

## RAICES NEGRAS en ARROZ

Revisión, César E. Quintero

2021 - Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER

### Generalidades

El declive o pérdida otoñal del arroz, también conocido como *akiochi*, se evidencia con la raíz negra y generalmente con un follaje atrofiado y amarillento, que comienza rápidamente dos semanas después del establecimiento de la inundación permanente. En condiciones severas, las coronas de las raíces se pudren y son invadidas por hongos oportunistas que producen una decoloración de color marrón oscuro. La pudrición de las coronas de las raíces se conoce específicamente como declive otoñal/akiochi y dificulta la capacidad de la planta de arroz para trasladar los nutrientes desde las raíces. El ennegrecimiento de la masa de la raíz a menudo es causado por el sulfuro de hierro (FeS) que conduce a la “toxicidad del sulfuro de hidrógeno”.

El problema suele ser más grave donde el agua fría de un pozo entra primero al campo y luego puede extenderse por todo el lote (*frío*). Sin embargo, las plantas de arroz en las taipas se mantienen saludables. Sin embargo, no todos los *tipos de suelo* presentan el problema. Las observaciones han demostrado que los campos que tienen una textura de suelo franco arcilloso son más propensos al declive otoñal que otras texturas de suelo comúnmente cultivadas con arroz. Los síntomas de la pudrición de la raíz a menudo comienzan unas semanas después del establecimiento de la inundación y empeoran progresivamente a lo largo de la temporada. La pudrición severa de la raíz puede causar el crecimiento de hongos en la corona, lo que limita la función del sistema de raíces de trasladar el agua y los nutrientes necesarios del suelo a la planta. Esto puede provocar la disminución del rendimiento y, por lo tanto, se denomina disminución de otoño. En casos moderados a severos, los macollos se desprenden fácilmente y la muerte de la planta puede ocurrir rápidamente, lo que lleva a pérdidas significativas de rendimiento.





### La toxicidad por SULFUROS (Annals of Botany 96: 625–638, 2005)

Las enfermedades del arroz "Straighthead", Akagare ("declive de verano") y Akiuchi ("declive de otoño") se han asociado durante mucho tiempo con la toxicidad de sulfuros en los suelos. Esta última enfermedad, por ejemplo, implica la pudrición de las raíces, el bronceado de las hojas, un crecimiento deficiente en la fase reproductiva y un rendimiento deprimido.

Los síntomas también incluyen una reducción de la respiración de la raíz y la absorción de nutrientes, especialmente de N, K, Mn, Mg y Si y una capacidad reducida para oxidar el hierro en la rizósfera. Se ha informado sobre inhibiciones por sulfuro de la catalasa, peroxidasa, ácido ascórbico oxidasa, polifenol oxidasa y citocromo oxidasa terminal, que influyen en la capacidad oxidativa de las raíces del arroz.

El mantenimiento de una vía de baja resistencia del aerénquima y los espacios intercelulares, que facilita el intercambio gaseoso entre la atmósfera y los órganos subterráneos, se ha considerado durante mucho tiempo como una característica esencial para la supervivencia de plantas como el arroz, en suelos anaeróbicos inundados. La pérdida radial de oxígeno (ROL) desde la raíz a la rizósfera se considera esencial para la desintoxicación de fitotoxinas como  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{HS}^-$  y ácidos orgánicos, por oxidación directa o por los agentes de los microorganismos aerobios oxidantes de la región de la rizósfera. De esta manera, las regiones vulnerables de las raíces, que son permeables a la absorción de agua y nutrientes, están protegidas del daño de las toxinas. Además, se ha encontrado que el ROL es un factor importante en la adquisición de nutrientes.

Los factores que influyen en los niveles de acumulación de sulfuro en los suelos son muchos y sus interrelaciones complejas, involucrando, por ejemplo, grados de disponibilidad de sulfato y su reducción, temperatura del suelo, potencial redox, pH, contenido de materia orgánica, acumulación de  $\text{CO}_2$  y bicarbonato y sulfuro, inmovilización de iones (por ejemplo, por  $\text{Fe}^{2+}$ ). Se ha afirmado que los suelos cálidos, inundados, ricos en materia orgánica y/o  $\text{SO}_4^{2-}$ , y los de **bajo contenido de Fe**, son particularmente propensos a producir plantas enfermas.

