

MANEJO DEL AZUFRE EN ARROZ

Achim Dobermann y Thomas Fairhurst*

Función y movilidad del azufre (S)

El S es un constituyente esencial en los amino ácidos (cisteína, metionina y cistina) que están envueltos en la producción de clorofila, en la síntesis de proteínas y en el funcionamiento y estructura de las plantas. También es un constituyente de las coenzimas necesarias para la síntesis de proteínas. El S se encuentra en las hormonas tiamina y biotina que intervienen en el metabolismo de los carbohidratos. El S también está involucrado en

algunas reacciones de oxido-reducción. Es menos móvil que el N en la planta, por lo tanto, la deficiencia de S tiende a presentarse en las hojas jóvenes. La deficiencia de S reduce el contenido de cisteína y metionina en el arroz y por lo tanto afecta la nutrición humana.

En contraste con la deficiencia de N donde las hojas viejas se afectan primero, la deficiencia de S resulta en un amarillamiento de toda la planta y la clorosis es más pronunciada en las hojas jóvenes, cuyas puntas se tornan necróticas. Sin embargo, no se presenta necrosis de las hojas inferiores como sucede con la deficiencia de N. En comparación con la deficiencia de N, las hojas con deficiencia de S tienen un amarillamiento más acentuado.

Los efectos de la deficiencia de S en el rendimiento son más pronunciados durante el crecimiento vegetativo, por lo tanto, los síntomas deben detectarse y corregirse temprano en el ciclo. A menudo no se diagnostica adecuadamente la deficiencia de S ya que los síntomas foliares se confunden con los de deficiencia de N. Los análisis de suelos y foliares son importantes para la correcta identificación de la deficiencia de S.

Contenido de S en la planta

Es poco probable una respuesta a la aplicación de S cuando la concentración de este nutriente en toda la planta es de $>0.15\%$ durante el periodo del crecimiento vegetativo antes de la floración.

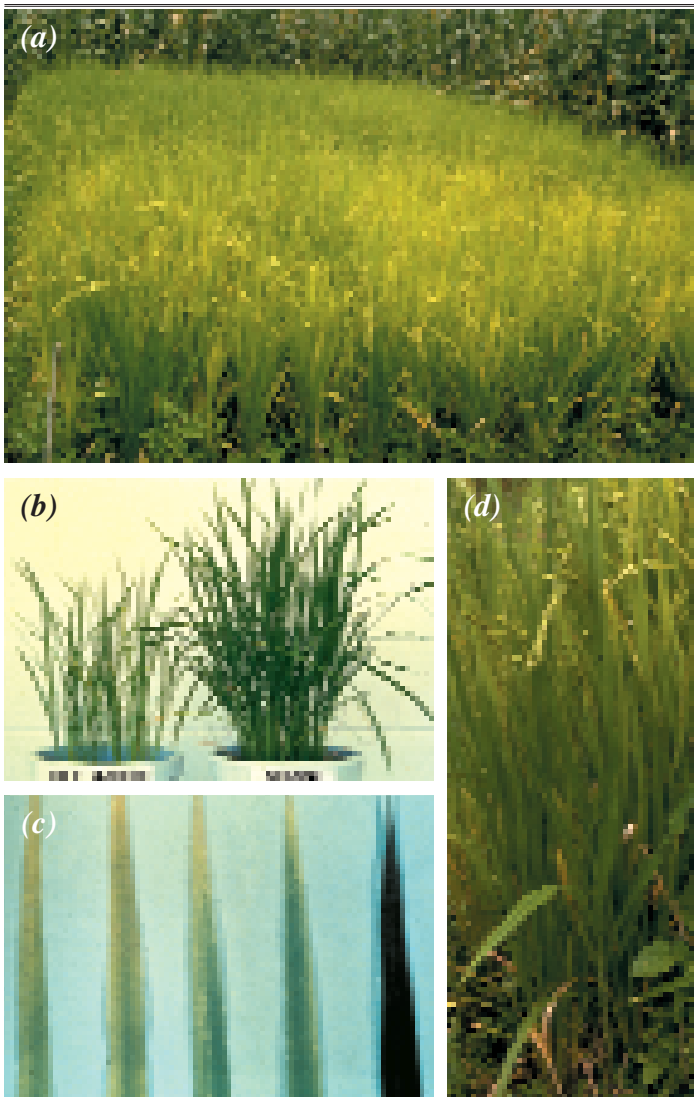
Una concentración de S $<0.10\%$ en toda la planta o una relación de N:S $>15-20$ entre el macollamiento y la floración, indica deficiencia de S. A la madurez, una concentración de S $<0.06\%$ o una relación de N:S >14 en la paja (>26 en grano) puede indicar deficiencia de S (Tabla 1).

