

Los Micronutrientes.

Fisiología Vegetal

Curso 2010/11 Universidad Autónoma de Madrid

José Luis Santos Martín

TRABAJO DE FISIOLÓGÍA VEGETAL

Los oligoelementos

Los oligoelementos o micronutrientes son necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos una vez pasado cierto límite. Las plantas superiores requieren de 7 oligoelementos principalmente para su subsistencia. Pueden dividirse en dos grupos: los elementos que forman cationes y los que forman aniones.

Nombre	Símbolo	Clasificación química	Absorción como nutriente
Hierro	Fe	Metal pesado	Catión Fe ²⁺
Manganeso	Mn	Metal pesado	Catión Mn ²⁺
Cinc	Zn	Metal pesado	Catión Zn ²⁺
Cobre	Cu	Metal pesado	Catión Cu ²⁺
Cloro	Cl	Halógeno	Anión Cl ⁻
Boro	B	-	Anión H ₂ BO ₃
Molibdeno	Mo	Metal pesado	Anión MoO ₄

Tabla de oligoelementos esenciales, procedente del: Fertilizantes y fertilización. Arnold Finck.

Dentro de los distintos iones pueden distinguirse los siguientes grupos:

1. Iones de la clase A o ácidos fuertes, con bajo índice de covalencia y preferencia para ligandos con el oxígeno (grupos carboxilo, sulfatos, fosfatos, etc.).
2. Iones de la clase B o ácidos débiles, con índice de covalencia elevado y preferencia para la unión para compuestos con grupos amino o sulfídrico, entre otros.
3. Iones de la clase frontera o "borderline", con valores de índice de covalencia intermedios y una gran capacidad de unirse a una amplia gama de ligando, incluyendo tanto los donadores de oxígeno como aquellos preferidos por los iones de la clase B.

Mecanismo de absorción

La estructura de la pared celular forma un medio poroso e hidrófilo que permite la fácil difusión e intercambio de los iones y corresponde a la entrada del apoplasto. Parte de estos cationes se fijan a las cargas negativas de la pared celular, otros serán transportados radialmente vía apoplasto y, otra parte podrá atravesar el sistema de membranas (plasmalema, membranas de los orgánulos, tonoplasto), entrando así en el simplasto.

Por ejemplo: el Zn puede ser transportado como un ion libre Zn²⁺ o en forma de complejo con citrato o malato; la entrada de Cu se ve facilitada por aminoácidos; se ha identificado a la histidina como ligando de la abundante cantidad de Ni transportada en especies hiperacumuladoras.

Respuesta a nivel de la Membrana plasmática

La membrana plasmática es un sistema complejo y de un funcionamiento altamente sofisticado, siendo como es la puerta de entrada de cualquier elemento (señal, nutriente, tóxico, etc) al lugar donde se realiza la química que mantiene la vida de la célula. La membrana plasmática es utilizada por la célula para mantener los gradientes iónicos, que a su vez regulan el volumen celular. Si se daña la membrana, entran iones Ca^{2+} y salen iones K^{+} (responsables de los fenómenos de polarización y despolarización de la membrana y, en definitiva, de la transmisión eléctrica). La salida de K^{+} favorece la entrada de agua. El aumento de agua incrementa el volumen celular. Hay varios mecanismos que pueden inducir estos cambios, algunos ejemplos son fluidización de la membrana, peroxidación de lípidos, daño al citoesqueleto, bloqueo de canales etc. Independiente de la agresión tóxica, la membrana plasmática es uno de los componentes que primero responde al daño, siendo el resultado final del mismo la pérdida de la integridad de la membrana. Por tanto, conviene tener en cuenta que el daño al citoesqueleto causará daños también a la membrana plasmática.

La membrana plasmática, por tanto, se ve rápidamente afectada por metales. Sobre ella se producen efectos específicos según el metal, promoviendo daños mediante varios mecanismos. De manera resumida:

- Oxidación y entrecruzamiento de proteínas (conteniendo grupos tiol).
- Inhibición de proteínas de membrana que son esenciales (como por ejemplo la $\text{H}^{+}\text{ATPasa}$).
- Cambios en composición y fluidez de los lípidos de membrana, y cambios en la permeabilidad.

