

A Importância do Nano Enxofre para Aumentar a Produtividade e Melhorar a Qualidade do Trigo de Inverno Comum

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

Дата: 01.04.2025 *Брой:* 4/2025



Resumo

Com a crescente necessidade de práticas agrícolas sustentáveis, os nanofertilizantes surgiram como uma alternativa inovadora aos fertilizantes convencionais. Estes fertilizantes avançados melhoram a eficiência do uso de nutrientes, promovem o crescimento das culturas e minimizam os danos ambientais, permitindo uma entrega precisa de nutrientes. Esta revisão avalia várias técnicas de aplicação de nanofertilizantes e o seu impacto no crescimento, rendimento e qualidade das plantas. Além disso, examina as suas interações com a

composição do solo e as comunidades microbianas, destacando o seu papel na atividade enzimática e na ciclagem de nutrientes. Embora os nanofertilizantes ofereçam vantagens significativas, desafios como a regulação adequada da dosagem, a potencial toxicidade e os efeitos ambientais a longo prazo exigem mais investigação. Este breve artigo também apresenta os últimos avanços na tecnologia de nanofertilizantes e enfatiza a importância de uma abordagem integrada para otimizar a produtividade agrícola, preservando a saúde do solo e a sustentabilidade ambiental.



A Bulgária possui condições naturais únicas para a produção de cereais, em primeiro lugar a qualidade de panificação incomparável das variedades de trigo mole de inverno. No entanto, estas oportunidades não são totalmente aproveitadas. Uma das principais e necessárias condições para obter altos rendimentos de trigo é a utilização de material de semente de alta qualidade com compostos eficazes dos quais depende a germinação das sementes (Erdem et al., 2016). A intensificação da produção inclui o uso de vários fertilizantes para otimizar a nutrição das plantas e pesticidas para controlar pragas, doenças e ervas daninhas na agricultura moderna. A melhoria das formas existentes do sistema agrícola baseia-se na ampla aplicação de produtos e agentes de proteção das plantas e na reprodução da fertilidade do solo, bem como na introdução de sistemas diferenciados de preparo do solo, tendo em conta os requisitos biológicos da cultura.

A maioria dos produtos químicos utilizados na produção agrícola moderna são sintéticos e não são destruídos nem pelos sistemas enzimáticos das plantas nem por abordagens físicas ou químicas. Isto leva à acumulação

nos produtos colhidos e, conseqüentemente, nos corpos de humanos e animais.

A eficácia das preparações de enxofre e das suas combinações no cultivo do trigo foi confirmada por informações da literatura e, portanto, são recomendadas para uso na agricultura.

Os agentes patogénicos fúngicos que causam a ferrugem castanha no trigo podem resultar em perdas de rendimento de até 50–60%. Um dos métodos mais eficazes para prevenir estas perdas é o desenvolvimento de variedades resistentes com alto potencial de rendimento. Portanto, a principal estratégia de controlo – a resistência genética – é utilizada para controlar doenças da ferrugem no trigo, especialmente a ferrugem da folha. Até à data, a resistência genética do hospedeiro continua a ser a mais eficaz (El-Orabey et al., 2019).

Sabe-se que o enxofre ajuda a retardar os processos oxidativos nas plantas, enquanto aumenta os processos de redução, enquanto os cereais aumentam a sua viabilidade e melhoram a qualidade do grão.

Existe menos investigação sobre o efeito do enxofre na absorção de fósforo e potássio pelas plantas do que sobre o nitrogénio, e os resultados são frequentemente contraditórios (Shekel, 1979, Tisdale, 1974). Um efeito positivo do enxofre na absorção de fósforo e potássio pelas plantas juntamente com o nitrogénio foi observado em solos calcários sodopodsólicos (Tserling, 1990, Shevyakova, 1983, Shkel, 1979). Os investigadores explicam a melhoria da nutrição das plantas com fósforo e potássio sob a influência de nanopartículas de enxofre nestes casos pela maior mobilidade dos elementos do solo sob a ação do ácido sulfúrico (Svetlov et al., 1987, Archer, 1974). Assim, a nossa investigação mostra que a influência das preparações contendo enxofre é relevante e promissora, mas na prática tem sido realizada numa escala insuficiente.