Las bacterias reductoras de sulfato (*Desulfovibrio desulfuricans*) producen sulfuro, requieren condiciones anaeróbicas y funcionan a pH 5,5-9; no toleran condiciones muy ácidas. El sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) producido en la reducción es fácilmente soluble y por encima de pH 7 se disocia en  $\text{S}^{2-}$  y  $\text{HS}^-$ . Las tres especies de S reducidas son altamente tóxicas para las plantas.

La reacción de reducción general, catalizada por bacterias reductoras de sulfato, donde " $\text{CH}_2\text{O}$ " representa la materia orgánica oxidada en el proceso de reducción, es:



Los equilibrios de sulfuro son:  $\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{S}^{2-} + 2\text{H}^+$  (a pH alcalino tiende a la derecha)

Las bajas concentraciones de  $\text{Fe}^{2+}$  en el suelo (como las que se observan en suelos neutros a alcalinos) pueden ser inadecuadas para desintoxicar el sulfuro por deposición de  $\text{FeS}$ . Sin embargo, incluso en suelos ricos en  $\text{Fe}^{2+}$ , sólo la mitad del sulfuro puede existir como  $\text{FeS}$ , y el resto en forma de  $\text{H}_2\text{S}$ . Las concentraciones de sulfuro en los suelos también pueden estar relacionadas con el tipo de arcilla presente: la caolinita no absorbe especies de S reducido, pero la montmorillonita sí.

El sulfuro es tóxico porque se combina con el hierro de los citocromos y otros compuestos que contienen hierro en las células. En especies distintas del arroz, el sulfuro también se ha identificado como una toxina respiratoria. En *Spartina alternifolia*, los niveles altos de sulfuro del suelo pueden tener un efecto inhibitorio sobre la respiración aeróbica pero menor efecto sobre la actividad de la alcohol deshidrogenasa. Las raíces de arroz parecen responder al sulfuro casi de inmediato en términos de efectos anatómicos, que asociamos con una reducción de la permeabilidad al  $\text{O}_2$ . Sin embargo, incluso en dosis relativamente bajas y breves, alguna toxina entra en la estela y, en algunos casos, alcanza el sistema radicular. Parece razonable inferir que las raíces de las plantas reaccionan a las toxinas del suelo, como el sulfuro y los ácidos orgánicos, produciendo barreras en sus regiones absorbentes más vulnerables, a saber, las raíces laterales finas y los ápices de las raíces adventicias. Esto disminuye o detiene la entrada adicional de la toxina. También se desarrollan bloqueos vasculares, que presumiblemente impiden una mayor propagación de la toxina dentro de la planta. De manera similar, con una toxina potencialmente gaseosa como el sulfuro, no es sorprendente que puedan desarrollarse bloqueos dentro del sistema de aireación (aerénquima).

Los depósitos de suberización/lípidos, inducidos por el sulfuro en las paredes de las células hipodérmicas y/o exodermales, y algunas veces en la epidermis, pueden ser barreras efectivas para reducir la LOD, la absorción de  $\text{Fe}^{2+}$  y posiblemente agua. Sin embargo, la endodermis fuertemente lignificada y suberizada y los bloqueos del xilema inducidos por el sulfuro probablemente también contribuyen a disminuir la absorción de  $\text{Fe}^{2+}$  y agua. No se ha observado lignificación sin alguna suberización en ningún estudio, pero es difícil en esta etapa juzgar si la lignificación por se puede contribuir a la eficiencia de las barreras. La lignificación se cita comúnmente como una reacción de defensa al ataque de hongos. Se ha encontrado que los bloqueos vasculares e intercelulares, inducidos en las raíces de *Phragmites* por heridas, contienen gomas de polisacáridos; Este y nuestro trabajo anterior también presentan una fuerte evidencia de componentes de tipo lípido/suberina y, a veces, lignina. La suberización y no la lignificación formaban las barreras apoplásticas para la LOD y el transporte de agua en algunos árboles amazónicos.

