



Las sustancias húmicas afectan la disponibilidad de Fe en girasol

Bocanegra^{1,2}, M. P., Lobartini^{1,2}, J.C. y Orioli^{1,2}, G.A.

¹Departamento de Agronomía. UNS. San Andrés 800. Bahía Blanca.

²CONICET - E-mail: mbocane@criba.edu.ar

Introducción

Las sustancias húmicas (SH) presentes en los suelos cumplen un rol fundamental en la nutrición mineral de las plantas al interactuar con iones metálicos, como el hierro (Fe), formando compuestos de diferente solubilidad y estabilidad. Las SH, compuestas por polielectrolitos de carácter fenólico de diferente peso molecular (PM), son quelantes naturales que tienen un rol importante en la absorción de Fe (Lobartini y Orioli, 1996; Varanini y Pinton, 2000). En efecto, los ácidos húmicos (AH) de alto PM forman con cationes polivalentes complejos de escasa solubilidad inmovilizando al catión y disminuyendo su disponibilidad para las plantas. Por el contrario, el ácido fúlvico (AF) y los AH de bajo PM forman complejos más solubles, con mayor movilidad, que retienen los cationes en forma más aprovechable para las plantas. Sin embargo, debido a que los AH de alto PM se encuentran presentes en importante cantidad en el suelo, gran parte de los metales están asociados con éstos, actuando como reservorio de Fe fácilmente accesible para los ligandos orgánicos existentes en el suelo y sideróforos microbianos o de las plantas (Carlsen et al, 1996). La complejación con metales es de importancia no sólo para el aérea nutricional de las plantas, sino también para el medio ambiente. La elevada solubilidad de las SH de bajo PM, hace que tengan importancia biológica, estando envueltos en procesos que intervienen no sólo en el sistema suelo-planta, sino que también contribuyen a la movilización de los metales del medio (Leita et al, 1998). Estos componentes de menor PM, son tomados por las raíces y difunden a diferentes distancias dentro de la planta, pudiendo alcanzar el objetivo metabólico (Cesco et al, 2000).

Debido a la habilidad de los AH para formar complejos con cationes, como el Fe, se conoce que ellos pueden movilizarlos desde las partículas del suelo hacia las raíces de las plantas. En el caso de las plantas Estrategia I (dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas), como es el girasol, el mecanismo de respuesta hacia la deficiencia de Fe consiste en incrementar la capacidad reductora de los quelatos de Fe (III), que es un paso necesario en el proceso, con un simultáneo descenso del pH (acidificación del medio) y liberación de ácidos orgánicos hacia la rizósfera. Aunque a pH neutro la concentración de Fe³⁺ y Fe²⁺ en la solución del suelo está por debajo de 10-15M, se sabe que las plantas son capaces de elevar esa concentración a través de modificación del pH de la rizósfera y la liberación de agentes quelantes naturales (Marschner, 1995).

La frecuencia de deficiencia de micronutrientes en los cultivos ha aumentado en los últimos años, debido principalmente a la intensidad de pastoreo y la pérdida de suelos por erosión. También, el problema de deficiencia se ha visto incrementado por la elevada demanda de los cultivos más modernos. Las SH al formar complejos con el Fe (SH-Fe) lo sustraen de la solución del suelo impidiendo la formación a pH 6-7 de formas químicas muy poco solubles y no disponibles. Sin embargo, los valores de la constante de formación de esos complejos SH-Fe posibilitarían que a pH bajos otros complejantes naturales o excretados por el girasol, presentes en muy baja concentración, solubilizan y transportan al Fe hacia la raíz. El objetivo de este trabajo fue demostrar que las plantas de girasol pueden absorber, transportar y acumular el Fe acomplejado por AH de medio y alto PM. Además, tener un mejor conocimiento de los ligandos y su modo de acción para un posible diseño de ligandos orgánicos sintetizados químicamente, que sean más efectivos que los naturales en la nutrición mineral de las plantas, especialmente en su relación con el transporte y disponibilidad de micronutrientes.

Materiales y Métodos

Se evaluó la absorción de Fe suministrado como humato de Fe (Fe-AH), en plantas de girasol. Las plantas crecieron en hidroponía, durante 10 días, en solución nutritiva 1/2 Hoagland sin Fe, pH 6,5, en recipientes de 170 ml de volumen, bajo luz artificial, con continua aireación y condiciones de humedad y temperatura controladas. La fuente de Fe fue Fe-AH de AH de PM < 10.000, marcado con ⁵⁹Fe. El complejo Fe-AH se colocó dentro de un tubo de diálisis que solamente permite el pasaje de compuestos de PM < 3500 daltons y, dicho tubo fue colocado en la solución nutritiva el día 11.

Allí se adicionó en solución, AH de PM > 10.000 daltons, en concentraciones crecientes desde 25 hasta 100 ppm. También en solución se colocó AF y EDTA, en concentración 10-4M. De esa manera, quedó compuesto un sistema de cuatro compartimentos donde: 1) en el tubo de diálisis donde hay Fe acomplejado por AH de PM < 10.000 y que, por lo tanto no difunde hacia la solución nutritiva; 2) la solución nutritiva con quelantes (AH de PM > 10.000, AF o EDTA) capaces de acomplejar al Fe; 3) las raíces; y, 4) la parte aérea.

Los tratamientos se evaluaron con cuatro réplicas cada uno. A los siete días de iniciado el ensayo las plantas se cosecharon y se secaron en estufa a 80 oC.

