

Comunicación

Influencia de los Niveles de Hierro en la Absorción de Manganeso por Plantas de Soja¹

E.O. Leidi*, M. Gómez*

ABSTRACT

The uptake of manganese was studied in Mn-sensitive and Mn-tolerant soybean cultivars grown over a range of Fe and Mn supplies in solution culture. The Fe levels in solution affected both Mn concentration and content in all the plant parts analyzed. The decrease of Mn concentration by the increase in Fe supply was more important at high Mn levels in solution, although certain differences between cultivars were observed. Antagonism and a dilution effect caused by the enhancement of growth by increasing Fe levels could explain the changes in plant Mn levels registered.

COMPENDIO

Se estudió la absorción de Mn en cultivares de soja sensibles y tolerantes al exceso de Mn, empleando distintos niveles de Fe y Mn en solución nutritiva. Los niveles de Fe afectaron la concentración y el contenido de Mn en todas las partes analizadas. La disminución de la concentración de Mn por el incremento en el suministro de Fe fue más importante en condiciones de altos niveles de Mn en solución, aunque se observaron algunas diferencias entre cultivares. Los cambios en los niveles de Mn en las plantas podrían explicarse por antagonismo y por un efecto de dilución debido a la mejora del crecimiento, producida por el aumento del nivel de hierro.

INTRODUCCION

La importancia de la relación entre los nutrientes Fe y Mn para el crecimiento óptimo de plantas de soja se ha reconocido desde los trabajos de Somers y Shive (15). Se ha señalado que en lino se da una interacción entre la absorción de Fe y Mn y los genótipos vegetales (13).

El incremento de concentración de Fe en el medio nutritivo produce la disminución de la absorción de Mn en soja (14). Este fenómeno también ha sido observado en distintas especies como trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) (8), *Juncus effusus* L. (5) y judía (10). En tomate, se registró un incremento en la

absorción y transporte de Mn a bajas concentraciones de Fe. Sin embargo, con altos niveles de Fe en solución, el Mn absorbido permanecía acumulado en la raíz. Estos resultados contrastan con los de Kohno y Foy (10), quienes indicaron que en judía el incremento en concentración de Fe reducía la absorción radical de Mn pero no inhibía su transporte a la parte aérea. Se ha señalado que altos niveles de Fe disminuyen la concentración de Mn en plantas de soja del cultivar Bragg, probablemente, debido a una reducción en la tasa de absorción de Mn, a su retención en las raíces o a ambos fenómenos. Recientemente, Baxter y Osman (1) observaron que las aplicaciones de Fe EDDHA al suelo, redujeron la concentración de Mn en los cuatro cultivares de soja que analizaron.

1 Recibido para publicación el 10 de marzo de 1989.

* U.E.I. Fisiología Vegetal; Estación Experimental del Zaidín; Granada, España.

En este trabajo se pretendió determinar la magnitud de la influencia del Fe en la absorción de

Mn desde concentraciones de deficiencia a exceso, empleando cultivares de soja con distinto comportamiento a los niveles de Mn.

MATERIALES Y METODOS

Semillas de soja (*Glycine max* (L.) Mer.) de cultivares tolerantes (Lee, T-203) o sensibles (Bragg, Forrest y Williams) al exceso de Mn (3, 12) se hicieron germinar a 28°C en placas de Petri humedecidas con SO₄Ca 0.5 mM. A las 72 horas se seleccionaron plántulas por uniformidad de longitud radicular y se trasplantaron a soluciones nutritivas con la siguiente composición (mM): N, 10; P, 0.16; S, 2; K, 5; Ca, 4.5; Mg, 1.5; (μ M): B, 46.2; Cu, 0.8; Zn, 0.8; Mo, 0.05. El pH inicial fue 5.5. Se suministró aereación continua por borboteo. Los tratamientos consistieron en tres niveles de Mn (0.0, 1.8 y 91.0

μ M) (SO₄Mn.H₂O) combinados con tres niveles diferentes de Fe (4.5, 17.9 y 44.8 μ M) (Fe EDDHA).

