

SECADO PARCIAL DE LA RAÍZ DE JITOMATE: EFECTOS EN LA FISIOLOGÍA DE LA PLANTA Y CALIDAD DE FRUTO*

PARTIAL ROOT DRYING IN TOMATO: EFFECTS ON PLANT PHYSIOLOGY AND FRUIT QUALITY

Anselmo López-Ordaz^{1§}, Carlos Trejo-López¹, Cecilia Beatriz Peña-Valdivia¹, Carlos Ramírez-Ayala², Leonardo Tijerina-Chavez² y José Alfredo Carrillo-Salazar³

¹Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, 56230. México. ²Posgrado en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. ³Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. [§]Autor para correspondencia: anselmomx@yahoo.com

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar en condiciones de hidroponía e invernadero, los efectos de dos niveles de humedad aprovechable en el sustrato con plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sobre características fisiológicas y de calidad del fruto. La conducción de ensayo, realizado en 2003, fue: 21 de mayo (siembra), 1° de julio (trasplante), 29 de julio (inicio de los tratamientos), y cosecha del experimento 24 de noviembre, respectivamente. Se utilizó la técnica de riego seguida del secado parcial de la raíz (SPR) para establecer dos tratamientos con diferente cantidad de humedad aprovechable en el sustrato, testigo (80-80%) y SPR (80 - 30%). Se determinaron los parámetros fisiológicos: área foliar, materia seca de hoja, tallo, raíz y fruto, relaciones hídricas, e intercambio de gases, así como rendimiento y calidad de fruto (diámetro, firmeza, sólidos solubles totales, pH y conductividad eléctrica). Las plantas crecieron en contenedores de igual volumen con tezontle y con la raíz dividida en dos partes aplicando dos tratamientos de humedad aprovechable en el sustrato: 80-30% (SPR) y 80-80% (testigo). Estos tratamientos se iniciaron 28 días después del trasplante y se mantuvieron hasta el final del experimento. Los resultados obtenidos indican que el tratamiento SPR no mostró diferencias significativas con respecto al testigo en relación a los parámetros fisiológicos, sin embargo en las variables de calidad de fruto como °Brix, firmeza y conductividad eléctrica el SPR provocó un incremento sin afectar el rendimiento.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., intercambio de gases, relaciones hídricas, sistema de raíz dividida.

ABSTRACT

The aim of this research was to study under greenhouse and hydroponic conditions the effects of two levels of water availability in the substrate of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.), upon physiological and quality related characteristics. The trial was conducted in 2003 as follows: May 21th, sowing; July 1st, transplanting; and November 24th, whole plant harvest, respectively. The technique of irrigation followed by partial root zone drying (PRD) was used to establish two moisture treatments in the substrate, control (80-80%) and PRD (80-30%). The physiological parameters recorded were: leaf area, dry matter weight, plant water relations, and gas exchange, as well as fruit yield and quality (diameter, firmness, total soluble solids, pH and electric conductivity). Plants were grown in two plastic bags filled with "tezontle" (volcanic rock) and their root split in two halves and two moisture treatments applied to the substrate, 80-30% (PRD) and 80-80% (control)). These treatments were applied at 28 days after transplanting and were maintained throughout the experiment. Results indicate that PRD and control treatment did not show

* Recibido: Agosto de 2006
Aceptado: Diciembre de 2007

any significant difference in relation to the physiological parameters recorded; however, the fruit quality traits such as °Brix, firmness and electric conductivity increased without affecting fruit yield under PRD treatment.

Key words: *Lycopersicon sculentum* Mill., gas exchange, split root system, water relations.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el estudio del efecto del déficit hídrico en la fisiología de las plantas se basaba en el hecho de que una disminución del potencial de agua total en el vástago provocaba una serie de alteraciones fisiológicas, tales como reducción del crecimiento, cierre de estomas, entre otros (Kramer, 1988). Sin embargo, después que Bates y Hall (1981), observaron en *Vigna unguiculata* inhibición del intercambio de gases, sin que existiera algún cambio en las relaciones hídricas, se ha demostrado en otras especies que el sistema radical es capaz de detectar cambios en el contenido de humedad en el suelo, y enviar toda una serie de señales químicas al vástago con el fin de reducir crecimiento, intercambio de gases, etc. (Zhang y Davies, 1989; Gowing *et al.*, 1990).