Por ejemplo, se sabe que el Cu y el Cd alteran la composición de los lípidos de membrana y provocan la fuga de solutos de la célula.

En cualquier caso todos estos mecanismos esencialmente acaban alterando las propiedades eléctricas de la membrana plasmática. Sin embargo la membrana plasmática puede estar involucrada en la tolerancia a metales pesados reduciendo la captación o estimulando las bombas de flujo de metales que promueven la entrada al citosol. Se sabe que las plantas tolerantes protegen la membrana. ¿Cómo?. Básicamente:

- Mediante mecanismos de reparación que mantienen la integridad de la membrana plasmática.
- Utilizando mecanismos de protección como proteínas de choque térmico, metalotioneínas, etc.
- Mejorando los mecanismos de homeostasis de metal
- Promoviendo un influjo reducido a través de la membrana plasmática.
- Promoviendo un eflujo selectivo (metabólicamente, es decir energéticamente, más conveniente que los mecanismos específicos de influjo y restricción).

Las plantas poseen varias clases de transportadores de metal que deben estar involucrados en la homeostasis y la tolerancia. Hay, sin embargo, pocas evidencias directas al respecto, sobretudo para el sistema de eflujo. Como ejemplo de influjo reducido, en *Nicotiana tabaccum* se ha descrito la tolerancia conferida por un transportador regulado por calmodulina para el caso del Ni . También se han descrito transportadores que facilitan el eflujo a través de la membrana plasmática.

Quelación

Uno de los aspectos más importantes de la acumulación de metales es el que se refiere al proceso de complejación. Un complejo o compuesto de coordinación es el resultado de la interacción de un átomo central, esto es, un ion metálico con orbitales de valencia vacíos que puede actuar como ácido de Lewis (aceptor de electrones), y una o varias bases de Lewis (dador de electrones) con pares de electrones libres. Estas bases se conocen como agentes complejantes o ligandos. Esta interacción lleva a la formación de un enlace covalente coordinado o dativo. El átomo central debe disponer de orbitales vacíos capaces de aceptar pares de electrones. En consecuencia, los cationes de los grupos I y II del sistema periódico tienen poca tendencia a formar complejos, al disponer de orbitales poco profundos y, por tanto, con poca disposición a captar electrones. Por el contrario, los metales de transición sí que presentan una elevada tendencia al proceso de quelación, puesto que poseen orbitales profundos (tipo d o f).

El metal se rodea de los ligandos formando un complejo. Los ligandos simples, como el agua, sólo forman un enlace con el átomo central, y se llaman monodentados o monocoordinados. Algunos ligandos son capaces de formar múltiples enlaces de coordinación, y se describen como bidentados (bicoordinados), tridentados (tricoordinados), lo cual va incrementando la estabilidad de los complejos. Generalmente tienen mucha mayor tendencia a formar complejos que sus homólogos monocoordinantes.

La planta utiliza este mecanismo de complejación en el interior de la célula para detoxificar (amortiguar) los metales, uniendo a ellos ligandos para formar complejos. De esta manera, el metal queda inmerso en una interacción química que le mantiene en equilibrio electrónico (acomplejado), pero que no lo deja fuera del metabolismo, no se ha eliminado del citoplasma de la célula y, por ello, sigue siendo potencialmente tóxico. Como se ha mencionado anteriormente, los metales pesados muestran gran afinidad por determinados grupos funcionales como principales ligandos, como grupos sulfidrilo, radicales amino, fosfato, carboxilo e hidroxilo. Los ligandos que utiliza son básicamente aminoácidos y ácidos orgánicos, y más específicamente, dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metalotioneínas. Entre los aminoácidos y los ácidos orgánicos se encuentran los ácidos cítrico y málico, la histidina, la cisteína etc.