Contenido de S en el suelo

Los análisis de S en el suelo no son muy confiables a menos que incluyan S inorgánico y algo de la fracción mineralizable del S orgánico (ésteres de S).

Los niveles críticos para que se presente deficiencia de S son los siguientes:

- <5 mg de S kg^{-1} : HCl 0.05 M.



Síntomas de deficiencia de S en arroz

(a), (b) Aparece un color amarillento pálido en las hojas jóvenes y se reduce el tamaño de las plantas y el macollamiento.

(c), (d) La clorosis es más pronunciada en las hojas jóvenes, las puntas de estas hojas se tornan necróticas.

* Tomado de: Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute.

Tabla 1. Rangos óptimos y niveles críticos de S en los tejidos de la planta

| Etapa de crecimiento | Parte de la planta | Óptimo (%) | Nivel crítico para la deficiencia (%) |
|----------------------|--------------------|------------|---------------------------------------|
| Macollamiento | Hoja Y | | <0.16 |
| Macollamiento | Toda la planta | 0.15-0.30 | <0.11 |
| Floración | Hoja bandera | 0.10-0.15 | <0.10 |
| Floración | Toda la planta | | <0.07 |
| Madurez | Paja | | <0.06 |

- <6 mg de S kg⁻¹: KCl 0.25 M calentado a 40°C por 3 horas.
- <9 mg de S kg⁻¹: Ca(H₂PO₄)₂ 0.01 M.

Causas de la deficiencia de S

La deficiencia de S puede presentarse por uno o más de los siguientes factores:

- Poco contenido de S disponible en el suelo.
- Agotamiento de S por sistemas de cultivo intensos.
- Uso de fertilizantes que no contienen S (urea en lugar de sulfato de amonio, superfosfato triple en lugar de superfosfato simple y muriato de potasio en lugar de sulfato de potasio).
- En muchas áreas rurales de países en desarrollo, la cantidad de S depositado con las precipitaciones es muy baja debido a los bajos niveles de contaminación industrial.
- La concentración de S en la tabla de aguas puede variar ampliamente. El agua de irrigación contiene solamente pequeñas cantidades de SO₄²⁻.
- Pérdida de S contenido en los residuos orgánicos por la quema.

Incidencia de la deficiencia de S

Los suelos particularmente susceptibles a la deficiencia de S son los siguientes:

- Suelos que contienen alofana (Andisoles).
- Suelos con bajo contenido de materia orgánica.
- Suelos altamente meteorizados que contienen grandes cantidades de óxidos de Fe.
- Suelos arenosos fácilmente lixiviables.

Efectos de la inundación en la disponibilidad y absorción de S

El S en el suelo se encuentra en cuatro formas principales: S unido al carbono, ésteres de S, SO₄²⁻ adsorbidos y SO₄²⁻ en la solución del suelo. Las plantas absorben el S en forma de SO₄²⁻ de la solución del suelo. La reducción de SO₄²⁻ a S elemental y la formación de sulfuros ocurren después de la reducción del Fe en los suelos inundados. La disponibilidad de S disminuye a medida que se desa-

rollan los procesos de reducción en el suelo. En suelos neutros y alcalinos, concentraciones muy altas de SO₄²⁻ pueden reducirse a cero seis semanas después de la inundación.

La reducción del SO₄²⁻ en suelos inundados afecta el crecimiento de arroz en tres formas:

- El S se vuelve deficiente.
- El Fe, Zn y Cu se inmovilizan.
- Puede presentarse toxicidad de H₂S en suelos que contienen pequeñas cantidades de Fe.

Absorción y remoción de S por el cultivo

La remoción de S por el arroz es de 1-3 kg de S t⁻¹ de grano, con un promedio de 1.8. Un cultivo con un rendimiento de 6 t ha⁻¹ de grano absorbe ~11 kg de S ha⁻¹, de los cuales el 40-50% se mantienen en la paja a la madurez.

Si solamente se saca el grano y se retorna la paja al lote, se remueven ~1 kg de S t⁻¹ de grano. Un 40-60% de S contenido en la paja se pierde con la quema, las pérdidas son mayores cuando se quema la paja en montones grandes a muy alta temperatura.

