

EFFECTO DEL CADMIO SOBRE LA ABSORCION Y DISTRIBUCION DE MANGANESO EN DISTINTAS VARIEDADES DE *LACTUCA*

A. Gárate, I. Ramos y J. J. Lucena

*Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica.
Universidad Autónoma, 28049 Madrid.*

RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado el efecto del suministro de diferentes dosis de Cd en la absorción y distribución del Mn en plantas de lechuga (*Lactuca sativa*), escarola gigante (*Lactuca serriola* cv. Hortelano) y escarola rizada (*Lactuca serriola* cv. Pancalieri). El ensayo biológico se realizó en invernadero y en hidroponía pura. Se estudiaron los tratamientos: 0.1 y 1.0 mg kg⁻¹ de Cd aplicados a plantas de 15 semanas de edad. Se llevaron a cabo análisis de Cd, Fe, Mn, Zn y Cu por espectrofotometría de absorción atómica en hoja joven, hoja adulta y raíz a los 15 y 35 días de tratamiento. Asimismo, se realizó medida de parámetros de crecimiento, tales como peso fresco y peso seco. Los resultados indican que la absorción de Mn se ve afectada por los tratamientos de Cd, siendo lechuga y escarola gigante las variedades más afectadas, llegando a reducir su absorción hasta un 75 % y un 70 %, respectivamente. En cuanto a la distribución de Mn la tendencia es a una mayor movilización de la raíz a la parte aérea a medida que se añade Cd a la disolución nutritiva en lechuga y sobre todo en escarola gigante, pero no en escarola rizada.

Palabras clave: Cadmio. Manganeso. Lechuga. Escarola. Contaminación. Absorción. Distribución.

SUMMARY

EFFECT OF CADMIUM ON MANGANESE UPTAKE AND DISTRIBUTION IN DIFFERENT CULTIVARS OF *LACTUCA*

The effect of different doses of Cd on the uptake and distribution of Mn in lettuce (*Lactuca sativa*), giant endive (*Lactuca serriola* cv. Hortelano) and curly endive (*Lactuca serriola* cv. Pancalieri) is studied. Pot experiments were carried out in the greenhouse with aerated hydropony. Treatments of 0.1 and 1.0 mg kg⁻¹ of Cd were included in 15-week old plants. Determinations of Cd, Fe, Mn, Zn y Cu were made using A. A. spectrophotometry in young and old leaves and in roots. Also growth parameters such as fresh and dry weights were recorded. Results show that Mn absorption is affected by Cd treatments, mainly in lettuce and giant endive, with reductions of 75 % and 70 %, respectively. Mn tends to move from root to shoots when Cd is added to the nutrient solution in lettuce and giant endive, but not in curly endive.

Key words: Cadmium. Manganese. Lettuce. Endive. Pollution. Uptake. Distribution.

INTRODUCCION

El cadmio es un elemento tóxico para todos los seres vivos. Las plantas lo toman con facilidad y ocasionalmente en ellas numerosos síntomas de toxicidad. Esta toxicidad del cadmio "per sé" está bien establecida; sin embargo, es necesario, además, conocer sus interacciones con otros elementos del medio ambiente, interacciones que pueden modificar la toxicidad resultante del metal y a la vez informarnos de los mecanismos de acción del cadmio.

En este sentido, se ha observado cierta interacción con el Ca^{2+} . Las funciones primarias del Ca^{2+} en plantas incluyen activación enzimática y, estabilización y mantenimiento de la pared celular. Singh y Yadava (1983) observan en *Anacystis nidulans* una menor inhibición de la absorción de NO_3^- debida al Cd^{2+} cuando adicionan Ca^{2+} , lo que sugiere una interacción antagónica entre al Ca^{2+} y el Cd^{2+} . El efecto antagónico del Ca^{2+} es probablemente por una competencia con el Cd^{2+} por los mismos lugares de absorción, debido a un muy similar radio iónico (Ca^{2+} 0.99 Å, Cd^{2+} 0.97 Å) y que los mecanismos del Ca^{2+} para reducir la toxicidad del Cd^{2+} son: competencia por el transporte a través de las membranas y protección de los espacios libres en el interior de la célula.