Al cabo de dos semanas de cultivo en cámara de crecimiento (ciclos de 14 h luz/10 h oscuridad, 30°C - 20°C, 60% - 80% humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa 390 μ E.s⁻¹.m⁻²), las plantas alcanzaron el estado vegetativo V3 (6), momento elegido para el muestreo. Las plantas se fraccionaron en: primer par de hojas simples, primera y segunda trifolioladas, tallos (incluyendo pecíolos) y raíces. Las raíces se lavaron con tres inmersiones en agua desmineralizada. Todo el material vegetal se colocó en estufa de aire forzado a 70°C durante 48 horas. Luego se determinó el peso seco y se llevaron a cabo análisis químicos. El análisis de la concentración de Mn en las distintas fracciones se realizó por espectrofotometría de absorción atómica de las muestras mineralizadas por calcinación y digestión en C1H

Cuadro 1. Concentración y contenido de manganeso en el primer par de hojas simples de variedades de soja cultivadas con diferentes niveles de Mn y Fe.

Tratamientos (μ M)		Concentración de Mn (μ g/g)				
Mn	Fe	Bragg	Lee	Forrest	T-203	Williams
0.0	4.5	33.6	27.5	24.6	15.2	22.8
0.0	17.9	17.9	16.2	18.5	15.5	19.8
0.0	44.8	18.5	19.3	20.8	13.7	18.8
1.8	4.5	77.3	107.7	99.9	77.6	105.8
1.8	17.9	61.4	61.0	108.7	54.5	59.8
1.8	44.8	61.1	46.4	61.8	38.6	52.9
91.0	4.5	921.9	1112.1	856.5	352.3	934.4
91.0	17.9	673.2	888.9	707.7	431.6	920.4
91.0	44.8	408.0	499.8	501.0	378.8	615.1
MDS _{0.05}		5.65				
		Contenido de Mn (μ g/órgano)				
0.0	4.5	2.7	1.9	1.6	2.2	2.4
0.0	17.9	1.8	1.4	1.4	2.1	2.1
0.0	44.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2.1
1.8	4.5	9.9	10.6	7.7	11.3	12.5
1.8	17.9	6.9	6.0	9.0	7.8	8.0
1.8	44.8	7.2	4.5	5.0	5.9	6.8
91.0	4.5	65.8	82.9	63.4	51.1	103.3
91.0	17.9	62.7	67.5	51.7	49.1	101.2
91.0	44.8	34.8	37.4	36.9	45.5	63.0
MDS _{0.05}		5.21				

concentrado (4). Las determinaciones se efectuaron tres veces. El análisis de la variancia se efectuó sobre datos transformados $\ln(x + 1)$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los niveles de Fe suministrados en las soluciones nutritivas se relacionaron positivamente con el peso seco de hojas y tallos en los cultivares Bragg, Forrest, T-203 y Williams, pero no existió tal relación para el cultivar Lee (datos no presentados).

Los valores de concentración y contenido de Mn para los distintos tejidos de los cultivares de soja estudiados se presentan en los cuadros 1 a 5. En las tres hojas muestreadas (primer par simple, y primera y segunda trifolioladas), procedentes de diferentes niveles y con distinto estado de crecimiento, el incremento de Fe en la solución disminuyó la concentración de manganeso. Sólo los cultivares Forrest en condiciones de suministro medio de Mn, y T-203

con un nivel alto del mismo nutrimento, presentaron concentraciones superiores de Mn al incrementarse el nivel de Fe de 4.5 a 17.9 μM . El efecto más pronunciado de disminución de concentración de Mn, por aumento en el nivel de Fe externo, se registró en condiciones de alta concentración de Mn en solución. En esta misma situación, el cultivar Lee alcanzó las mayores concentraciones foliares de Mn, mientras que T-203 presentó las mínimas. Considerándose a ambos cultivares como tolerantes al exceso de Mn, sólo el cultivar T-203 respondería con la estrategia de las especies "excluyentes" (7, 17). El cultivar Lee, por su parte, presentaría otros mecanismos de resistencia al exceso de Mn (2, 11).

En situaciones de deficiencia de Mn, el incremento de Fe determinó una aparente mejoría en la redistribución del Mn disponible en el primer par de hojas simples. Sin embargo, las diferencias en concentración de Mn entre cultivares y la ausencia de diferencias claras entre hojas superiores no permiten confirmar la hipótesis.

Cuadro 2. Concentración y contenido de manganeso en la primera hoja trifoliolada de variedades de soja cultivadas con diferentes niveles de Mn y Fe.

