

La Importancia del Nano Azufre para Aumentar los Rendimientos y Mejorar la Calidad del Trigo de Invierno Común

Автор(и): доц. д-р Златина Ур, ИРГР – Садово, ССА

Дата: 01.04.2025 *Брой:* 4/2025



Resumen

Con la creciente necesidad de prácticas agrícolas sostenibles, los nanofertilizantes han surgido como una alternativa innovadora a los fertilizantes convencionales. Estos fertilizantes avanzados mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes, promueven el crecimiento de los cultivos y minimizan el daño ambiental al permitir una entrega precisa de nutrientes. Esta revisión evalúa diversas técnicas para la aplicación de nanofertilizantes y su impacto en el crecimiento, rendimiento y calidad de las plantas. Además, examina sus interacciones con la

composición del suelo y las comunidades microbianas, destacando su papel en la actividad enzimática y el ciclo de nutrientes. Aunque los nanofertilizantes ofrecen ventajas significativas, desafíos como la regulación adecuada de la dosis, la toxicidad potencial y los efectos ambientales a largo plazo requieren más investigación. Este breve documento también presenta los últimos avances en la tecnología de nanofertilizantes y enfatiza la importancia de un enfoque integrado para optimizar la productividad agrícola mientras se preserva la salud del suelo y la sostenibilidad ambiental.



Bulgaria tiene condiciones naturales únicas para la producción de cereales, en primer lugar la calidad panadera inigualable de las variedades de trigo blando de invierno. Sin embargo, estas oportunidades no se aprovechan plenamente. Una de las condiciones principales y necesarias para obtener altos rendimientos de trigo es el uso de material de semilla de alta calidad con compuestos efectivos de los que depende la germinación de la semilla (Erdem et al., 2016). La intensificación de la producción incluye el uso de diversos fertilizantes para optimizar la nutrición de las plantas y de pesticidas para controlar plagas, enfermedades y malas hierbas en la agricultura moderna. La mejora de las formas existentes del sistema agrícola se basa en la amplia aplicación de productos y agentes de protección vegetal y la reproducción de la fertilidad del suelo, así como en la introducción de sistemas diferenciados de labranza del suelo, teniendo en cuenta los requisitos biológicos del cultivo.

La mayoría de los productos químicos utilizados en la producción agrícola moderna son sintéticos y no se destruyen ni por los sistemas enzimáticos de las plantas ni por métodos físicos o químicos. Esto conduce a su acumulación en los productos cosechados y, en consecuencia, en los cuerpos de humanos y animales.

La efectividad de los preparados de azufre y sus combinaciones en el cultivo del trigo ha sido confirmada por información de la literatura, por lo que se recomienda su uso en la agricultura.

Los patógenos fúngicos que causan la roya parda en el trigo pueden provocar pérdidas de rendimiento de hasta el 50-60%. Uno de los métodos más efectivos para prevenir estas pérdidas es el desarrollo de variedades resistentes con alto potencial de rendimiento. Por lo tanto, la principal estrategia de control – la resistencia genética – se utiliza para controlar las enfermedades de la roya en el trigo, especialmente la roya de la hoja. Hasta la fecha, la resistencia genética del huésped sigue siendo la más efectiva (El-Orabey et al., 2019).

Se sabe que el azufre ayuda a ralentizar los procesos oxidativos en las plantas mientras aumenta los procesos de reducción, mientras que los cereales aumentan su viabilidad y mejoran la calidad del grano.

Hay menos investigación sobre el efecto del azufre en la absorción de fósforo y potasio por las plantas que sobre el nitrógeno, y los hallazgos son a menudo contradictorios (Shekel, 1979, Tisdale, 1974). Se ha observado un efecto positivo del azufre en la absorción de fósforo y potasio por las plantas junto con el nitrógeno en suelos calcáreos sódico-podzólicos (Tserling, 1990, Shevyakova, 1983, Shkel, 1979). Los investigadores explican la mejora de la nutrición de las plantas con fósforo y potasio bajo la influencia de nanopartículas de azufre en estos casos por la mayor movilidad de los elementos del suelo bajo la acción del ácido sulfúrico (Svetlov et al., 1987, Archer, 1974). Así, nuestra investigación muestra que la influencia de los preparados que contienen azufre es relevante y prometedora, pero en la práctica se ha llevado a cabo a una escala insuficiente.