Luego se determinó el peso seco de la parte aérea y de la raíz y, la actividad de las muestras se midió con un espectrómetro Alfa nuclear MOS con cristal de centelleo Ina(Ti). El pH de la solución nutritiva y la actividad también se midieron al finalizar el ensayo. El fraccionamiento de los AH, extraídos por métodos utilizados comúnmente en el laboratorio (Lobartini et al, 1989), se realizó por técnicas de ultrafiltración, usando una celda AMICON y membranas con poros de exclusión de 10.000 daltons.

Resultados

La movilización de Fe desde el Fe-AH contenido en el tubo de diálisis hacia la solución nutritiva fue muy marcada cuando el EDTA estuvo en solución, incrementando la actividad casi en 10 veces con respecto al testigo (tabla 1). El Fe inmovilizado en raíces fue elevado en la mayoría de los tratamientos, a excepción del tratamiento donde estuvo presente el EDTA. En cuanto al transporte de Fe hacia la parte aérea si bien aumentó con la concentración de los AH de PM > 10.000 daltons, no hubo diferencia entre el EDTA, el tratamiento con 100 ppm de AH, el AF y el testigo.

Como era lógico, en las plantas con Estrategia I, al generarse una deficiencia de Fe el pH de la solución disminuyó notablemente.

Tabla 1. Absorción y transporte de Fe, en plantas de girasol cuando la fuente de Fe es Fe-AH de PM < 10.000 daltons. En solución se fue incrementando la concentración de AH de PM > 10.000 daltons. El testigo contiene el tubo de diálisis, pero no posee ningún agente quelante en la solución. Las letras corresponden a análisis de comparación de medias con Tuckey (p<0.05).

Tratamiento	Fe en raíz ug Fe gr ⁻¹	Fe en parte aérea ug Fe gr ⁻¹	Fe en solución ug Fe ml ⁻¹	pH Sol.
Testigo	27.3 b	0.878 ab	0.038 a	5.0
25 ppm AH	18.2 b	0.622 a	0.043 ab	4.7
50 ppm AH	20.6 b	0.539 a	0.048 abc	4.5
75 ppm AH	19.5 b	1.185 ab	0.079 bc	4.7
100 ppm AH	17.6 b	1.932 b	0.088 abc	4.6
AF	24.3 b	1.378 ab	0.047 c	4.7
EDTA	1.2 a	1.12 ab	0.253 d	4.5

Discusión y Conclusiones

En el suelo la solubilidad y, de hecho la disponibilidad, del Fe a pH's entre 4,5 y 5,0 sería de alrededor de 10-8 o mayor. Por lo tanto, en la rizósfera de plantas de girasol creciendo en un suelo deficiente en Fe, la baja de pH sería un mecanismo adecuado y suficiente para aumentar el Fe disponible en ese volumen de suelo. En éste ensayo las plantas de girasol creciendo en una solución sin Fe fueron capaces de excretar suficiente cantidad de protones como para bajar drásticamente el pH de la solución. Por otro lado, las plantas con Estrategia I son capaces no solamente de excretar protones sino de aumentar la excreción de ácidos orgánicos con alta capacidad de quelación (por ejemplo, el ácido cítrico) y de aumentar la capacidad de reducción del Fe férrico (Marchner, 1995). Los resultados obtenidos muestran que tanto el AH de PM > 10.000 como el AF no son diferentes al EDTA ni al testigo al menos en cuanto al Fe transportado y acumulado en la parte aérea. Por lo tanto, la hipótesis formulada puede ser verdadera y es importante continuar los estudios a fin de verificar su certeza y los mecanismos envueltos en la habilidad del girasol en cuanto a absorber y transportar el Fe acomplejado por SH. La presencia de EDTA al bajar el contenido de Fe en las raíces y aumentar la concentración del Fe en la solución nutritiva muestra no solo que esa sustancia es capaz de ingresar al tubo de diálisis y transportar el Fe hacia la solución, sino que impide la precipitación (Lobartini et al, 1999) del Fe en el ELA de las raíces.

Bibliografía

- Carlsen, L., Lassen, P., Warwick, P. And Randall, A. 1996. Interaction between Europium ions and selected size fractions of Humic Acids. *Chemosphere* 33:4, 659-670.
- Cesco, S., Romheld, V., Varanini, Z and Pinton, R. 2000. Solubilization of iron by water-extractable humic substances. *Journal of Plant Nutr. Soil Sci.* 163: 285-290.
- Leita, L., de Nobili, M., Catalano, L. and Mori, A. 1998. Formation and Voltammetric Characterization of Iron-Humate Complexes of different molecular weight. *Humic Substances: Structures, Properties and Uses.* Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. pp 167-171.
- Lobartini, J. C., Tan, K. H., Asmussen, L. E., Leonard, R.E., Himmelsbach, D. and Gingle, A. R. 1989. Humic matter isolated from soils and water by XAD-8 resin and conventional NaOH methods. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 20: 1453-1477.
- Lobartini, J.C. y Orioli, G.A. 1996. "Las sustancias húmicas y la nutrición vegetal". Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 101: 2, 201-209.
- Lobartini, J.C., Orioli, G.A. y Bocanegra, M.P. 1999. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 8-12 Noviembre. Temuco, Chile.
- Marschner, H. and Romheld, V. 1995. Strategies of plants for acquisition of iron. *Abadía, J. (Ed.). Iron Nutrition in Soils and Plants.* pp. 375-388.
- Varanini, Z. and Pinton, R. 2000. Direct Versus Indirect Effects of Soil Humic Substances on Plant Growth and Nutrition. Pinton, Varanini and Nannipieri (Ed.). *The Rhizosphere.* Marcel Dekker, Inc. pp.141-150.