

INTRODUCCIÓN

El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra en forma de aluminosilicatos y conforme el pH del suelo disminuye se solubiliza. La toxicidad del aluminio ha sido reconocida como el factor limitante más importante para la producción agrícola en suelos ácidos. El síntoma principal de la toxicidad por aluminio es la inhibición del crecimiento de las raíces.

La toxicidad del aluminio ha sido asociada a una reducción de la absorción de varios nutrientes de las plantas. Se ha señalado que produce precipitación de los fosfatos en el interior de la pared celular; ha sido observado que un exceso de aluminio interfiere la división celular en las raíces, así como el proceso de absorción y utilización de algunos iones, en especial el Ca MG y P.

EL ALUMINIO EN EL SUELO

El suelo es, por lo general, la fuente que suministra los nutrientes a la planta. La cantidad total presente de cada nutriente no determinará por sí sola su disponibilidad para la planta, sobre la que influyen diversos factores. Entre ellos, el pH y la provisión de oxígeno del suelo, pueden modificar la solubilidad o la forma química en que se encuentra un elemento.

Un pH neutro o poco ácido, entre 5 y 7, favorecerá la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes. Los valores altos harán menos disponible algunos nutrientes, entre ellos el P. Un pH muy bajo puede insolubilizar algunos nutrientes y movilizar al aluminio (Al^{3+}).

El catión aluminio es soluble a pH ácido. En estas condiciones, inhibe el crecimiento de muchas especies, dado que inhibe la absorción de Fe y algunos procesos metabólicos.

Algunas especies, como las azaleas toleran grandes cantidades de elementos que son tóxicos para la mayoría de las otras plantas, quizá porque lo enmascaran con agentes complejantes, los acumulan en las vacuolas o las pasan al apoplasto. La disponibilidad de elementos nocivos para las plantas, como el aluminio y los metales pesados aumenta conforme disminuye el pH del suelo. En el caso del Al, el incremento de las lluvias ácidas en Europa central ha determinado serios problemas de toxicidad por Al, al alterarse la absorción de P y Ca por las plantas. Aunque no se conocen con exactitud los mecanismos por los que las plantas toleran los efectos de estos metales pesados, existen pruebas de cómo resisten su presencia. Así, algunas plantas acumulan el metal en la pared celular, evitando de esta forma su presencia en el interior celular. En otros casos, los metales pesados son absorbidos en cantidades muy pequeñas, aunque su concentración externa sea muy grande. De forma complementaria pueden existir sistemas activos de extrusión de metales. Muy a menudo se encuentra una compartimentación, siendo las vacuolas su principal lugar de acumulación, como ya se ha citado en el caso de las azaleas.

En las plantas que presentan algunos de los rasgos que implican tolerancia a los metales pesados tienden a ser excluidas de los suelos normales por las no tolerantes, dado que estas son más vigorosas y presentan una mayor tasa de crecimiento. Sin embargo, las especies o variedades tolerantes son muy útiles al poder crecer en suelos ácidos y/o afectados por la presencia de metales pesados.

Se ha verificado que las plantas que eran naturalmente tolerantes al aluminio, exudaban por sus raíces compuestos orgánicos como el ácido cítrico que neutralizaba la toxicidad del aluminio. Fue así como se decidió utilizar las técnicas de la ingeniería genética para incrementar la capacidad de las plantas para producir ácidos orgánicos y volverlas resistentes al efecto tóxico del aluminio. Estos hallazgos han tenido repercusión en diversas partes del mundo, porque abren la posibilidad de cultivar extensiones muy grandes que tienen gran potencial agrícola, pero que no se podían utilizar debido a la acidez del suelo.

EFFECTOS FISILÓGICOS DE LOS EXCESIVOS NIVELES DE ALUMINIO

Las primeras evidencias de la toxicidad del Al aparecen en el sistema radical, el cual se ensancha como resultado de la inhibición de la elongación del eje principal y lateral de la raíz.

La severa inhibición del crecimiento de la raíz es un adecuado indicador para marcar las diferencias genotípicas en la tolerancia del Al. Los mecanismos fisiológicos de los efectos de la toxicidad del aluminio en el crecimiento de la raíz no son completamente entendidos. Clarkson (1.966) y Morimura (1.978) descubrieron la inhibición de una célula en división en los meristemas apicales, como efecto primario del aluminio. La célula cesa la división a las pocas horas de exponer la raíz al aluminio, aunque después se produce una reanudación de la división celular.

Las diferencias genotípicas en la tolerancia del aluminio se reflejan en el índice de recuperación del primer shock producido por el aluminio. La inhibición de la división celular puede estar debida a que el aluminio altera el dna, ya que Después de un corto periodo de tratamiento con aluminio la localización de ambos es el núcleo. La acumulación del aluminio es especialmente alta en el núcleo de las células del caliptra de la raíz, la inhibición de la elongación de la raíz puede deberse al resultado de que las células de la caliptra quedan afectadas. Estas actúan como sensor para el estrés medioambiental.

El aluminio puede afectar a la captación del fósforo a través de la precipitación del fosfato de aluminio en la superficie de la raíz y/o en el espacio libre, aunque el complejo formado puede interferir simultáneamente estimulando la captación de fósforo. La inhibición de la captación del calcio y el magnesio es a menudo observada y es posiblemente el resultado de la competencia de cationes para bloquear la zona dañada.

Una conclusión de las relaciones existentes, por ejemplo en la avena, entre el aluminio concentrado en el suelo y la concentración de magnesio requerido en el mismo, es que el aluminio disminuye drásticamente, mientras que el contenido de magnesio se dispara, los niveles de calcio son ligeramente más bajos y los de potasio no afectan.

La deficiencia del calcio en los meristemas apicales es un buen documento de la manifestación de la toxicidad del aluminio en la planta de la judía y maíz entre otras; con un incremento en la concentración externa del calcio, el aluminio inducido inhibe la elongación de la raíz, en cultivos muy sensibles, pudiéndose prevenir estos efectos en cultivos menos sensibles.

En general en suelos fuertemente ácidos, con toxicidad de aluminio, la plántula se desarrolla muy lentamente (enanismo) y las hojas se tornan verde oscuras o rojo púrpura característica de deficiencia de fósforo.

Plantas sensitivas frecuentemente no crecen mas que la etapa de plántula. El desarrollo de las plantan en este caso esta fuertemente restringido.

Bibliografía utilizada:

- Fisiología Vegetal
 - ◆ Editorial: Pirámide, S.A.
- Fundamentos de Fisiología Vegetal
 - ◆ Editorial: Universidad de Barcelona
 - ◆ Autores: Joaquín Azcón-Bieto y Manuel Talón
- Mineral Nutrition of Higher Plants
 - ◆ Editorial: Academic Press
 - ◆ Authors: Horst and Marschner
- Introducción a la Fisiología Vegetal
 - ◆ Editorial: Mundi Prensa

- ◆ Autores: F. Pérez García y J. B. Martínez Laborde
- Varios documentos capturados en Internet