Las respuestas fisiológicas que se han observado en condiciones de estrés hídrico, recientemente se han tratado de utilizar con la finalidad de incrementar la eficiencia en el uso del agua sin afectar el rendimiento de las plantas. Loveys *et al.* (2000) desarrollaron una técnica riego que llamaron secado parcial de raíz (SPR). Esta técnica, consiste en dividir la raíz de una planta longitudinalmente y hacerla crecer en contenedores diferentes, el contenido de humedad del suelo de cada contenedor, es controlado y alternado cada 14 días, para que en uno de ellos con menor contenido hídrico estimule la producción de señales químicas en la raíz y sea enviado vía corriente transpiratoria al vástago.

Los resultados que estos autores observaron con *Vitis vinifera* L. fueron, una reducción del crecimiento y conductancia estomática, ninguna alteración en las relaciones hídricas del vástago ni reducción del rendimiento y todo esto dio como resultado un incremento en la eficiencia en el uso del agua. Otras investigaciones en las que se utilizó la técnica SPR, en frambuesa y tomate mostraron resultados similares a los reportados inicialmente por During *et al.* (1996) y Loveys *et al.* (2000), referentes a la reducción del crecimiento, inhibición parcial de la conductancia

estomática, el mantenimiento de las relaciones hídricas del vástago, rendimiento y calidad de los frutos, así como un incremento del uso eficiente del agua (Davies *et al.*, 2000; Stoll *et al.*, 2002; Stikic *et al.*, 2003).

Los resultados de esos estudios permiten suponer que la técnica SPR puede ser utilizada en sistemas de producción intensiva, en los que se puede controlar la humedad del sustrato y aprovechar todas las respuestas de señales químicas entre la raíz y el vástago. En estos trabajos se señala que la intensidad y la duración del estrés son determinantes en la magnitud de la respuesta fisiológica.

Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo principal, determinar en un sistema intensivo de producción de jitomate (hidroponía e invernadero) el efecto de diferentes niveles de humedad con la técnica SPR en el crecimiento, intercambio de gases, relaciones hídricas, rendimiento y calidad de fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en condiciones de hidroponía e invernadero a una altitud de 2 250 msnm, 19° 29' de latitud norte y 98° 54' longitud oeste.

Material vegetal

Se utilizó semilla de jitomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.) híbrido Gabriela, el cual es de hábito de crecimiento indeterminado. La siembra se llevó a cabo, el 21 de mayo de 2003; el trasplante el 1 de julio de 2003; inicio de los tratamientos 29 de julio de 2003 y final del experimento 24 de noviembre del mismo año. La siembra se efectuó en charolas de polietileno con "Peat Moss" como sustrato. Después del trasplante y un día antes que se iniciaron los tratamientos, las plantas se irrigaron con la solución nutritiva de Steiner (1984), a un potencial osmótico de -0.036 MPa. Desde el inicio de los tratamientos hasta el final del experimento, se irrigaron con la solución nutritiva de Steiner (1984) con un potencial osmótico de -0.072 MPa.

Trasplante

El trasplante se hizo 40 días después de la siembra y cuando las plántulas presentaron la quinta hoja verdadera, en ese momento la raíz de las plántulas, se dividió longitudinalmente