– Fitoquelatinas (PCs)

Las fitoquelatinas son ligandos de alta afinidad que complejan metales. Se identificaron después que las MTs. Se piensa que las fitoquelatinas pueden desempeñar en plantas el papel equivalente al que las metalotioneínas desempeñan en mamíferos y bacterias. Las fitoquelatinas se inducen rápidamente en plantas por tratamiento con metales. Su disminución provoca una mayor sensibilidad a metales, por tanto su papel en la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas es crítico.

Las fitoquelatinas tienen como sustrato el glutatión. El glutatión está considerado el péptido más abundante de la Tierra. Además, o quizás esto explique su abundancia, es una molécula clave en el balance del estado oxidativo de la célula. También participa en procesos de detoxificación de diversas sustancias lesivas, y es capaz de quelar metales por sí misma.

Las PCs se sintetizan en el citosol, donde se unen a compuestos metálicos formando complejos. Sin embargo, técnicas de HPLC y rayos X detectan mayores concentraciones de metal y PCs en el interior de la vacuola, por lo que se deduce que el transporte y acumulación en su interior están implicados en tolerancia y detoxificación. En consecuencia, parece ser que el paso final en el proceso de detoxificación, esto es, desde la movilización del metal del suelo a las raíces hasta llegar al interior de las células tanto de la raíz como de las hojas, es la compartimentalización vacuolar.

El flujo de iones y el transporte al interior de la vacuola constituyen dos maneras diferentes de conseguir el mismo objetivo: reducir la concentración de metales tóxicos en el citoplasma. La diferencia importante entre ambos, es que mientras en el primer caso no es una garantía de que el problema de la toxicidad esté resuelto, en el segundo caso sí lo es.

HIERRO

Presencia de Hierro en el suelo

Puede formar parte de combinaciones orgánicas, pero las más importantes son las formaciones minerales. Estos compuestos minerales tienen origen magmático, sedimentario o metamórfico. Su degradación en suelos no reductores provoca la aparición de hidróxidos trivalentes $\text{Fe}(\text{OH})_3$. En ausencia de aire presenta formas reducidas $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y FeO .

Aparecen también formas elementales como Fe^{2+} y Fe^{3+} (forma ferrosa y férrica), en el suelo existe un equilibrio entre ambas formas:



La presencia de una u otra depende de la solubilidad de los diferentes compuestos de hierro. Los compuestos ferrosos son solubles por debajo de pH 6, mientras que los férricos se solubilizan a pH inferior a 4. Además depende de las condiciones oxidantes o reductoras del suelo. De modo que las condiciones reductoras, que se deben a la acidez, apelmazamiento, encharcamiento..., desplazan la reacción hacia el predominio de compuestos ferrosos, y condiciones oxidantes de pH elevado, alto contenido en Ca^{2+} o drenaje, favorecerían la formación de compuestos férricos.

La presencia de hierro inorgánico es mucho mayor que la de hierro orgánico, el cual se combina con ácido húmicos, fúlvicos, cítricos, etc. estas combinaciones son del tipo quelatos (metálicos).

Los quelatos metálicos son complejos organometálicos, en los que un catión metálico se encuentra unido por varios lados por agentes quelantes (ligandos). Las plantas son capaces de absorber los quelatos como moléculas complejas y utilizar después el metal en el intercambio químico.

Absorción de Hierro en la planta

La planta absorbe, principalmente, formas reducidas de hierro (Fe^{2+}), de manera que los suelos que posean condiciones reductoras favorecerán la absorción del elemento. Una gran parte del hierro absorbido procede de compuestos orgánico-minerales, los quelatos.

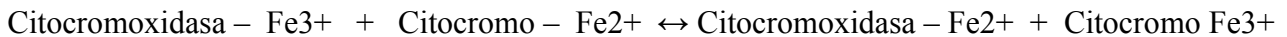
Aun así la concentración de hierro absorbido en los cultivos es normalmente reducida.

El intervalo admitido de contenido normal en una planta es muy amplio: 50 a 250 ppm. Contenido inferiores de 50 ppm son considerados como contenidos deficientes.