Tratamientos (μM)		Concentración de Mn ($\mu\text{g/g}$)						
Mn	Fe	Bragg	Lee	Forrest	T-203	Williams		
0.0	4.5	15.8	18.6	15.0	12.5	17.2		
0.0	17.9	14.4	11.0	14.0	9.7	15.3		
0.0	44.8	12.4	14.3	16.3	12.8	13.7		
1.8	4.5	56.8	69.2	58.9	61.7	60.9		
1.8	17.9	52.0	52.6	64.2	51.1	43.0		
1.8	44.8	53.0	38.2	54.9	33.5	36.1		
91.0	4.5	846.8	1179.5	706.7	286.6	815.7		
91.0	17.9	624.1	868.9	665.1	472.7	816.0		
91.0	44.8	324.8	407.3	389.8	291.1	435.4		
MDS _{0.05}			7.93					
		Contenido de Mn ($\mu\text{g}/\text{órgano}$)						
0.0	4.5	1.5	1.5	0.9	1.5	1.7		
0.0	17.9	1.6	0.8	1.3	1.1	1.8		
0.0	44.8	1.5	1.2	1.6	1.7	1.7		
1.8	4.5	8.0	7.7	6.5	6.7	10.4		
1.8	17.9	6.3	6.3	7.1	8.8	8.1		
1.8	44.8	6.9	4.5	6.1	6.1	6.4		
91.0	4.5	38.8	79.5	26.0	35.1	62.1		
91.0	17.9	66.7	71.1	66.2	55.0	110.6		
91.0	44.8	28.0	32.4	39.8	43.7	57.2		
MDS _{0.05}			5.58					

Cuadro 3. Concentración y contenido de manganeso en la segunda hoja trifoliolada de variedades de soja cultivadas con diferentes niveles de Mn y Fe.

Tratamiento (μM)		Concentración de Mn ($\mu\text{g/g}$)					
Mn	Fe	Bragg	Lee	Forrest	T-203	Williams	
0.0	4.5	11.0	15.5	15.9	11.9	13.3	
0.0	17.9	10.5	11.0	16.3	10.4	13.5	
0.0	44.8	10.5	10.5	17.1	14.0	11.6	
1.8	4.5	53.4	73.6	59.2	55.8	50.9	
1.8	17.9	52.7	59.7	60.2	35.7	37.4	
1.8	44.8	43.8	36.1	43.7	29.1	29.5	
91.0	4.5	1 013.4	1 182.1	993.4	257.9	998.0	
91.0	17.9	621.6	1 007.5	588.8	407.6	553.1	
91.0	44.8	286.9	358.1	346.4	247.5	393.0	
MDS _{0.05}		5.09					
		Contenido de Mn ($\mu\text{g}/\text{organo}$)					
0.0	4.5	0.8	1.1	0.7	0.4	0.9	
0.0	17.9	0.8	0.7	1.1	0.4	1.2	
0.0	44.8	0.8	0.7	1.3	1.2	0.8	
1.8	4.5	4.0	5.9	4.5	1.6	5.9	
1.8	17.9	4.1	5.1	4.6	4.6	4.4	
1.8	44.8	3.6	3.2	3.2	3.8	3.4	
91.0	4.5	36.8	78.7	30.9	11.5	33.6	
91.0	17.9	45.9	66.1	44.9	28.7	64.6	
91.0	44.8	19.0	22.6	24.9	23.7	34.7	
MDS _{0.05}		6.34					

Los contenidos de Mn en hojas disminuyeron debido a los aumentos de concentración de Fe en los tratamientos con niveles medio y alto de manganeso.

En los tallos y raíces (Cuadros 4 y 5), los incrementos de Fe produjeron efectos semejantes sobre los valores de concentración y contenido de manganeso. En raíces destaca la proporción de Mn retenida por los cultivares y la diferencia de respuesta a los incrementos iniciales de Fe (de 4.5 a 17.9 μM). En los cvs. Bragg y Forrest se observó un aumento de concentración y contenido, efecto que no se detectó en los restantes cultivares. Las diferencias de concentración entre cultivares fueron importantes. El cultivar T-203 presentó la mayor acumulación de Mn en raíces con el suministro más elevado de hierro. Se ha señalado una menor concentración de Mn en las raíces del cultivar Bragg para tratamientos similares, debido probablemente al efecto de una solución e intercambio iónico empleada antes de secar el material.