con una navaja en dos partes iguales, un poco arriba del cuello de la raíz hasta el ápice. Posteriormente, las plántulas se trasplantaron en dos bolsas de polietileno de 40 x 40 cm, una para cada sección de la raíz, unidas en el centro con cinta adhesiva. Se establecieron 5 plantas m^{-2} , cada contenedor tuvo 14 L de roca volcánica porosa (tezontle) con granulometría mayor de 2.0 mm y menor de 11.5 mm, $\rho_a = 0.63 \text{ g cm}^{-3}$ una retención de humedad de 1.9 L. Las plantas durante el crecimiento se manejaron a 10 racimos y a un sólo tallo, en donde se practicó la eliminación de yemas axilares cada siete días, podas de hojas en estado de senescencia y se sostuvo verticalmente con hilo rafia. Se establecieron dos tratamientos con humedad aprovechable en el sustrato distinta, testigo (80 - 80%) y SPR (80 - 30%). El 100% de humedad aprovechable correspondió a capacidad de campo equivalente a una retención de humedad de 1.9 L por bolsa.

Evapotranspiración

El nivel de humedad se controló diariamente mediante los valores de evapotranspiración medida dentro del invernadero con base en las macetas testigo. Después que los tratamientos de 80 y 30% de humedad aprovechable alcanzaron dicho valor, se irrigaron a capacidad de campo nuevamente. Este ciclo se repitió durante el tiempo que duró el experimento (Figura 1).

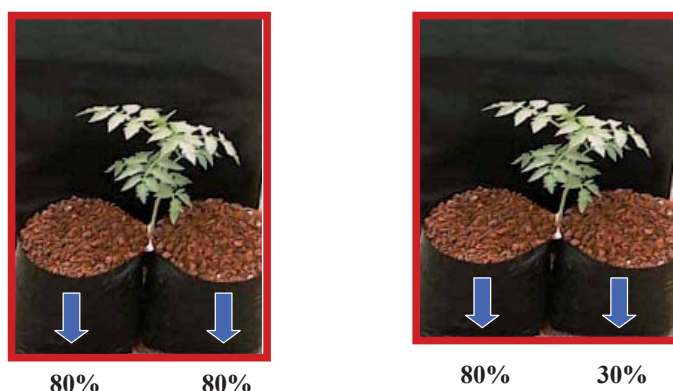


Figura 1. Tratamientos de humedad aprovechable en el sustrato en un sistema de raíz dividida.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos niveles de humedad aprovechable: testigo (80 - 80%) y SPR (80 - 30%) y seis repeticiones, cada unidad experimental estuvo compuesta de 12 plantas, con un total de 144 plantas en el experimento. Los datos se analizaron con

el programa SigmaPlot de Jadel Scientific (2001, Versión 7.1).

Variables de estudio

Área foliar y materia seca

El experimento finalizó a los 146 días después del trasplante. Las plantas se cortaron en la base, y se desprendieron todas las hojas y se determinó su área foliar con un integrador de área foliar (LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska USA, Modelo LI-3100). Este parámetro se expresó en m^2 por planta. Las mismas plantas se utilizaron para determinar la materia seca; para esto, las plantas fueron separadas en sus diferentes órganos (hoja, tallo, raíz y fruto), estos se secaron en una estufa a 70°C , hasta peso constante, y se pesaron en una balanza electrónica con precisión de 0.1 g Marca Sartorius.

Relaciones hídricas

Las variables que definen la relación hídrica se determinaron en uno de los dos folíolos del segundo par de hojas completamente expandidas, ubicada abajo del quinto racimo, con una bomba de presión tipo Scholander (Soil Moisture, Santa Bárbara, California, USA). El folíolo se separó de la planta y rápidamente se introdujo en la bomba de presión dejando un segmento del peciolo fuera. Posteriormente se aplicó lentamente presión neumática, generada con nitrógeno gaseoso, hasta que se observó en el corte del peciolo, que se encontraba fuera de la cámara, la acumulación de gotas de savia de los haces vasculares, indicando el balance de presión equivalente al potencial de agua total (Ψ_a). En ese momento se tomó la lectura del manómetro y se expresó en MPa.