También se observa interacción con el Zn^{2+} . Este ion es un micronutriente esencial para las plantas, componente de muchas deshidrogenasas (Hewitt y Smith, 1974), estabilizador de las membranas y además previene la ruptura de lípidos insaturados durante la peroxidación lipí-

dica (Chvapil, 1973). En plantas de arroz deficientes en Zn, Honma y Hirata (1978) han comprobado que el cadmio se absorbe y transporta más rápidamente que en las plantas de arroz normales. Una deficiencia de Zn en planta puede traer consigo cambios fisiológicos, como pueden ser en el contenido de amidas y/o aminoácidos (Hewitt, 1963; Vallee y Wacker, 1970).

El Mn es otro micronutriente esencial para las plantas que se ve afectado en presencia de cadmio. El Mn^{2+} es importante en la fotosíntesis, a nivel del fotosistema II (FS II), ya que forma parte de un enzima, la manganoproteína, que cataliza la fotólisis del agua. Van Duijvendijk (1975) y Li y Miles (1975) sugieren que existe una interacción Cd^{2+} - Mn^{2+} de modo que el Cd^{2+} compite con el Mn^{2+} a nivel, precisamente, de la manganoproteína, afectando de este modo a la fotosíntesis.

Davis (1984 y 1986), observa que plantas de lechuga son acumuladoras de Cd, sin que concentraciones elevadas de este elemento supongan una reducción destacada en el crecimiento. Similares resultados han sido observados por Pezzarossa *et al.* (1990). Esto hace que la lechuga, así como otros "cultivos de hoja" sean una vía para la entrada de este metal en la dieta humana. Su capacidad acumuladora, sin reducción en el desarrollo vegetal, puede estar relacionada con una redistribución adecuada de los elementos con los que compite el Cd, y en especial el Mn de modo que su efecto tóxico no sea mostrado por la planta.

Así, con este trabajo pretendemos

verificar el efecto de distintas concentraciones de Cd aplicadas en la disolución nutritiva en el desarrollo vegetal y en la absorción y distribución del Mn por distintas variedades de *Lactuca* cultivadas en hidroponía.

MATERIALES Y METODOS

Semillas de lechuga (*Lactuca sativa*, cv. amarilla de invierno), escarola gigante (*Lactuca Serriola* cv. Hortelano) y escarola rizada (*Lactuca serriola* cv. Pancalieri) se dejaron germinar sobre un sustrato mezcla de turba y arena de cuarzo lavada al ácido. Así, se mantuvieron las plantas durante un periodo de 75 días, regándose con la disolución nutritiva completa, pero diluida al 50 %.

Tras este período las plantas se trasplantaron a tiestos de plástico de 0.7 L de capacidad, a razón de cuatro plantas por tiesto, utilizando como soporte planchas de poliestireno expandido agujereadas y con un sistema de burbujeo de aire en la disolución nutritiva, que ya fue sin diluir. Cuando los cultivos alcanzaron un porte similar, 24 días para lechuga y 32 para escarola, las plantas se trasplantaron a tiestos de mayor capacidad, 3 L, y sólo dos plantas por tiesto. A partir de este momento se iniciaron los tratamientos.

La experiencia se realizó en invernadero de investigación, con disolución nutritiva de Long Ashton (He-

witt y Smith, 1975). El pH final de la misma fue de 5.5. La disolución nutritiva se renovaba una vez a la semana. Las temperaturas máxima y mínima, y la humedad se mantuvieron dentro de los límites, 13-28 °C y 50-80 %, respectivamente, en el período de aplicación de los tratamientos. Los tratamientos fueron 0; 0.1 y 1.0 mg L⁻¹ de Cd a partir de una disolución madre de 1000 mg L⁻¹ de Cd, suministrándose como 3CdSO₄ · J 8H₂O (Merck), con tres repeticiones por tratamiento. El material vegetal, raíces, hojas jóvenes y hojas adultas se muestreó tres veces, justo antes de comenzar el tratamiento, a los 15 días y a los 35 de su inicio. Las muestras vegetales se secaron en estufa a 80 °C hasta peso constante. Tras digestión ácida de las mismas en medio nítrico-sulfúrico-perclórico (5:1:2) y enrase a 25 mL con agua destilada, el contenido de Cd, Fe, Mn, Cu y Zn se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando llama de aire-acetileno y lámpara de cátodo hueco.