Importancia en la planta. Papel fisiológico

Tiene un papel principalmente catalítico:

- Los citocromos cromoproteídos con Fe. Se han caracterizado tres citocromos: a, b y c, de los que el último es el mejor conocido. Actúan de dos formas: oxidada y reducida, según el hierro esté en su forma férrica o ferrosa. La forma reducida no se oxida directamente con oxígeno molecular, pero sí lo hace en presencia de la citocromoxidasa:



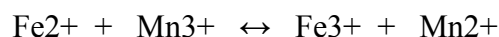
- Las peroxidasas. Abundan en las semillas y en los frutos y son hemoproteínas en las que el hierro está siempre en forma trivalente. Son oxidasas indirectas, ya que no activan el oxígeno molecular, sino que descomponen el agua oxigenada con desprendimiento de oxígeno activo que oxida el sustrato.
- Las catalasas aceleran la descomposición del H₂O₂ en agua y oxígeno molecular. Son hemoproteínas con hierro (en forma férrica) que solo es reducido por agua oxigenada.
- Cataliza la biosíntesis de la clorofila, ya que forma parte constituyente de las enzimas que intervienen en la transformación de la leucofila en clorofila. En ausencia de hierro, la hoja solamente contiene pigmentos amarillos: xantofilas y caroteno.
- Interviene en la formación de la ferredoxina, transportador de electrones de naturaleza no porfirínica que actúa en la fotosíntesis y en la reducción de los nitratos.

Importancia y síntomas de la carencia de Hierro

La deficiencia de hierro presenta síntomas apreciables visualmente. Un estado continuado de carencia de hierro provoca que solamente los vasos de las hojas posean color verde, de manera que el limbo presenta un color amarillento o blanquecino. No debe confundirse con la deficiencia de Mg (muy parecida) la clorosis (deficiencia) férrica comienza por las hojas jóvenes mientras que la magnésica se inicia en las hojas basales. Si hay una fuerte y persistente carencia de hierro aparecerán zonas necróticas en los bordes de la hoja. Más tarde ocurrirá una rápida caída foliar (a veces total).

Varias condiciones del suelo pueden propiciar esta falta de hierro:

- En suelos neutros o básicos encontramos multitud de formas férricas, de baja solubilidad, lo que impide una eficiente y favorable absorción de hierro.
- Podemos nombrar al Ca²⁺ como el antagonista del hierro, y como tal impide su absorción en suelos ricos en caliza.
- La presencia de Mn soluble en el suelo produce la oxidación del hierro transformándolo en férrico:



- Las carencias de hierro también pueden ser debidas a otro elemento metálico, el cual podría sustituir al Fe en los quelatos, algunos como por ejemplo el cobre, el zinc o el cobalto.
- Una concentración elevada en los suelos de bicarbonato produce un aumento del pH, lo que posibilita una clorosis férrica.

- Pero no solo debemos nombrar factores químicos, las condiciones climáticas también tienen un importante efecto en el impedimento de la absorción del hierro, como la clorosis por frío, clorosis por encharcamiento o clorosis por insolación entre muchas.

MANGANESO

Presencia de Manganeso en el suelo

Lo podemos encontrar en su forma iónica (Mn^{2+}) y en las combinaciones MnO_2 y Mn_2O_3 , su proporción depende del potencial redox, pH y actividad microbiana del suelo. También lo encontramos formando parte de silicatos como la biotita, la augita o la moscovita con tímido porcentaje de 1 o 3% de contenido.



De acuerdo con la ecuación, para $pH \leq 5,5$ hay dominio de las formas libres de manganeso reducido, mientras que para valores de $pH \geq 8$ dominan los óxidos del manganeso.

Además de formas minerales y libres podemos encontrar al manganeso en complejos orgánicos, quelatos de naturaleza muy parecida a los de hierro, sin embargo estos tienden a formarse con mucha mayor facilidad que los de hierro.

Absorción de Manganeso en la planta

Absorben principalmente la forma Mn^{2+} , aunque pueden incorporar alguna forma oxidada y de quelatos. Las cantidades de absorción varían según la especie vegetal. Encontramos plantas con un gran requerimiento de manganeso, como los cereales de invierno y primavera, algunas rosáceas o algunas ranunculáceas.