Una vez determinado el Ψ_a , el folíolo se envolvió en papel aluminio y se almacenó en nitrógeno líquido para la determinación posterior en el laboratorio del potencial osmótico (Ψ_s). En el laboratorio, los folíolos se sacaron del nitrógeno líquido, se permitió que se descongelaran, se colocaron en jeringas hipodérmicas y se extrajo el contenido celular con la aplicación de presión manual al embolo de la jeringa. Se tomaron $10 \mu\text{L}$ del contenido celular, y se incubaron directamente en un osmómetro de presión de vapor (VAPRO/WESCOR 5520). Las lecturas se obtuvieron en mmoles kg^{-1} y se convirtieron a MPa con la ecuación: $\Psi_s = -CRT$, donde C= concentración de la solución (expresada en moles de soluto por kg de agua), $R= 0.00831 \text{ kg MPa mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ (constante general de los gases) y $T=$ temperatura absoluta ($^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273$). El potencial de turgencia (Ψ_t) se obtuvo por diferencia

de los valores de Ψ_s y Ψ_a , de acuerdo con la ecuación general:

$$\Psi_a = \Psi_s + \Psi_t$$

Intercambio de gases

La conductancia estomática y la tasa de fijación de bióxido de carbono se determinaron a los 63 días después del trasplante, en la hoja más joven completamente expandida, en las horas de mayor radiación, con un sistema de análisis de gases portátil y abierto en el espectro infrarrojo (CIRA-1, PP-SYSTEMS).

Rendimiento

Los frutos se cosecharon cuando alcanzaron el sexto estado de madurez y solamente se cosecharon los primeros diez racimos. Se determinó la materia fresca y seca (70 °C hasta peso constante) por fruto y con esta información se determinó el rendimiento por planta.

Calidad de fruto

Después de 46 días del trasplante fue evidente el segundo racimo de frutos y cuando el segundo fruto de este racimo tuvo aproximadamente 10 mm de diámetro se determinó su diámetro cada 5 días y hasta el final del crecimiento, para esto se utilizó un calibrador electrónico digital marca Truper. Al momento de la cosecha, los frutos fueron separados por tratamientos, llevados al laboratorio de poscosecha del Colegio de Postgraduados, para determinar firmeza y sólidos solubles totales (°Brix), pH y conductividad eléctrica del jugo.

La firmeza del fruto se determinó con un texturómetro (Universal Fuerza Five) con escala de 0.1 hasta 0.32% de fuerza y un puntal cónico de 0.8 mm de diámetro, el resultado fue expresado en kg cm⁻².

Los sólidos solubles totales (°Brix) se determinaron con un refractómetro digital, marca ATAGO, con escala de 0 hasta 32%, siguiendo la metodología propuesta por la AOAC (1990).

Para la determinación del pH y conductividad eléctrica (C. E.) se tituló 10 g de pulpa con 50 mL de agua destilada, se filtró para eliminar los restos de tejido vegetal, y en una alícuota de 20 mL se determinó el pH con un potenciómetro y la conductividad con un conductímetro portátil marca Conductrónica. Para determinar todos los parámetros de calidad se utilizaron 5 frutos de cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación al potencial de agua total (Ψ_a), potencial osmótico (Ψ_s) y potencial de turgencia (Ψ_t) (Cuadro 1) se encontró entre el tratamiento testigo y el SPR respectivamente, las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Estos resultados son similares a los reportados por autores como Loveys *et al.* (2000), Stikic *et al.* (2003), Zegbe-Domínguez *et al.* (2003) y Dorji *et al.* (2005), quienes no encontraron diferencias en las relaciones hídricas en plantas de chile, jitomate y vid. Los resultados indican que el tratamiento SPR podría estar activando el sistema de señales químicas en la raíz y como consecuencia mantener el estado hídrico de la planta. Esto también está soportado por los resultados de la conductancia estomática de la presente investigación. Se determinó que esta variable se afectó 10% por el SPR respecto al tratamiento testigo. El cierre parcial de los estomas pudo ser el responsable de mantener el balance hídrico similar al del tratamiento testigo y beneficiar las relaciones hídricas de las plantas, además de incrementar la tasa de fijación de bióxido de carbono en 13% (Cuadro 1).