Se sabe que el sulfuro es tan eficaz como el cianuro como toxina respiratoria, inhibiendo la citocromo oxidasa en las células eucariotas en concentraciones de 1 a 10 mM. El sulfuro también se ha citado como inhibidor de la fotosíntesis en *Spartina*, reduciéndolo a una sexta parte de lo normal a solo 0001 mM (0,034 ppm) de sulfuro en suspensiones agitadas.

Aunque las barreras y bloqueos descritos aquí pueden considerarse principalmente beneficiosos y protectores contra la entrada y propagación de sulfuro dentro de la planta, nuestro estudio ha indicado que pueden tener consecuencias perjudiciales en términos de reducción temporal de la absorción de agua y nutrientes. Los bloqueos dentro del sistema vascular y de aireación del sistema radicular podrían ser particularmente perjudiciales ya que su influencia podría ser generalizada. Además, la inhibición del crecimiento de las raíces, la muerte de las raíces laterales y las barreras a la absorción de agua y nutrientes

podrían resultar en la necesidad de un crecimiento renovado de los sistemas de raíces y el debilitamiento resultante de la planta. Aunque el arroz parece tolerar y recuperarse de concentraciones relativamente bajas de sulfuro, uno podría imaginar cómo la exposición repetida o prolongada y/o concentraciones más altas podrían eventualmente tener consecuencias devastadoras. Además de una exacerbación de los efectos registrados, se podría esperar que el sulfuro alcance el sistema de brotes y provoque la inhibición de la fotosíntesis y la senescencia prematura.

### **Las recomendaciones de Arkansas**

La causa de la enfermedad no se entiende completamente. El principal culpable es la formación de sulfuro de hidrógeno en algunos tipos de suelo. La investigación ha indicado que el sulfuro de hidrógeno, incluso en bajas concentraciones, puede ser tóxico para las raíces y afectará la capacidad de la planta de absorber nutrientes del suelo. Las aplicaciones de fertilizantes no proporcionarán el beneficio deseado a las plantas con sistemas de raíces comprometidos.

Para reducir el riesgo de esta enfermedad, comience a explorar sus campos dos semanas después de una inundación permanente, especialmente en campos con antecedentes de la enfermedad. Si sospecha de alguno de sus campos, debe explorar. Sea considerado y cuidadoso manejando esta enfermedad. Si ya sabe que su campo tiene un historial de la enfermedad, siga la "estrategia preventiva", es decir, DRENE y SECE como lo hace para la straighthead basado en el DD50 para el campo, luego vuelva a inundar una vez que vea nuevas raíces empieza a formarse. Sin embargo, si los síntomas se detectan inesperadamente puede intentar una "estrategia de rescate", es decir, drenar cuidadosamente el campo para exponer el suelo sin permitir que el suelo se seque por completo. Una vez que vea nuevas raíces creciendo activamente, vuelva a inundar el campo. El principio detrás de estas estrategias es airear el suelo para que el oxígeno llegue a las raíces. Es fundamental no dañar el cultivo debido a la escasez de agua al intentar tales prácticas, por lo que deberá pensar en los riesgos de antemano.

Recuerde, las plantas usan la mayor cantidad de agua durante las etapas reproductivas. "Drenar y secar" puede no ser la mejor opción para los productores que tienen recursos hídricos limitados o en campos realmente grandes. Sin embargo, si no se realiza, particularmente en un arroz afectado temprano, el cultivo puede no llegar a la cosecha. Recuerde equilibrar también el fertilizante basado en un análisis de suelo reciente y recomendaciones de extensión. El fósforo ayuda a mejorar el vigor de la raíz y el potasio en la salud general.

Las raíces sanas promueven el crecimiento saludable de las plantas. La búsqueda de toxicidad por sulfuro de hidrógeno en el arroz sumergido es una práctica esencial para evitar el riesgo de daños a los cultivos. Se recomienda encarecidamente la revisión periódica de toxicidad por sulfuro de hidrógeno que comienza dos o tres semanas después de que se establezca la inundación permanente. La detección temprana es la clave para realizar acciones de manejo oportunas. Una vez que el sulfuro de hidrógeno predispone a las plantas de arroz a la infección por hongos oportunistas, el daño generalmente es irreversible. Por lo tanto, como regla general, es muy recomendable buscar el problema de toxicidad.