Considerando los efectos generales del nivel de Fe en solución sobre el crecimiento y la concentración y contenido de Mn, según la terminología propuesta por Jarrell y Beverly (9), éstos serían de antagonismo en la absorción de Mn para los casos donde no se dieron cambios significativos de crecimiento, y un efecto de dilución del Mn absorbido cuando la disminución en concentración y contenido del elemento podrían atribuirse a una mejoría del crecimiento. Los resultados expuestos hacen pensar que ambos efectos ocurrieron simultáneamente, si bien debe destacarse la existencia de respuestas particulares de algunos cultivares con determinados niveles de Mn en solución.

No se puede descartar, en condiciones de bajo suministro de Fe, el posible estímulo de la absorción de Mn por el mecanismo de respuesta al estrés de Fe por los cultivares Fe-eficientes, como se ha indicado en girasol (16). Se ha observado que incrementando los niveles de Fe y disminuyendo los de Mn se producía una disminución en la tasa de absorción de Mn

Cuadro 4. Concentración y contenido de manganeso en tallos de variedades de soja cultivadas con diferentes niveles de Mn y Fe.

Tratamiento (μM)		Concentración de Mn ($\mu\text{g/g}$)					
Mn	Fe	Bragg	Lee	Forrest	I-203	Williams	
0 0	4.5	8.9	8.2	9.9	9.8	17.4	
0 0	17.9	5.5	6.4	9.9	8.3	7.8	
0 0	44.8	7.6	7.7	10.4	10.4	9.1	
1 8	4.5	22.3	27.6	25.3	38.4	23.8	
1 8	17.9	25.5	24.6	25.2	20.5	17.5	
1 8	44.8	23.3	21.1	17.6	16.3	15.5	
9 1 0	4.5	496.9	460.9	659.6	147.2	545.0	
9 1 0	17.9	253.6	342.1	247.8	200.6	202.3	
9 1 0	44.8	120.9	140.6	157.7	121.9	161.7	
MDS _{0.05}		3.53					
		Contenido de Mn ($\mu\text{g}/\text{órgano}$)					
0 0	4.5	1.9	1.8	1.0	1.4	2.7	
0 0	17.9	1.6	1.6	1.6	1.1	1.7	
0 0	44.8	1.6	1.8	1.8	2.0	1.5	
1 8	4.5	3.8	5.1	4.0	4.2	5.4	
1 8	17.9	4.1	4.9	4.1	3.9	4.1	
1 8	44.8	4.2	4.1	2.6	3.0	3.2	
9 1 0	4.5	61.0	87.2	55.0	18.2	68.6	
9 1 0	17.9	74.3	59.5	42.6	28.8	50.8	
9 1 0	44.8	19.9	25.9	25.0	19.2	31.2	
MDS _{0.05}		7.12					

Cuadro 5. Concentración y contenido de manganeso en raíces de variedades de soja cultivadas con diferentes niveles de Mn y Fe.

Tratamiento (μM)		Concentración de Mn ($\mu\text{g/g}$)					
Mn	Fe	Bragg	Lee	Forrest	I-203	Williams	
0 0	4.5	7.6	15.5	13.7	9.9	8.6	
0 0	17.9	7.7	7.9	8.7	5.7	7.8	
0 0	44.8	5.8	6.6	7.9	7.9	6.4	
1 8	4.5	200.5	187.0	202.0	127.4	146.9	
1 8	17.9	231.2	178.8	180.3	98.4	134.6	
1 8	44.8	203.8	132.8	111.8	81.7	95.9	
9 1 0	4.5	4 448.8	4 356.1	4 042.0	3 222.9	3 232.0	
9 1 0	17.9	4 569.5	2 640.2	7 561.6	2 828.1	2 421.9	
9 1 0	44.8	1 332.1	1 647.4	3 061.4	3 494.9	1 735.7	
MDS _{0.05}		10.06					

Continuación Cuadro 5.