Resultados obtenidos en plantas de jitomate por Stikic *et al.* (2003) en donde se estudió el efecto de SPR, crecidas en un sistema de raíz dividida, son similares a los que se obtuvieron en este estudio. En contraste, otros autores detectaron diferencias estadísticas significativas entre los procesos fisiológicos, de tratamientos similares a los de la presente investigación, los que atribuyen a un cierre estomático, debido principalmente a señales químicas que provienen de la raíz sometida a estrés hídrico (Davies *et al.*, 2000; Loveys *et al.*, 2000; Holbrook *et al.*, 2002).

El área foliar en jitomate se midió durante y al final del experimento (Cuadro 1) y se encontró que el tratamiento de SPR provocó una reducción no significativa (3%) del área foliar. Otros autores (Davies *et al.*, 2000), reportaron resultados similares a los que se encontraron en este análisis. La materia seca de la hoja, tallo y raíz, muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Dorji *et al.* (2005), reportaron resultados semejantes en relación con la materia seca de los diferentes órganos, en plantas de chile en un experimento de SPR.

El SPR no afectó significativamente la materia fresca o seca de fruto por planta (Cuadro 2). Resultados similares con base en la materia seca de fruto por planta se pueden observar en los estudios realizados en plantas de chile y jitomate, con SPR por

Cuadro 1. Efecto del secado parcial de la raíz (SPR) en algunos parámetros fisiológicos de plantas de jitomate. Los resultados son el promedio de seis repeticiones \pm el error estándar.

VARIABLES FISIOLÓGICAS	TESTIGO	SPR	SIGNIFICANCIA
Área foliar (m ²)	1.07 \pm 376.56	1.04 \pm 493.43	ns
Materia seca de hojas (g) planta	104.01 \pm 5.46	106.12 \pm 7.07	ns
Materia seca de tallo (g) planta	454.22 \pm 25.66	447.11 \pm 20.29	ns
Materia seca de raíz (g) planta	11.78 \pm 1.07	12.25 \pm 1.26	ns
Potencial hídrico (MPa)	-0.54 \pm 0.91	-0.71 \pm 0.92	ns
Potencial osmótico (MPa)	-1.10 \pm 0.03	-1.15 \pm 0.04	ns
Potencial de turgencia (MPa)	0.56 \pm 0.10	0.44 \pm 0.08	ns
Conductancia estomática (mmoles m ⁻² s ⁻²)	569.61 \pm 44.37	513.66 \pm 43.12	ns
Tasa de fijación de CO ₂ (μmoles m ⁻² s ⁻²)	8.86 \pm 1.66	9.98 \pm 1.69	ns

ns= no significativo; con una $p \leq 0.05$; de acuerdo a la prueba de Tukey.

Cuadro 2. Efecto del secado parcial de la raíz (SPR) en el rendimiento y parámetros de calidad de fruto. Los resultados son el promedio de seis repeticiones \pm error estándar.

VARIABLES FISIOLÓGICAS	TESTIGO	SPR	SIGNIFICANCIA
Materia fresca de fruto planta (kg)	6.80 \pm 0.61	6.10 \pm 0.33	ns
Materia seca de fruto planta (g)	345.83 \pm 12.27	363.18 \pm 14.63	ns
Diámetro (mm)	64.45 \pm 1.40	61.20 \pm 1.60	ns
Firmeza (kg f)	0.19 \pm 0.01	0.26 \pm 0.02	*
Sólidos solubles totales (° Brix)	4.64 \pm 0.08	5.34 \pm 0.14	*
pH	4.6 \pm 0.05	4.56 \pm 0.04	ns
C. E (dS m ⁻¹)	0.93 \pm 0.02	1.09 \pm 0.01	*

ns= no significativo; con una $p \leq 0.05$; de acuerdo a la prueba de Tukey.

Davies *et al.* (2000), Stikic *et al.* (2003), Zegbe-Domínguez *et al.* (2003) y Dorji *et al.* (2005).