RESULTADOS Y DISCUSION

Influencia del Cd en la absorción del Mn y otros micronutrientes

En la Tabla 1 se ofrecen los valores medios, correspondientes a las

tres repeticiones, del peso seco de las distintas partes de lechuga, escarola gigante y escarola rizada y los resultados del test de Duncan. En general, el suministro de cadmio no pro-

TABLA 1

Peso seco obtenido (g m.s.) por órgano para cada variedad y tratamiento. HA: Hoja adulta. HJ: Hoja joven. Letras diferentes en un mismo órgano y variedad denotan diferencias significativas al 99 % entre tratamientos según el test de Duncan.

	LECHUGA		ESC. GIGANTE		ESC. RIZADA	
	1 Toma	2 Toma	1 Toma	2 Toma	1 Toma	2 Toma
Raíz						
0.0	2.00a	2,30a	1.83a	4.40a	3.30a	8.65a
0.1	1.53a	3.00a	1.20a	3.16b	2.80a	9.33a
1.0	1.86a	2.70a	1.53a	2.06b	3.86a	8.80a
HA						
0.0	3.96a	5.06a	4.86a	8.53ab	6.63a	11.25a
0.1	3.56a	4.70a	3.76a	9.16a	4.36b	11.96a
1.0	3.53a	4.23a	3.86a	6.56b	6.33a	8.00a
HJ						
0.0	3.40a	7.90a	4.10a	4.56a	2.66a	10.00a
0.1	3.96a	5.73a	2.76a	4.56a	2.66a	10.40a
1.0	2.70a	6.50a	2.76a	4.26a	3.50a	10.00a

dujo un efecto significativo sobre el desarrollo vegetal de los cultivos ensayados. No se apreció reducción del crecimiento ni de la productividad en las plantas tratadas. Esto mismo fue observado por Pezzarossa *et al.* (1990) en plantas de lechuga.

En la Tabla 2 aparecen resultados medios de concentración de cadmio, correspondientes a las tres repeticiones, en los distintos órganos muestreados y para los tres cultivos ensayados y los resultados del ensayo de Duncan. La mayor concentración de cadmio se dio en la raíz y la menor en hoja joven, llegándose a alcanzar en raíz 1.300 mg Cd kg⁻¹ m. s. en el tratamiento de 1.0 mg kg⁻¹ de cadmio en disolución nutritiva (D.N.), mientras que en la parte aérea la

concentración se situó alrededor de los 125 mg Cd kg⁻¹ m. s. Lechuga y escarola gigante son las especies que más cadmio acumulan, con concentraciones similares. Una elevada acumulación de cadmio en plantas de lechuga también ha sido encontrada por Davis (1984 y 1986), siendo escarola rizada la especie que acumula menor cantidad de cadmio, tal como se muestra en la Tabla 2.

En la Tabla 3 se presentan los valores medios de la concentración de Mn en las distintas partes de lechuga, escarola gigante y escarola rizada y los resultados del ensayo de Duncan. En general, se observa una reducción grande de la concentración de Mn en raíz, especialmente en lechuga y escarola gigante para una concentra-

TABLA 2

Concentración de Cd (mg kg^{-1} m.s.) en cada tipo de órgano para cada variedad y tratamiento. HA: Hoja adulta. HJ: Hoja joven. Letras diferentes en un mismo órgano y variedad denotan diferencias significativas al 99 % entre tratamientos según el test de Duncan.

	LECHUGA		ESC. GIGANTE		ESC. RIZADA	
	1 Toma	2 Toma	1 Toma	2 Toma	1 Toma	2 Toma
Rafz						
0.0	2.5b	5.2b	2.3b	1.2b	1.3b	1.2b
0.1	182 b	115 b	86.0b	54.0b	88.6b	52.8b
1.0	1336 a	740 a	910 a	902 a	693 a	727 a
HA						
0.0	9.93c	2.3c	1.7b	2.5c	0.8c	1.0c
0.1	34.8 b	56.6b	22.1b	31.0b	12.0b	23.6b
1.0	70.7 a	137 a	80.8a	142 a	58.3a	100 a
HJ						
0.0	2.00c	2.6c	1.2c	0.7b	1.0c	0.7c
0.1	21.0 b	27.5b	26.2b	20.0b	14.1b	14.2b
1.0	45.0 a	82.6a	68.0a	86.5a	54.8a	54.2a

ción de cadmio de 1.0 mg L^{-1} en D.N.