Tratamiento (μM)		Contenido de Mn ($\mu\text{g}/\text{órgano}$)				
Mn	Fe	Bragg	Lee	Forrest	T-203	Williams
0.0	4.5	0.8	1.5	1.1	1.6	7.0
0.0	17.9	1.0	0.7	0.9	1.0	1.1
0.0	44.8	0.8	0.7	0.9	1.2	0.9
1.8	4.5	24.0	21.9	24.4	21.3	24.7
1.8	17.9	26.4	20.0	18.8	18.5	23.3
1.8	44.8	24.4	15.8	11.9	15.6	14.5
91.0	4.5	343.9	402.3	309.1	584.2	370.9
91.0	17.9	532.2	226.1	842.3	453.7	421.8
91.0	44.8	116.8	156.8	279.6	528.2	245.3
MDS _{0.05}			22.79			

por plantas de soja del cv. Bragg. En general, nuestros resultados coinciden con los de otros autores, en cuanto a la depresión en la concentración de Mn en los tejidos a causa del aumento en el nivel de Fe externo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la diferencia de respuesta entre cultivares.

El Fe puede interferir en la absorción de Mn por mecanismos de competencia por los sitios de absorción, pero, este fenómeno no resulta específico y excluyente según el nivel de Mn o el cultivar considerado. De existir un antagonismo específico, la reducción de absorción de Mn en condiciones de suministro medio del mismo nutriente habría sido más importante. Al menos en situaciones de exceso de Mn en el medio, parte de la disminución en concentración y contenido de Mn foliar puede explicarse por un efecto de dilución, al mejorar la tasa de crecimiento con el aumento en el nivel de Fe externo.

LITERATURA CITADA

- BAXTER, J.C.; OSMAN, M. 1988. Evidence for the existence of different uptake mechanisms in soybean and sorghum for iron and manganese. *J. Plant Nutrition* 11:51-64.
- BROWN, J.C.; DEVINE, I.E. 1980. Inheritance of tolerance or resistance to manganese toxicity in soybeans. *Agronomy Journal* 72:898-904.
- BROWN, J.C.; JONES, W.E. 1977. Fitting plants nutritionally to soils. I. Soybeans. *Agronomy Journal* 68:399-404.
- CHIAF. 1973. Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux: Détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Mn, Zn et Cu par absorption atomique. *Oléagineux* 28:87-92.
- CHYNNERY, L.E.; HARDING, C.P. 1980. The effect of ferrous iron on the uptake of manganese by *Juncus effusus* L. *Annals of Botany* 46:409-412.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. 1977. Stages of soybean development. Iowa State University, Coop. Extension Service Agric. Home Econom. Exp. Station. Science Technology Special Report 80.
- FOY, C.D. 1983. The physiology of plant adaptation to mineral stress. *Iowa State Journal of Research* 57:355-391.
- HANGER, B.C. 1965. The influence of iron upon the toxicity of manganese, molybdenum, copper, and boron in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 31:315-317.
- JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy* 34:197-224.
- KOHNO, Y.; FOY, C.D. 1983. Manganese toxicity as affected by concentration of manganese and iron in the nutrient solution. *J. Plant Nutrition* 6:363-386.

11. LEIDI, E.O.; GOMEZ, M. 1985. Estudio de la nutrición ferro-manganesica (*Glycine max* (L.) Merr.): Diferencias de comportamiento de ciertos indicadores bioquímicos entre cultivares. In International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition (6.). Actes Proceedings. P. Martin-Prevel (Ed). Montpellier, France, AIONP/GERDAT. v. 4. p. 1079-1084.
12. LEIDI, E.O.; GOMEZ, M. 1987. Efecto de los niveles de Fe y Mn sobre el crecimiento de distintos cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merr.). An. Edaf. Agrobiology 45:189-198.
13. MORAGHAN, J.I.; RALOWICZ, P. 1979. Relative responses of four flax differential lines to FeEDDHA. Crop Science 19:9-11.
14. ROMNEY, E.M.; TOTH, S.J. 1954. Plant and soil studies with radioactive manganese. Soil Science 77:107-117.
15. SOMERS, I.I.; SHIVE, J.W. 1942. The iron-manganese relation in plant metabolism. Plant Physiology 17:582-602.
16. VENKATRAJU, K.; MARSCHNER, H. 1981. Inhibition of iron-stress reactions in sunflower by bicarbonate. Zeitschrift fuer Pflanzenernahrung und Bodenkunde 144:339-355.
17. WOOLHOUSE, H.W. 1983. Toxicity and tolerance in the responses of plant to metals. In Encyclopedia of Plant Physiology: Physiological Plant Ecology. III. Responses to the Chemical and Biological Environment. O.L. Lange, C.B. Osmond, H. Ziegler (Eds.). Berlin, Springer-Verlag. v. 12C, p. 245-300.