Con base en la calidad de fruto, el tratamiento SPR incrementó 37% la firmeza, 15% los sólidos solubles totales (° Brix) y 17% la conductividad eléctrica respecto al testigo. En cambio, el diámetro de los frutos y el pH no se modificaron significativamente (Cuadro 2). Otros autores han señalado que aunque hay una disminución del tamaño del fruto no significativo, el rendimiento expresado como materia seca por planta no se afecta, debido al incremento de los sólidos solubles totales (Davies *et al.*, 2000; Stikic *et al.*, 2003; Zegbe-Domínguez *et al.*, 2003).

El incremento de algunos parámetros de calidad de los frutos como la firmeza, los sólidos solubles totales y conductividad eléctrica podría aumentar la vida de anaquel de los frutos de jitomate frescos y por lo tanto el valor económico de los mismos.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación sugieren que el tratamiento SPR estimuló el sistema de señales químicas entre la raíz y el vástago, provocando de esta forma un incremento en la calidad de fruto sin afectar el rendimiento,

así como el mantenimiento de las relaciones hídricas y el intercambio de gases. Además este sistema de irrigación podría contribuir al ahorro de agua en la producción de este cultivo y por lo tanto incrementar substancialmente la eficiencia en el uso del agua.

LITERATURA CITADA

- Association of Official Agricultural Chemist (AOAC). 1990. Official methods of analysis of AOAC international. Fruits and fruit products (EUA) p. 829-830.
- Bates, L. M. and Hall, A. E. 1981. Stomatal closure with soil water depletion not associated with changes in bulk leaf water status. *Oecología* (EUA) 50:63-65.
- Davies, W. J.; Bacon, M. A.; Thompson, D. S.; Sobeih, W. and Rodriguez, G. L. 2000. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants chemical signalling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. *Journal of Experimental Botany* (U. K.) 51(350):1617-1626.
- Dorji, K.; Behboudian, H. M. and Zegbe-Domínguez, A. J. 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae* (U. K.) 104:137-149.
- During, H.; Loveys, B. R. and Dry, P. R. 1996. Root signals affect water use efficiency and shoot growth. *In*: Poini, S.; Peterlunger, E.; Lacono, F. and Intriari, C. (eds.), Proc. Workshop strategies to optimise wine grape quality. *Acta Horticulturae* (Belgium) 427:1-13.
- Gowing, D. J. G.; Davies, W. J. and Jones, H. G. 1990. A positive root-sourced signal as an indicator of soil drying in apple, *Malus domestica* Borkh. *Journal of experimental botany* (U. K.) 41(233):1535-1540.
- Holbrook, M. N.; Shashidar, V. R.; James, R. A. and Munns, R. 2002. Stomatal control in tomate with ABA-deficient roots: response of grafted plants to soil drying. *Journal of experimental. Botany* (U. K.) 53:1503-1514.
- Kramer, P. J. 1988. Changing concepts regarding plant water relations. *Plant Cell Environment* (EUA) 11:565-568.
- Loveys, B. R.; Dry, P. R.; Stoll, M. and Mc Carthy, M. G. 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Horticulturae* (Belgium) 537:187-197.
- Sigma Plot of Jandel Scientific 2001. Users guide. Flying Raichu von. Versión 7.1 SPSS Science Inc. (EUA) 435 p.
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. ISOSC. Proceedings 6th international congress on soilles culture p. 633-649.
- Stikic, R.; Popovic, S.; Srdic, M.; Savic, D.; Javanovic, Z.; Prokic, L. J. and Zdravkovic, J. 2003. Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special Issue*. p. 164-171.
- Stoll, M.; Jones, H. G. and Infante, J. M. 2002. Leaf gas exchanges and growth in red raspberries is reduced when part of the root system is dried. *Acta Horticulturae* (Belgium) 585:671-676.
- Zegbe-Domínguez, A. J.; Behboudian, H. M.; Lang, A. and Clothier, E. B. 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in Petopride processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Scientia Horticulturae* (U. K.) 98:505-510.
- Zhang, J. and Davies, W. J. 1989. Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant, Cell and Environment* (EUA) 12, 73-81.