La absorción de Mn se ve afectada por los tratamientos de cadmio, tal como se muestra en las figuras 1 a 3. Escarola gigante y lechuga son los cultivos en los que más se reduce el Mn tomado de la D.N. A mayor concentración de cadmio en D.N. se reduce más la absorción de Mn. La escarola rizada se muestra menos afectada en cuanto a la capacidad de absorción de Mn.

En la Tabla 4 se muestra el efecto global del cadmio sobre la absorción de los micronutrientes ($\Sigma (\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{Zn})$). Se observa cómo la absorción de micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn en escarola rizada es aproximadamente el doble

de la absorción advertida en lechuga y escarola gigante en la segunda toma de muestra y para todos los tratamientos. Esta variedad es la que sufre menos reducción en la absorción de Mn, así como la que tiene menor concentración de Cd en la segunda toma de muestra.

Influencia del cadmio en la distribución del Mn

Los resultados de distribución de Mn en las distintas variedades se presentan en la figura 4 en la que aparecen porcentajes de Mn en raíz y parte aérea para cada una de las dosis de cadmio a los 35 días de tratamiento.

La distribución de Mn sigue dos

comportamientos, conforme los resultados presentados en la figura 4. Así, en lechuga y escarola gigante parece apreciarse una mayor movilización de Mn, desde la raíz a la parte aérea, a medida que la concentración de cadmio en la D.N. aumenta, siendo además este efecto mayor cuanto mayor es la duración del tra-

tamiento. Por otro lado, en la escarola rizada, la distribución del Mn no se ve afectada por los tratamientos de cadmio.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Están *et al.* (1988) en plantas de pimiento y contrastan, sin embargo, con los obtenidos por Cabot *et al.* (1988), que observan