Los estudios sobre el efecto del azufre y el calcio revelan la efectividad del uso del azufre para aumentar la productividad (Ivanitsky, Ya.V., 2011, Maslova et al., 2008, Maslova, 2008), ya que la deficiencia de azufre en el grano afecta significativamente el rendimiento y la calidad de los granos de trigo (Zhao et al., 1999). **El nitrógeno no puede utilizarse eficientemente sin azufre, y el contenido de proteína no puede alcanzar su potencial de rendimiento completo.** Además, el azufre es un componente de varios compuestos clave en los cultivos, por lo que la deficiencia de azufre es un factor limitante no solo para el crecimiento y el rendimiento de la semilla, sino también para la mala calidad del producto (Singh, 2003). La limitación de la disponibilidad de azufre contribuye a la síntesis de bajo contenido proteico (Flaete et al., 2005), reduce el tamaño y la calidad de los granos de trigo debido al cese de la formación de enlaces disulfuro, formados por los grupos sulfhidrilo de la

cistefna (Gyori, 2005, McGrath, 2003). El grano de trigo que contiene azufre, medido como concentración de azufre además de la concentración de nitrógeno, es la clave para la calidad de la semilla (Karimi y Mohsenzadch, 2015, Geiger, 2009, Whitesides, 2005) y su deficiencia conduce a una disminución de la productividad. Los resultados muestran similitud entre el CuO o ZnO en plantas de trigo con mayor toxicidad radicular asociada al menor tamaño de las nanopartículas de azufre (Hasan et al., 2018, Dimkra et al., 2013, Tea et al., 2007).

Hoy en día, el área más prometedora es el uso del tratamiento de semillas previo a la siembra con nanopartículas, como lo evidencia el crecimiento en los volúmenes de ventas. Una característica de la acción de las sustancias activas es que intensifican los procesos fisiológicos y bioquímicos en las plantas y al mismo tiempo aumentan el rendimiento y la resistencia al estrés. Tales reguladores incluyen sustancias naturales y sintéticas que, en pequeñas dosis, influyen activamente en el metabolismo de las plantas (Burkitbayev et al., 2021). La tecnología de cultivo intensivo asegura la realización plena del potencial de las plantas para formar altos rendimientos de buena calidad. La resistencia de las variedades estudiadas está confirmada por datos sobre el balance iónico de Na^+ , K^+ y Ca^{2+} en las raíces primarias del trigo (Terletskaya et al., 2019). En la práctica agrícola global, las nuevas variedades de alto rendimiento, las rotaciones de cultivos científicamente fundamentadas y el uso racional de formulaciones minerales y productos de protección vegetal son reconocidos como factores clave para aumentar los rendimientos. Estas técnicas requieren altos insumos de energía y materiales y no siempre son ambientalmente seguras. Un problema agudo de la producción de cultivos moderna en la actualidad es la producción de productos agrícolas ecológicos y la reducción de la presión antropogénica sobre el biogeocenosis (Monostori et al., 2017).

El indicador del estado del azufre en las plantas se correlaciona significativamente con el azufre biodisponible en el suelo. El indicador de azufre en la biomasa del brote es el siguiente: afecta la concentración de azufre, la relación de masa de nitrógeno a azufre (N / S), la relación de masa de fósforo a azufre y el índice de nutrición de azufre. El azufre biodisponible en el suelo se correlaciona significativamente con la relación nitrógeno a azufre en los brotes de trigo de invierno y colza de invierno.

Los cultivos requieren nutrientes para altos rendimientos; sin embargo, solo pueden absorber formas iónicas de los elementos. En esta etapa, los microorganismos son beneficiosos porque convierten el nitrógeno, fósforo y azufre unidos orgánicamente en iones solubles como NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^+ , HPO_4^- y SO_4^- . La mineralización es la transformación de compuestos orgánicos en compuestos inorgánicos, que es un proceso biológico que depende de la temperatura, la precipitación, las propiedades del suelo, la composición química de los residuos vegetales, la estructura y composición de las comunidades microbianas y la relación C:N en el

suelo después de la aplicación de material vegetal. Ajustar los valores de estos factores permite determinar la tasa y dirección de la mineralización de los residuos vegetales en el suelo.

