo de calcio
Table 4
Root fresh and dry weight (g) of tomato plants depending on the Ca^{2+} deficiency teatment

	Ca^{2+} en solución		
Peso	2,5 mM	125 µM	62,5 µM
Fresco	264,3 ± 32,5	108,8 ± 13,6	110,3 ± 20,5
Seco	22,2 ± 10,4	13,4 ± 2,4	13,2 ± 8,6

Los datos se expresan como el promedio de 5 repeticiones ± el error estándar.
The data are shown as the average of 5 replicates ± standard error.

doble que en las de los tratamientos inductores de deficiencia de calcio (cuadro 4). Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por SPEHAR y GALWEY (1997), que también encuentran, en soja cultivada en deficiencia de calcio, que el crecimiento de la raíz se detiene rápidamente. La acción de ciertos reguladores de crecimiento es similar a la encontrada en el caso de la deficiencia de calcio, ya que alteran el crecimiento radicular y su morfología (PEQUERUL *et al.*, 1997).

Conclusiones

La deficiencia inducida de calcio provoca la inhibición del crecimiento de las plantas de tomate cultivadas en medio hidropónico.

• Cuando se cultivan estas plantas con 125 µM Ca^{2+} en la solución nutritiva, la altura de la planta se reduce en un 48%, respecto a las de control, mientras que para las plantas crecidas con 62,5 µM Ca^{2+} la reducción alcanza el 67%.

• El grosor en la base del tallo de las plantas sometidas a los dos tratamientos de deficiencia sólo se reduce en aproximadamente un 30%.

• La deficiencia de calcio provoca el aumento del espesor y del peso específico foliares, así como una inhibición del desarrollo radicular. Estos datos son similares a los obtenidos por la aplicación de reguladores de crecimiento exógenos de síntesis.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado al amparo de los Proyectos de Investigación: CONSI+D-DGA (P-88/96) y AGF97-1219.

Bibliografía

ALARCÓN A.L., MADRID R., EGEA C., GUILLÉN I., 1999. Calcium deficiency provoked by the application of different forms and concentrations of Ca^{2+} to soil-less cultivated muskmelons. Scientia Horti., 81: 89-102.

BARBER S.A., WALKER J.M., VASEY E.H., 1963. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root. J. Agric. Food Chem., 11: 204-207.

CHIU T.E., BOULD C., 1977. Sand-culture studies on the calcium nutrition of young apple trees with particular reference to bitter pit. J. Hort. Sci., 52: 19-28.

COSTA J., BOSCH M., BLANCO A., 1994. Growth and cropping of 'Blanquilla' pear trees treated with paclobutrazol. J. Hort. Sci., 70 (3): 433-443.

DEKOCK P C., HALL A., INKSON R.H., ROBERTSON R.A. 1979. Blossom-end rot in tomatoes. *J. Sci. Food Agric.*, 30 (5): 508-514.

HO L.C., ADAMS P., 1989. Calcium deficiency a matter of inadequate transport to rapidly growing organs. Plants Today, 11-12: 202-207.

JAKOBSEN S.T., 1979. Interaction between phosphate and calcium in nutrient uptake by plants roots. Comm. Soil Sci. Plant Analys., 10:141-152.

JAUNIN F., HOFER R.M., 1988. Calcium and rhizodermal differentiation in primary maize roots. J. Exp. Bot., 39: 587-593.

LEOPOLD A.C., KRIEDEMANN P.E., 1975. The dynamics of growth, pp. 77-80. En: Plant Growth and Development. McGraw-Hill series, In Organismic Biology. McGraw-Hill. New York.

MALAVOLTA E., CAMARGO E., CASTRO P.R., DA CRUZ V.F., (1975). Calcium and its relationship to blossom-end rot in tomato. Comm. Soil Sci. Plant Analys., 6 (3): 273-284.

MORARD P., PUJOS A., BERNADAC A., BERTONI G., 1996. Effect of temporary calcium deficiency on tomato growth and mineral nutrition. J. Plant Nutr., 19 (1): 115-127.

PAIVA E.A, PRIETO MARTÍNEZ H., DÍAS CASALI V.W., PADILHA L., 1998. Occurrence of blossom-end rot in tomato as a function of calcium dose in the nutrient solution and air relative humidity. J. Plant Nutr., 21(12): 2663-2670.

PEQUERUL A., MONGE E., BLANCO A., VAL J., 1997. Differential assimilation of nutrients in paclobutrazol-treated peach trees. Acta Hort., 448: 169-175.

POOVAIAH B.W., 1993. Biochemical and molecular aspects of calcium action. Acta Hort., 326: 139-147.

RAMALHO J.C., REBELO M.C., SANTOS M.E., ANTUNES, M.L., NUNES M.A., 1995. Effects of calcium deficiency on Coffea arabica. Nutrient changes and correlation of calcium levels with some photosynthetic parameters. Plant Soil, 172: 87-96.

SHEAR C.B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. Hortscience, 10 (4): 361-365.

SPEHAR C.R., GALWEY N.W., 1997. Screening soya beans [*Glycine max* (L.) Merill] for calcium efficiency by root growth in low-Ca nutrient solution. Euphytica, 94: 113-117.

WILLUMSEN J., PETERSEN K.K., KAACK K. 1996. Yield and blossom-end rot of tomato as affected by salinity and cation activity ratios in the root zone. J. Hort. Sci., 71 (1): 81-98.

(Aceptado para publicacion el 19 de septiembre de 2000)