Lechuga

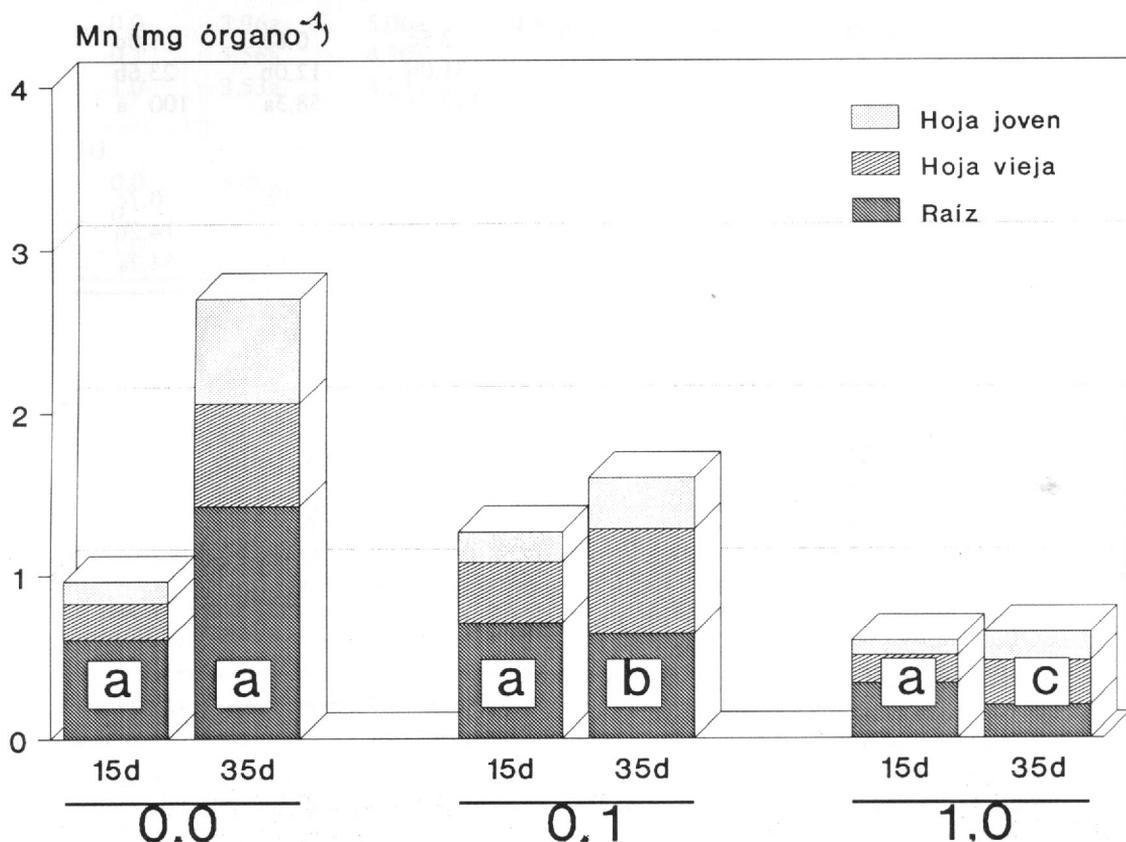


FIG. 1.—Distribución de Mn en distintos órganos (Raíz: R, Hoja Adulta: HA y hoja Joven: HJ) en lechuga. Letras diferentes para una misma época denotan diferencias significativas en el Mn total por planta entre tratamientos.

Escarola Gigante

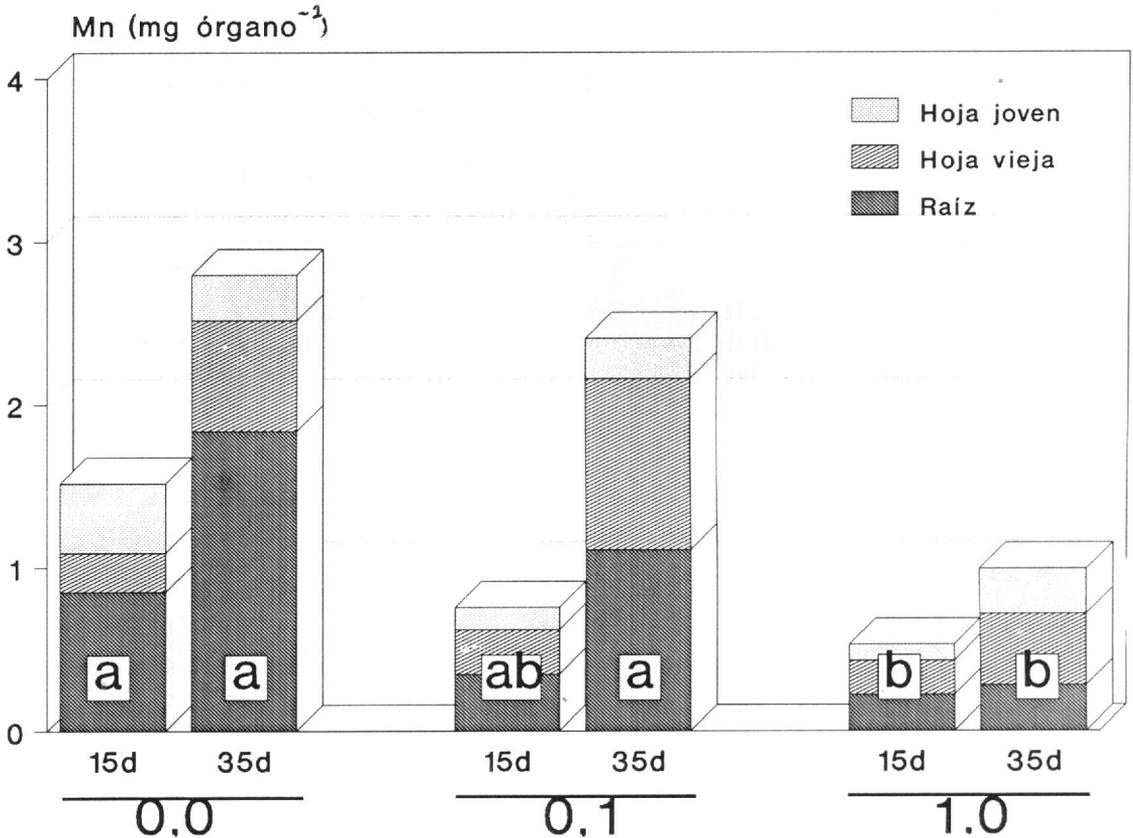


FIG. 2.—Distribución de Mn en distintos órganos (Raíz: R, Hoja Adulta: HA y Hoja Joven: HJ) en Escarola gigante. Letras diferentes para una misma época denotan diferencias significativas en el Mn total por planta entre tratamientos.