La acumulación en el suelo de Mn^{2+} , que puede ser debida a suelos ácidos con condiciones reductoras, resulta altamente toxica para la mayoría de las plantas cultivadas.

Importancia en la planta. Papel fisiológico

- Participa en numerosos sistemas enzimáticos de óxido-reducción, en los que interviene activando las carboxilasas y deshidrogenasas (respiración)
- Interviene en la síntesis de proteínas, catalizando la reducción de nitratos a nitritos y, finalmente a $-NH_2$. Se requiere Mn^{2+} en la última fase de la reducción para la actuación de hidroxilamina-reductasa.
- Coopera con el hierro en la síntesis de la clorofila y estimula la fotosíntesis, pues parece que reactiva la reacción de Hill.
- A menudo puede sustituir al magnesio en sistemas enzimáticos relacionados con la transferencia de energía: ATP-asas.

Importancia y síntomas de la carencia de Manganeso

Ya he comentado anteriormente que los síntomas visuales que presenta la deficiencia de manganeso son muy similares a los de hierro: vasos verdes, limbo amarillento o blanquecino. Pero situados en la hojas basales.

El contenido de Mn en hojas de plantas que presentan carencia se encuentra en un rango de 15 a 30 ppm sobre m.s. El contenido óptimo varía entre los 100 y 200 ppm sobre m.s.

BORO

Presencia de boro en el suelo

Se presenta de alguna de las maneras siguientes:

- En combinaciones minerales (borosilicatos y boratos).
- Adsorbido sobre arcillas y sobre los oxihidróxidos de Fe y Al.
- Adsorbido sobre la materia orgánica.
- En las soluciones del suelo (formas ionizadas o ácidas de BO_3H_3)

La retención del Boro por coloides y por los oxihidróxidos de Fe y Al, supone una fijación tan fuerte que dificulta o incluso inhibe la absorción por parte de la planta de éste. En un suelo rico en Boro encontramos más de 1 mg B/kg suelo, en suelos pobres se registran menos de 0,5 mg B/kg suelo.

Absorción de Boro en la planta

Las plantas absorben las formas iónicas de boro, teniendo mayor facilidad con las formas monovalentes seguidas por la bivalentes y la trivalentes.

La solubilidad del boro y los iones monovalentes aumenta con la acidez del suelo. De manera que suelos con un alto contenido de cal impedirán una buena absorción del elemento.

Las cantidades de boro necesarias para el desarrollo como en el contenido de los tejidos foliares varía mucho de una especie a otras.

Sin embargo, el boro es un elemento bastante tóxico, cuyo exceso se manifiesta por clorosis y quemaduras en los bordes de las hojas, cuyos tejidos se vuelven de color oscuro y se necrosan.

Importancia en la planta. Papel fisiológico

Los iones borato poseen una gran movilidad dentro de la planta hasta llegar a las hojas, donde queda prácticamente inmovilizado. La actividad transpiratoria tiene una gran influencia en el transporte de boro hacia las partes altas de la planta.

Sus funciones más importantes dentro del metabolismo de la planta son:

- Formación de complejos con compuestos polihidroxilados, de especial interés en el transporte y utilización de azúcares en la planta.
- Influye en la absorción de fósforo, formación de ácidos nucleicos y proteínas.
- Interviene en la división celular y en la actividad de los tejidos meristemáticos. Puede participar en la síntesis de uracilo y su insuficiencia puede alterar la formación de los ribosomas.
- Colabora en la biosíntesis de lignina y de sustancias pécticas.
- Favorece el funcionamiento de los nódulos de las leguminosas.
- De forma indirecta, interviene en la absorción de agua por parte de la planta. Es posible mediante la producción de pectatos de cal que precipitan sobre las membranas celulares, se reduzca su permeabilidad con el descenso del nivel transpiratorio y de la tasa de absorción del agua del suelo por la raíces.

Importancia y síntomas de la carencia de Boro

los síntomas suelen manifestarse por falta de vigor y debilitamiento de la yemas terminales de la hojas jóvenes.