Las recomendaciones no están bien desarrolladas para el análisis de suelo para el contenido de azufre al cultivar en áreas áridas. Para evaluar la importancia del contenido de azufre y nitrógeno en el suelo y el tejido para predecir la deficiencia de azufre en los sitios, aparentemente se observa la morfología, ya que los dos minerales a menudo están asociados. Por lo tanto, existe la probabilidad de una respuesta aumentada a la aplicación de azufre. Se recomienda mantener el uso de la relación N:S, que puede indicar deficiencia de S tanto para la cebada como para el trigo (Conyers & Holland, 2020).

El dióxido de azufre (SO_2) juega un papel beneficioso en la protección de las plantas del estrés ambiental. El SO_2 aumenta la tolerancia a la sequía de las plantas jóvenes a través de la señalización de H_2S y proporciona una nueva estrategia para mejorar la resistencia de las plantas al estrés por sequía (Li et al., 2021).

La clave para asegurar una alta fertilidad del suelo y aumentar los rendimientos de los cultivos es una nutrición mineral equilibrada para todos los elementos, teniendo en cuenta su contenido, distribución y transformación en el suelo (Kulhanek et al., 2014). El azufre se encuentra junto a elementos como el nitrógeno, el fósforo y el potasio – el segundo elemento proteinogénico después del nitrógeno. La deficiencia de azufre, así como la deficiencia de nitrógeno, reduce la síntesis de proteínas, mientras que la manifestación externa de la deficiencia de azufre en las plantas casi coincide con los signos de deficiencia de nitrógeno. Se ha establecido su absoluta necesidad para los procesos de respiración, fotosíntesis, metabolismo del nitrógeno y de los carbohidratos (Järvan, Edesi & Adamson, 2011).

Anteriormente, la nutrición de azufre de las plantas se satisfacía sin esfuerzo adicional, pero ahora y en el futuro los recursos para su entrada en el suelo están disminuyendo y la demanda de ella en la agricultura está aumentando debido a la mayor demanda de productos agrícolas de alta calidad. **Las principales razones del aumento de la deficiencia de azufre son el menor contenido de dióxido de azufre en la atmósfera, el mayor uso de compuestos altamente concentrados y sin lastre sin azufre, mayores rendimientos de los cultivos y una mayor extracción de azufre** (Matraszek et al., 2015)

Se ha establecido que la aplicación de nanoazufre a suelos con bajo contenido de azufre aumenta los coeficientes de uso de nutrientes de los fertilizantes, acelera su translocación de los órganos vegetativos al grano. El agroquímico de azufre influye en el metabolismo del nitrógeno en las plantas de trigo, juega un papel esencial desde las primeras etapas de desarrollo en el metabolismo de la célula vegetal, que está estrechamente relacionado con el ciclo del nitrógeno, ya que ambos elementos son componentes obligatorios

de las proteínas. Si hay una deficiencia de uno de los dos elementos, la síntesis de proteínas se ralentiza y puede detenerse por completo en ausencia de ambas (nitrógeno y azufre) fuentes disponibles para las plantas (Maslova, 1993).

En un ensayo realizado en el período 2023/2024 en el campo orgánico del “IPGR K. Malkov” en la ciudad de Sadovo, se incluyeron cuatro variedades y cinco líneas avanzadas de trigo blando de invierno criadas en el Instituto: Sadovo 1, Pobeda, Avenue, Magiji, MH 258/3355, RU 251/268, BA 1325, BA 1378 y BA 1390. Se evaluó el efecto del fertilizante líquido búlgaro Sulfeko en la productividad de los accesos estudiados. El producto se aplicó en diferentes dosis y etapas de crecimiento del cultivo.

СХЕМА НА ОПИТА			
Вариант, №	Фаза на внасяне, доза		Брой пръскания
	Вретенене	Изкласяване	
1.	200 ml	-	1
2.	100 ml	100 ml	2
3.	260 ml	-	1
4.	130 ml	130 ml	2
5. Контрола	-	-	-

Tabla 1 Diseño del ensayo

Los resultados se publican en el informe del proyecto ZFTK 37 de la Academia Agrícola. La mayor altura de planta se registró en la variante No. 3, que incluyó la dosis máxima del producto aplicada una vez en la etapa de alargamiento del tallo. El mayor macollaje total se obtuvo en la variante No. 3 y la variante No. 5, mientras que el macollaje productivo máximo se registró en la variante No. 4 y en las plantas control. Para los caracteres longitud de