en plantas de judía una disminución en la concentración de Mn en la parte aérea mientras que en las raíces aumenta, a medida que se incrementa la concentración de Cd en la D.N.

Observamos, por tanto, que por un lado se reduce la absorción de Mn en presencia de cadmio, y por otro lado se aumenta la movilización de este elemento a la parte aérea. Una explicación a esto podría ser,

que de alguna forma la planta trata de cubrir el suministro de este bioelemento en la parte aérea, donde por otro lado, en la bibliografía se ha visto que el Mn se precisa a nivel de una enzima, la manganoproteína, que interviene en la fotólisis del agua en la fotosíntesis, según se ha comentado anteriormente en la introducción.

TABLA 3

Concentración de Mn ($\text{mg kg}^{-1} \text{m.s.}$) en cada tipo de órgano para cada variedad y tratamiento. HA: Hoja adulta. HJ: Hoja joven. Letras diferentes en un mismo órgano y variedad denotan diferencias significativas al 99% entre tratamientos según el test de Duncan.

	LECHUGA		ESC. GIGANTE		ESC. RIZADA	
	1 Toma	2 Toma	1 Toma	2 Toma	1 Toma	2 Toma
Rafz						
0.0	302ab	622a	468a	426a	184b	252a
0.1	455a	213b	286b	340a	330a	199a
1.0	182b	74c	145c	114b	212b	172a
HA						
0.0	57a	126a	49b	79ab	55c	86b
0.1	94a	137a	72a	114a	72b	125a
1.0	52a	64b	54b	67b	95a	87b
HJ						
0.0	35b	76a	35a	38b	34b	57a
0.1	53a	54b	50a	68a	49a	46a
1.0	29b	26c	36a	58a	58a	64a

TABLA 4

Absorción de micronutrientes ($\Sigma (\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{Zn})$, $\mu\text{g planta}^{-1}$) en los cultivos estudiados con los dos tratamientos de Cd y en las dos tomas de muestra. Letras diferentes para la misma columna (misma variedad y toma de muestreo) implican diferencias significativas entre tratamientos al 99% según el test de Duncan.

Cd en D.N.	LECHUGA		ESC. GIGANTE		ESC. RIZADA	
	1 Toma	2 Toma	1 Toma	2 Toma	1 Toma	2 Toma
Testigo	4956a	9900a	5086a	12269a	7473a	20498a
0.1	4674a	9457a	3704b	9159ab	5768ab	21910a
1.0	3669a	7063a	3505b	5839b	5109b	16073a