Existen dos tipos de carencias de Boro:

Las carencias primarias son debidas a la deficiencia de boro en el suelo:

- Por suelos arenosos que no son capaces de retener boro, y la lluvia o el riego son suficientes para retirar el boro soluble.
- En suelos arcillosos quedan retenidos aniones borato con mayor fuerza cuanto mayor sea el pH del suelo.
- En suelos húmíferos o por aportación de productos orgánicos, el boro forma complejos y su movimiento se ve impedidos.

Las carencias secundarias son consecuencia de la dificultad de las plantas para absorber el boro aun habiendo cantidades suficientes para subsistir:

- Suelos con fuertes encalados poseen un alto pH y se reduce la solubilidad de los boratos.
- Un elevado contenido en calcio activo reduce la absorción de boro por parte de la planta.
- Abonados potásicos provocan mayores necesidades de boro por parte de la planta, lo que puede conducir a próximos estadios carencias.
- Determinados factores climáticos pueden ocasionar carencias de boro: en regiones soleadas, en condiciones de frío, de sequía o de encharcamiento provocan carencias por el mal funcionamiento de los sistemas radiculares.

CINC

Presencia de Cinc en el suelo

Se le encuentra en formaciones minerales como la blenda (sulfuro de cinc), esmitsomita (carbonato de cinc) o en la hemimorfita (silicato de cinc). Con la materia orgánica forma complejos órgano-metálicos (de naturaleza quelante). También se la puede encontrar en su forma Zn^{2+} , pero en muy baja proporción.

Absorción de Cinc en la planta

La planta es capaz de absorber las formas iónicas (Zn^{2+}) además del Zn combinado en complejos Zn+EDTA en presencia de Cl_2Ca . La presencia de Cl_2Ca aumenta el contenido de Zn en la planta.

El maíz, el algodón, las judías, el soja, la vid, los cítricos, las leguminosas forrajeras, etc, son grandes exigentes de Zn. Sin embargo los cereales de invierno, las gramíneas, la remolacha, etc, apenas lo necesitan.

Importancia en la planta. Papel fisiológico

Juega un importante papel en la activación de enzimas:

- Anhidrasa carbónica, que cataliza la descomposición del CO_2 .
- Trifosfato-deshidrogenasa, precursora de la fosforilación del aldehído fosfoglicérico con producción de ácido fosfoglicérico, fundamental en la glicolisis y en los procesos de respiración y fermentación.
- Nitratoreductasa, necesaria para la reducción de nitritos en la formación de compuestos proteicos.
- Aldolasas, que desdoblan el éster difosfórico de la fructosa con producción de aldehído fosfoglicérico.
- Enolasas, que convierten el ácido 2-fosfoglicérico en ácido-2-pirúvico.
- Síntesis de auxinas estimulando la producción de triptófano.

Importancia y síntomas de la carencia de Cinc

Las especies perennes (árboles frutales y vid) son más susceptibles frente a la deficiencia de este elemento. Provoca la disminución de la actividad de la yema terminal y la producción de entrenudos cortos. En las hojas se visualizan zonas jaspeadas cloróticas que acaban necrosándose y alterando a todo el parénquima foliar y nervios.

La capacidad de asimilar Cinc por parte de la planta se ve disminuida con el aumento del pH del suelo, en estos suelos básicos el Zn posee poca movilidad.

COBRE

Presencia de Cobre en el suelo

Se encuentra en compuestos minerales como: calcopirita, malaquita o cuprita. La meteorización de estos minerales libera Cu^{2+} , estos iones son fijados por el complejo arcillo-húmico y por las arcillas del suelo.

Generalmente se encuentra muy poca cantidad de cobre en el suelo, además que no es un elemento con mucha movilidad.

Absorción de Cobre en la planta

Su absorción se realiza tanto por vía radicular como por vía foliar. Su necesidad no es muy grande, su contenido en los órganos es de 5 a 25 ppm, aunque difiere según el estado de desarrollo y las condiciones del suelo en el que este la planta.

El contenido en humus ácido del suelo, pH y presencia de otros iones metálicos pueden influir en la asimilabilidad del cobre por la planta.