Estudos sobre o efeito do enxofre e do cálcio revelam a eficácia do uso do enxofre para aumentar a produtividade (Ivanitsky, Ya.V., 2011, Maslova et al., 2008, Maslova, 2008), uma vez que a deficiência de enxofre no grão afeta significativamente o rendimento e a qualidade dos grãos de trigo (Zhao et al., 1999). **O nitrogénio não pode ser utilizado eficientemente sem enxofre, e o conteúdo proteico não pode atingir o seu potencial total de rendimento.** Além disso, o enxofre é um componente de vários compostos-chave nas culturas, pelo que a deficiência de enxofre é um fator limitante não só para o crescimento e rendimento das sementes, mas também para a má qualidade do produto (Singh, 2003). A limitação da disponibilidade de enxofre contribui para a síntese de baixo teor proteico (Flaete et al., 2005), reduz o tamanho e a qualidade dos grãos de trigo devido à cessação da formação de ligações dissulfeto, formadas pelos grupos sulfidril da cisteína (Gyori, 2005, McGrath, 2003). O grão de trigo contendo enxofre, medido como concentração de enxofre além da concentração de nitrogénio, é a chave para a qualidade da semente (Karimi e Mohsenzadch, 2015, Geiger, 2009, Whitesides, 2005) e a sua deficiência leva a uma diminuição da produtividade. Os

resultados mostram semelhança entre CuO ou ZnO em plantas de trigo com maior toxicidade radicular associada ao menor tamanho das nanopartículas de enxofre (Hasan et al., 2018, Dimkra et al., 2013, Tea et al., 2007).

Atualmente, a área mais promissora é o uso do tratamento pré-semeadura de sementes com nanopartículas, como evidenciado pelo crescimento nos volumes de vendas. Uma característica da ação das substâncias ativas é que intensificam os processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas e, ao mesmo tempo, aumentam o rendimento e a resistência ao stresse. Tais reguladores incluem substâncias naturais e sintéticas que, em pequenas doses, influenciam ativamente o metabolismo das plantas (Burkitbayev et al., 2021). A tecnologia intensiva de cultivo de culturas garante a plena realização do potencial das plantas para formar altos rendimentos de boa qualidade. A resistência das variedades estudadas é confirmada por dados sobre o equilíbrio iónico de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} nas raízes primárias do trigo (Terletskaya et al., 2019). Na prática agrícola global, novas variedades de alto rendimento, rotações de culturas cientificamente fundamentadas e o uso racional de formulações minerais e produtos de proteção das plantas são reconhecidos como fatores-chave para aumentar os rendimentos. Estas técnicas requerem elevados insumos de energia e materiais e nem sempre são ambientalmente seguras. Um problema agudo da produção de culturas moderna atualmente é a produção de produtos agrícolas ambientalmente corretos e a redução da pressão antropogénica sobre o biogeocenose (Monostori et al., 2017).

O indicador do estado do enxofre nas plantas correlaciona-se significativamente com o enxofre biodisponível no solo. O indicador de enxofre na biomassa da parte aérea é o seguinte: afeta a concentração de enxofre, a relação de massa nitrogénio/enxofre (N/S), a relação de massa fósforo/enxofre e o índice de nutrição com enxofre. O enxofre biodisponível no solo correlaciona-se significativamente com a relação nitrogénio/enxofre nas partes aéreas do trigo de inverno e da colza de inverno.

As culturas requerem nutrientes para altos rendimentos; no entanto, só podem absorver formas iónicas dos elementos. Nesta fase, os microrganismos são benéficos porque convertem o nitrogénio, fósforo e enxofre ligados organicamente em iões solúveis como NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^+ , HPO_4^- e SO_4^- . A mineralização é a transformação de compostos orgânicos em compostos inorgânicos, que é um processo biológico que depende da temperatura, precipitação, propriedades do solo, composição química dos resíduos vegetais, estrutura e composição das comunidades microbianas e a relação C:N no solo após a aplicação de material vegetal. Ajustar os valores destes fatores permite determinar a taxa e direção da mineralização dos resíduos vegetais no solo.