Escarola Rizada

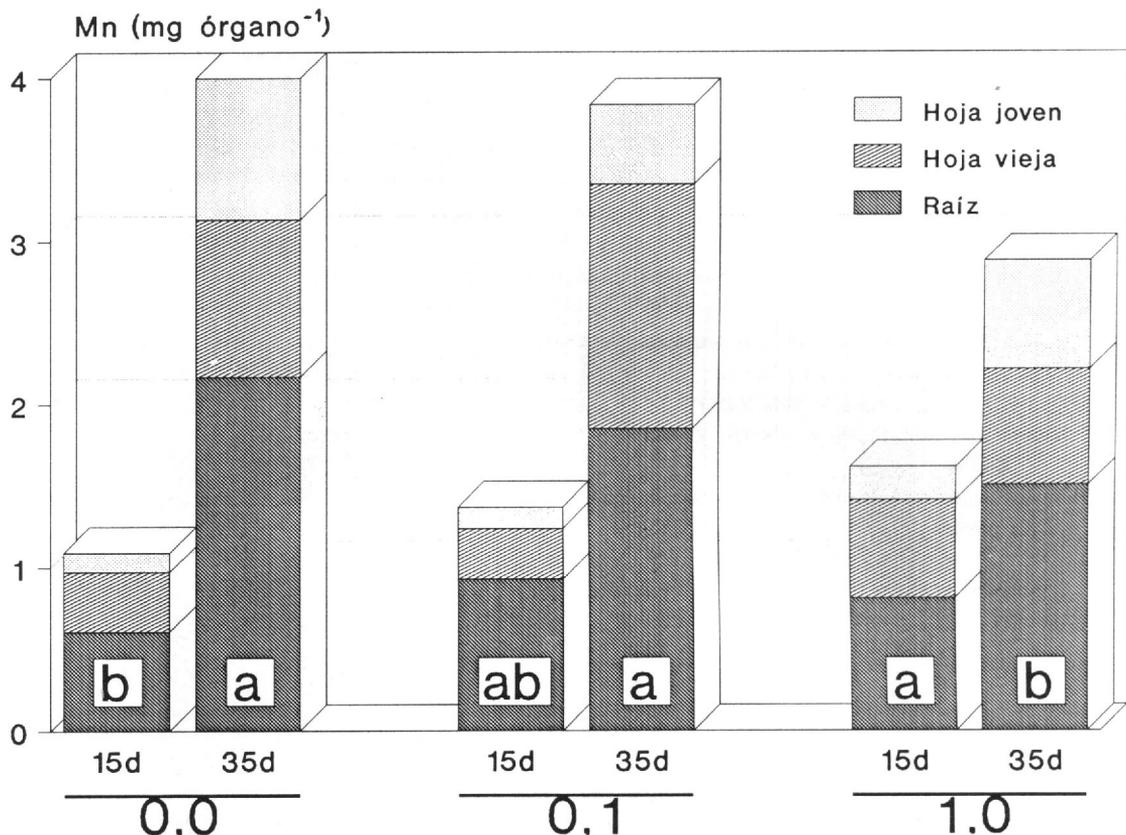


FIG. 3.—Distribución de Mn en distintos órganos (Raíz: R, Hoja Adulta: HA y Hoja Joven: HJ) en Escarola rizada. Letras diferentes para una misma época denotan diferencias significativas en el Mn total por planta entre tratamientos.

CONCLUSION

De los resultados obtenidos podemos concluir que existe especificidad respecto a la absorción de Cd. Así, en escarola gigante se observa, en general, una menor capacidad

para captar metales, y sin embargo, la absorción de Cadmio es un 40 % superior que en la escarola rizada, donde la capacidad de captar metales es mayor.