Importancia en la planta. Papel fisiológico

- Biosíntesis de la clorofila.
- Actúa en la transferencia de electrones durante la fotosíntesis bajo la forma de una cuproproteína, la plastocianina.
- En combinación con otras enzimas: ureasa, tirosinasa y oxidasa.
- En procesos de oxidación-reducción: respiración, oxidación de la materia orgánica, etc.
- Favorece la fijación de nitrógeno atmosférico por los microorganismos del suelo.

Importancia y síntomas de la carencia de Cobre

Las deficiencias de cobre pueden provocar el retorcimiento y la caída de hojas jóvenes. En cereales hace que sus flores marchiten y resulten espigas poco granadas. En los frutales pueden aparecer manchas grisáceas en los bordes de la hojas.

MOLIBDENO

Presencia de Molibdeno en el suelo

Proviene de compuestos minerales como el olivino, molibdenita o el molibdato de cálcico. La alteración de estos compuestos libera óxidos de Mo.

Los óxidos reducidos son mas insolubles, mientras que MoO_3 , se combina el agua y minerales del suelo. Las formas reducidas son abundantes en suelos ácidos.

Con el ácido fosfórico puede formar fosfomolibdatos solubles, que permiten a la planta absorber el fósforo y el molibdeno.

El contenido de molibdeno son realmente pequeñas en el suelo, varia ente 0,2 y 8 mg Mo/ha, con un valor promedio de 2 mg Mo/kg suelo.

Absorción de Molibdeno en la planta

El molibdeno en absorbido en forma de ión molibdato. Las leguminosas forrajeras, como la alfalfa o los tréboles, tienen grandes necesidades de este elemento, como también la patata, la remolacha, el tomate etc.

Importancia en la planta. Papel fisiológico

- Forma parte de los grupos prostéticos de los sistemas nitrato-reductasa y nitrogenasa.
- Fijación de nitrógeno atmosférico (en algas cianofíceas, angiospermas fijadoras, etc.)
- Funciones en la formación de ácido ascórbico.
- Funciones en la acción de ascórbico-oxidasa, adenin-oxidasa, xantín-oxidasa, etc.
- Favorece el metabolismo del hierro.
- Reduce los daños provocados por el exceso de otros metales (cobre, boro, cinc, etc.)

Importancia y síntomas de la carencia de Molibdeno

En general su deficiencia altera fundamentalmente a las hojas, disminuyendo su tamaño, generando clorosis y moteados de color marrón, además de zonas necróticas en la punta, que pueden extenderse a los bordes.

Los niveles que varían entre 0,1 y 0,5 ppm/m.s se consideran escasos.

La elevación del pH mediante el encalado o el drenaje del suelo aumentan la capacidad oxidante del suelo y mejora su solubilidad y su porcentaje de absorción.

Otros microelementos

- Cloro: Es curioso que se le nombre en todos los libros que he consultado, pues parece ser que no se ha demostrado su esencialidad y su presencia en el suelo se considera perjudicial.
- Cobalto: Juega un papel fundamental en la fijación de N atmosférico por la simbiosis leguminosa-Rhizobium. El aumento del pH en el suelo disminuye la solubilidad del Co.
- Silicio: Se acumula en las membranas celulares y a lo largo de los vasos. La acumulación de Silicio en la células epidérmicas de las gramíneas constituye un mecanismo de defensa frente a fitófagos o enfermedades criptogámicas.
- Aluminio: Tiende a acumularse en las raíces, y sus excesos provocan el acortamiento y engrosamiento de estas, además de la reducción de su ramificación. Los suelos muy ácidos contienen ácido aluminico libre que es muy tóxico.

Bibliografía:

- M. J. Reigosa, N. Pedrol, A. Sánchez “La Ecofisiología Vegetal. Una Ciencia de Síntesis”.
- Arnold Finck “Fertilizantes y Fertilización”.
- Gines Navarro “Química Agrícola”.
- “Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas”, revisado por Alan Wild.
- Pedro Urbano Terron “Tratado de Fitotecnica General”.