Se ha reportado toxicidad por sulfuro de hidrógeno en Arkansas de varios tipos de suelo en diferentes variedades de arroz en los últimos cinco años. Algunos tipos de suelo son más propensos que otros. Las observaciones han demostrado que los campos que tienen una textura de suelo franco arcilloso son más propensos al problema de toxicidad por sulfuro de hidrógeno que otros que comúnmente se cultivan en arroz.

Asimismo, hemos observado diferencias en los niveles de tolerancia varietal. Pero no se ha visto arroz completamente libre del problema en nuestros experimentos de campo cuando se cultiva bajo inundación continua en un campo con historia de akiochi.

La toxicidad del sulfuro de hidrógeno predispone a las plantas de arroz a la invasión de la corona de la raíz por hongos oportunistas que causan un envejecimiento o akiochi. En tal situación, la pérdida de grano puede alcanzar hasta el 50 por ciento. La detección temprana y las acciones oportunas son la clave para minimizar el riesgo de daños por la toxicidad del sulfuro de hidrógeno y el complejo de disminución del otoño. El problema puede comenzar en cualquier etapa del ciclo del arroz en condiciones de inundación. Por lo tanto, la exploración regular es muy recomendable.

Consejos de exploración para la toxicidad del sulfuro de hidrógeno en la etapa temprana de la cosecha de arroz.

Dónde explorar: Explore en áreas más cercanas a las entradas de agua. Los síntomas comienzan cerca de las entradas de agua y se desvanecen más lejos.

Cómo explorar: Saque las plantas de arroz para examinar las raíces de las zanjas, cancha y taipas o rondas. Lave el barro de las raíces de arroz.

Para los primeros síntomas, parta las macollos y examine la base de la corona de la raíz justo debajo de la superficie del suelo. Compare las raíces de arroz de zanjas, cancha y taipas.

Diagnóstico: Si existe toxicidad por sulfuro de hidrógeno, las raíces de zanjas o préstamos y/o arroz en cancha mostrarían un color negro, a diferencia de las raíces de los taipas o rondas.

Las raíces ennegrecidas cambian gradualmente de color a la normalidad cuando se exponen al aire libre durante una hora más o menos.

En algunos campos, el agua de la inundación huele a huevo podrido.

A medida que los síntomas progresan, puede verse un tinte amarillo similar a los síntomas de deficiencias de azufre o nitrógeno. El arroz afectado puede mostrar hojas inferiores amarillentas y las plantas de arroz parecen atrofiadas. Gradualmente, casi todas las raíces se vuelven negras.

Por lo general, hay una diferencia en la masa de raíces entre las raíces de arroz de taipas y bajos.

La infección de la corona de la raíz puede ocurrir en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, dependiendo de la gravedad de los problemas.

## **Síntesis**

La observación de raíces negras en el cultivo de arroz está relacionada a la toxicidad por sulfuros.

Las condiciones predisponentes son la inundación continua de suelos arcillosos, ricos en materia orgánica, con alta disponibilidad de sulfatos, baja disponibilidad de hierro, pH neutro a alcalino. Agua de riego fría y temperaturas ambientales bajas. Los valores de sulfatos en suelo pueden dar algún indicio; con menos de 10 ppm de  $S-SO_4^-$  se espera deficiencia de azufre, pero con más de 50 ppm algunos sugieren que se puede presentar la toxicidad por sulfuros.

Yo creo que las condiciones de estrés por salinidad, alcalinidad, frío, mala nutrición mineral, (¿herbicidas?) y otros factores que reduzcan la capacidad de la planta de oxidar la rizósfera, determinan condiciones predisponentes a la aparición de esta enfermedad.

Las plantas se manifiestan con un amarillamiento a senescencia de hojas viejas y raíces negras con olor a podrido. Las plantas en las taipas están más verdes con raíces vigorosas y blancas. En suelos salinos las zonas altas concentran sales y el síntoma es visible a pesar de no tener tanta lámina. Las plantas absorben notablemente menos N, P y K.

El manejo recomendado es drenar y secar, para oxigenar y oxidar los compuestos tóxicos. También hay variedades con mayor poder de oxigenación y menor susceptibilidad a esta enfermedad. Algunos productos oxidantes se recomiendan (CaO) pero no hay muchas experiencias. La tendencia natural es aplicar más nitrógeno, pero no es la solución dado que no es absorbido.