As recomendações não estão bem desenvolvidas para a análise do solo para o teor de enxofre no cultivo de culturas em áreas áridas. Para avaliar a significância do teor de enxofre e nitrogénio no solo e no tecido para prever a deficiência de enxofre nos locais, a morfologia é aparentemente observada, uma vez que os dois minerais estão frequentemente associados. Portanto, há uma probabilidade de uma resposta aumentada à aplicação de enxofre. Recomenda-se manter o uso da relação N:S, que pode indicar deficiência de S tanto para a cevada como para o trigo (Conyers & Holland, 2020).

O dióxido de enxofre (SO_2) desempenha um papel benéfico na proteção das plantas contra o stresse ambiental. O SO_2 aumenta a tolerância à seca de plantas jovens através da sinalização de H_2S e fornece uma nova estratégia para aumentar a resistência das plantas ao stresse hídrico (Li et al., 2021).

A chave para garantir alta fertilidade do solo e aumentar os rendimentos das culturas é a nutrição mineral equilibrada para todos os elementos, tendo em conta o seu conteúdo, distribuição e transformação no solo (Kulhanek et al., 2014). O enxofre está ao lado de elementos como o nitrogénio, fósforo e potássio – o segundo elemento proteinogénico após o nitrogénio. A deficiência de enxofre, bem como a deficiência de nitrogénio, reduz a síntese proteica, enquanto a manifestação externa da fome de enxofre nas plantas quase coincide com os sinais de deficiência de nitrogénio. A sua absoluta necessidade para os processos de respiração, fotossíntese, metabolismo do nitrogénio e dos hidratos de carbono foi estabelecida (Järvan, Edesi & Adamson, 2011).

Anteriormente, a nutrição com enxofre das plantas era satisfeita sem esforço adicional, mas agora e no futuro os recursos para a sua entrada no solo estão a diminuir e a procura por ela na agricultura está a aumentar devido à maior procura por produtos agrícolas de alta qualidade. **As principais razões para o aumento da deficiência de enxofre são o menor teor de dióxido de enxofre na atmosfera, o aumento do uso de compostos altamente concentrados e sem lastro sem enxofre, maiores rendimentos das culturas e maior remoção de enxofre** (Matraszek et al., 2015)

Foi estabelecido que a aplicação de nano-enxofre em solos com baixo teor de enxofre aumenta os coeficientes de uso de nutrientes dos fertilizantes, acelera a sua translocação dos órgãos vegetativos para o grão. O agroquímico de enxofre influencia o metabolismo do nitrogénio em plantas de trigo, desempenha um papel essencial desde os estágios mais precoces de desenvolvimento no metabolismo na célula vegetal, que está intimamente relacionado com o ciclo do nitrogénio, uma vez que ambos os elementos são componentes obrigatórios das proteínas. Se houver deficiência de um dos dois elementos, a síntese proteica desacelera e

pode parar completamente na ausência de ambas as fontes disponíveis (nitrogénio e enxofre) para as plantas (Maslova, 1993).

Num ensaio realizado no período 2023/2024 no campo orgânico do “IPGR K. *Malikov*” na cidade de Sadovo, foram incluídas quatro variedades e cinco linhas avançadas de trigo mole de inverno criadas no Instituto: Sadovo 1, Pobeda, Avenue, Magiji, MH 258/3355, RU 251/268, BA 1325, BA 1378 e BA 1390. Foi avaliado o efeito do fertilizante líquido búlgaro Sulfeko na produtividade dos acessos estudados. O produto foi aplicado em diferentes doses e estágios de crescimento da cultura.

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	-	-	-

Tabela 1 Esquema do ensaio

Os resultados são publicados no relatório do projeto ZFTK 37 da Academia Agrícola. A maior altura das plantas foi registada na variante nº 3, que incluiu a dose máxima do produto aplicada uma vez no estágio de alongamento do colmo. O maior afilhamento total foi obtido na variante nº 3 e na variante nº 5, enquanto o afilh