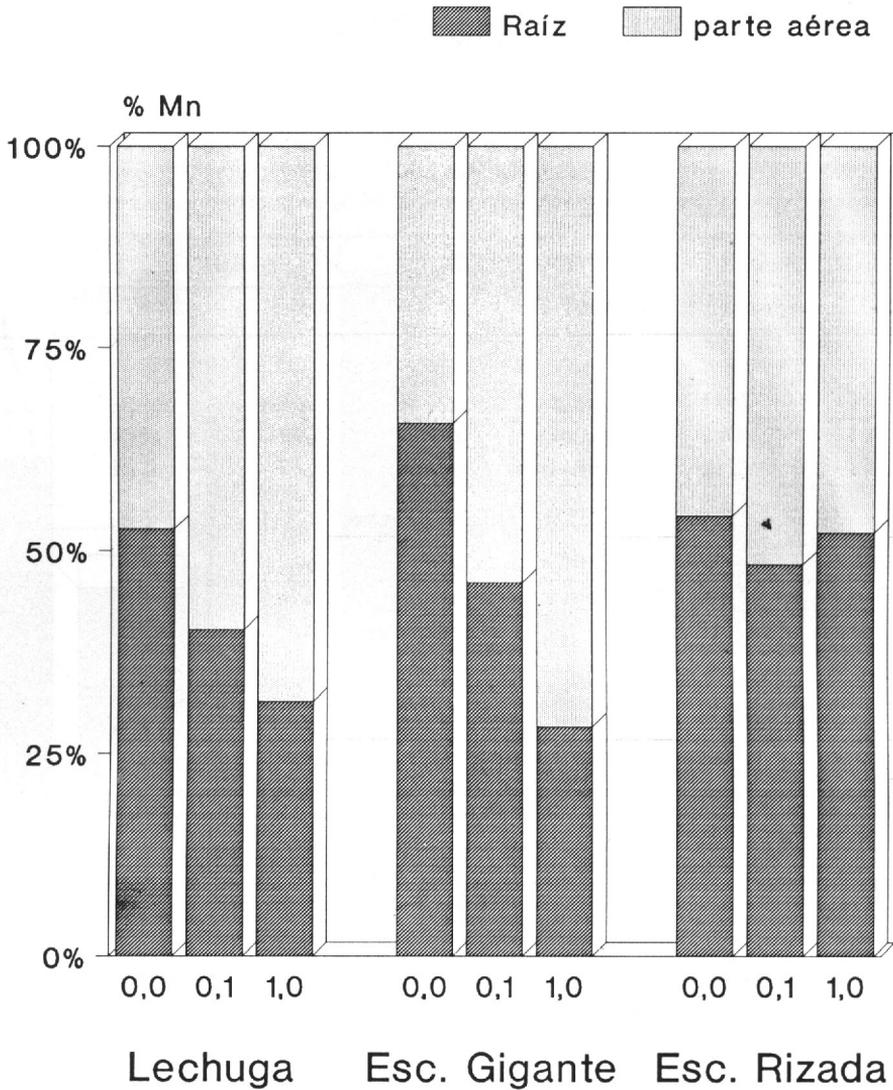


FIG. 4.—Comparación del efecto de los tratamientos sobre la distribución porcentual de Mn en parte aérea y raíz para las tres variedades consideradas, y a los 35 días de tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

- CABOT, C., POSCHENRIEDER, CH. y BARCELO, J., 1988. Efecto del cadmio sobre la fructificación en judía. Actas II Simposio nacional de la nutrición de las plantas. Granada, 169-178.
- CHVAPIL, M., 1973. New aspects in the biological role of zinc: A stabilizer of macromoles and biological membranes. Life Sci., 13: 1041-1049.

- DAVIS, R. D., 1984. Cadmium- a environmental problem. Part. 2. Cadmium in sludge used as fertilizer. *Experientia*, 40: 117-126.
- DAVIS, R. D., 1986. Cadmium in sludge used as fertilizer. *Experientia - Suppl.*, 50: 55-65.
- ESTAN, M., ROMERO, M. y GUILLEN, M., 1988. Toxicidad de cadmio en pimiento. *Agrochimica*, 23: 141-149.
- HEWITT, E. J., 1963. Essential Nutrient Elements for plants, In: *Plant Physiology*, III, Ed. by F. C. Steward, Academic Press, New York. 137-360.
- HEWITT, E. J. and SMITH, T. H., 1974. *Plant Mineral Nutrition*. The English Universities Press. London.
- HONMA, Y. and HIRATA, H., 1978. Noticeable increase in cadmium absorption by deficient rice plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 24: 295-297.
- LI, E. H. and MILES, C. D., 1975. Effects of cadmium on photoreaction II of chloroplasts. *Plant Sci. Lett.*, 5: 33-40.
- PEZZAROSSA, B., MALORGIO, F., LUBRANO, L., TOGNONI, F. and PETRUZZELLI, G., 1990. Phosphatic fertilizers a source of heavy metals in protected cultivation. *Commun. Soil Science Plant Anal.*, 21: 737-751.
- SINGH, S. P. and YADAVA, V., 1983. Cadmium induced inhibition on nitrate uptake in *Anacystis nidulans*: interaction with other divalent cations. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 29: 297-304.
- VAN DUIJENDIJK-MATTEOLI, M. A. and DESMET, G. M., 1975. On the inhibitory action of cadmium on the donor side of photosystem II in isolated chloroplasts. *Biochim. Biophys. Acta*, 408: 164-169.
- VALLEE, B. L. and WACKER, W. E. C., 1970. Metalloproteins, En: *The Proteins*, V. 2.^a Ed. H. Neutath (Ed.). Academic Press. N. Y.

Recibido: 2-3-92.

Aceptado: 25-6-92.