Tabla 2. Fuentes de S para arroz.

| Nombres | Fórmula | Contenido | Comentarios |
|---------------------------------|---|--------------------------|------------------------|
| Sulfato de amonio | (NH ₄) ₂ SO ₄ | 24% S | Acción rápida |
| Superfosfato simple | Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O + CaSO ₄ · 2H ₂ O | 12% S, 7-9% P, 13-20% Ca | Soluble, acción rápida |
| Sulfato de potasio | K ₂ SO ₄ | 18% S | Acción rápida |
| Sulfato de magnesio (Sal Epsom) | MgSO ₄ · 7H ₂ O | 13% S, 10% Mg | Acción muy rápida |
| Kieserita | MgSO ₄ · H ₂ O | 23% S, 17% Mg | Acción rápida |
| Langbeinita | K ₂ SO ₄ · MgSO ₄ | 18% K, 11% Mg, 22% S | Acción rápida |
| Yeso | CaSO ₄ · 2H ₂ O | 17% S | Acción lenta |
| S elemental | S | 97% S | Acción lenta |
| Urea recubierta con S | CO(NH ₂) ₂ + S | 6-30% S, 30-40% N | Acción lenta |

Estrategias preventivas para el manejo de S

En la mayoría de los suelos de zonas bajas, el suplemento de S nativo del suelo o el suministrado con los fertilizantes son similares o exceden a la cantidad de S removido en el grano de arroz. La concentración de S en el agua de lluvia varía ampliamente y generalmente disminuye mientras más lejos se encuentre el sitio del océano o de zonas industriales. En Asia, la deposición anual de S del agua de lluvia varía de 2 hasta 50 kg de S ha⁻¹. En general, el agua de irrigación proporciona de 10-30 kg de S ha⁻¹ por cultivo en forma de sulfatos.

La deficiencia de S se corrige o se previene fácilmente usando fertilizantes que contengan S (**Tabla 2**). A continuación se discuten medidas generales para prevenir la deficiencia de S:

Fuentes naturales: Estimar el suplemento de S de la atmósfera.

Vivero: Aplicar S a las cama del vivero de arroz utilizando fertilizantes que contengan S (sulfato de amonio, superfosfato simple).

Manejo de los fertilizantes: Reponer el S que fue removido del lote aplicando fertilizantes nitrogenados y fosfatados que contengan S [sulfato de amonio (24% de S)], [superfosfato simple (12% de S)]. Calcular la efectividad económica de S incorporado con la urea recubierta con S o en los fertilizantes compuestos o fórmulas físicas que contengan S.

Manejo de la paja: Incorporar la paja en lugar de removerla del lote o quemarla completamente en el sitio. Alrededor de 40-60% de S en la paja se pierde con la quema.

Manejo del suelo: Manejar el suelo para promover la absorción de S de la siguiente manera:

- Mantener suficiente percolación (~5 mm por día), para evitar la excesiva reducción del suelo.
- Labrar el suelo en seco después de la cosecha, para incrementar la tasa de oxidación del sulfuro durante el periodo de descanso.

Tratamiento de la deficiencia de S

Los requerimientos de fuentes inorgánicas y orgánicas de S dependen del contenido de S del suelo y del ingreso de S de otras fuentes como el riego y la atmósfera. Si se identifica la presencia de deficiencia de S durante el crecimiento temprano, la respuesta a la aplicación de S es rápida y la recuperación puede ocurrir a los 5 días de la aplicación.

La deficiencia de S debe tratarse de la siguiente manera:

- En suelos con alto contenido de S y con aporte de agua que contiene abundante S (sitios cercanos a centros industriales o urbanos) no necesitan S. Se debe poner mayor énfasis a las medidas preventivas presentadas anteriormente.
- Aplicar 10 kg de S ha⁻¹ en lugares en donde se presenta una moderada deficiencia de S.
- En suelos con severas deficiencias de S se debe aplicar de 20-40 kg de S ha⁻¹ que son suficientes para lograr altos rendimientos.
- La aplicación de 15-20 kg de S ha⁻¹ tiene un efecto residual que puede suplementar el S necesario para los dos siguientes cultivos de arroz.
- Generalmente el S añadido es parte de los fertilizantes aplicados para corregir las deficiencias de otros nutrien-

tes. Las fuentes de S solubles en agua, como la langbeinita o la kieserita, son las más eficientes para tratar la deficiencia de S en cultivos en crecimiento. Se deben usar fuentes de S de lenta acción (yeso, S elemental) si existe el potencial de alta lixiviación.

