

L'Importance du Soufre Nano pour Augmenter les Rendements et Améliorer la Qualité du Blé d'Hiver Commun

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

Дата: 01.04.2025 *Брой:* 4/2025



Résumé

Face au besoin croissant de pratiques agricoles durables, les nano-engrais sont apparus comme une alternative innovante aux engrais conventionnels. Ces engrais avancés améliorent l'efficacité d'utilisation des nutriments, favorisent la croissance des cultures et minimisent les dommages environnementaux en permettant un apport précis en nutriments. Cette revue évalue diverses techniques d'application des nano-engrais et leur impact sur la croissance, le rendement et la qualité des plantes. En outre, elle examine leurs interactions avec la

composition du sol et les communautés microbiennes, mettant en lumière leur rôle dans l'activité enzymatique et le cycle des nutriments. Bien que les nano-engrais offrent des avantages significatifs, des défis tels que la régulation appropriée des doses, la toxicité potentielle et les effets environnementaux à long terme nécessitent des recherches supplémentaires. Ce bref article présente également les dernières avancées dans la technologie des nano-engrais et souligne l'importance d'une approche intégrée pour optimiser la productivité agricole tout en préservant la santé des sols et la durabilité environnementale.



La Bulgarie dispose de conditions naturelles uniques pour la production céréalière, en premier lieu la qualité boulangère inégalée des variétés de blé d'hiver commun. Cependant, ces opportunités ne sont pas pleinement exploitées. L'une des principales conditions nécessaires pour obtenir des rendements élevés de blé est l'utilisation de matériel semencier de haute qualité avec des composés efficaces dont dépend la germination des graines (Erdem et al., 2016). L'intensification de la production comprend l'utilisation de divers engrais pour optimiser la nutrition des plantes et de pesticides pour lutter contre les ravageurs, les maladies et les mauvaises herbes dans l'agriculture moderne. L'amélioration des formes existantes du système agricole repose sur l'application large de produits et d'agents de protection des plantes et la reproduction de la fertilité des sols, ainsi que sur l'introduction de systèmes de travail du sol différenciés, en tenant compte des exigences biologiques de la culture.

La plupart des produits chimiques utilisés dans la production agricole moderne sont synthétiques et ne sont pas détruits ni par les systèmes enzymatiques des plantes, ni par des approches physiques ou chimiques. Cela conduit à une accumulation dans les produits récoltés, et par conséquent dans les organismes des humains et des animaux.

L'efficacité des préparations à base de soufre et de leurs combinaisons dans la culture du blé a été confirmée par des informations de la littérature, et elles sont donc recommandées pour une utilisation en agriculture.

Les agents pathogènes fongiques causant la rouille brune du blé peuvent entraîner des pertes de rendement allant jusqu'à 50-60 %. L'une des méthodes les plus efficaces pour prévenir ces pertes est le développement de variétés résistantes avec un potentiel de rendement élevé. Par conséquent, la principale stratégie de lutte – la résistance génétique – est utilisée pour contrôler les maladies de la rouille chez le blé, en particulier la rouille foliaire. À ce jour, la résistance génétique de l'hôte reste la plus efficace (El-Orabey et al., 2019).

Il est connu que le soufre aide à ralentir les processus oxydatifs chez les plantes tout en augmentant les processus de réduction, tandis que les céréales augmentent leur viabilité et améliorent la qualité des grains.

Il y a moins de recherches sur l'effet du soufre sur l'absorption du phosphore et du potassium par les plantes que sur l'azote, et les résultats sont souvent contradictoires (Shekel, 1979, Tisdale, 1974). Un effet positif du soufre sur l'absorption du phosphore et du potassium par les plantes conjointement avec l'azote a été observé dans les sols sod-podzoliques calcaires (Tserling, 1990, Shevyakova, 1983, Shkel, 1979). Les chercheurs expliquent l'amélioration de la nutrition des plantes en phosphore et en potassium sous l'influence des nanoparticules de soufre dans ces cas par la mobilité accrue des éléments du sol sous l'action de l'acide sulfurique (Svetlov et al., 1987, Archer, 1974). Ainsi, nos recherches montrent que l'influence des préparations contenant du soufre est pertinente et prometteuse, mais qu'en pratique elle a été menée à une échelle insuffisante.

Les études sur l'effet du soufre et du calcium révèlent l'efficacité de l'utilisation du soufre pour augmenter la productivité (Ivanitsky, Ya.V., 2011, Maslova et al., 2008, Maslova, 2008), puisque la carence en soufre dans le grain affecte significativement le rendement et la qualité des grains de blé (Zhao et al., 1999). **L'azote ne peut pas être utilisé efficacement sans soufre, et la teneur en protéines ne peut pas atteindre son plein potentiel de rendement.** De plus, le soufre est un composant de plusieurs composés clés dans les cultures, donc une carence en soufre est un facteur limitant non seulement pour la croissance et le rendement en graines, mais aussi pour une mauvaise qualité du produit (Singh, 2003). La limitation de la disponibilité du soufre contribue à la synthèse d'une faible teneur en protéines (Flaete et al., 2005), réduit la taille et la qualité

des grains de blé en raison de l'arrêt de la formation des liaisons disulfure, formées par les groupes sulfhydryles de la cystéine (Gyori, 2005, McGrath, 2003). Le grain de blé contenant du soufre, mesuré par la concentration en soufre en plus de la concentration en azote, est la clé de la qualité des semences (Karimi et Mohsenzadch, 2015, Geiger, 2009, Whitesides, 2005) et sa carence conduit à une diminution de la productivité. Les résultats montrent une similitude entre le CuO ou le ZnO dans les plants de blé avec une toxicité racinaire plus élevée associée à la plus petite taille des nanoparticules de soufre (Hasan et al., 2018, Dimkra et al., 2013, Tea et al., 2007).

De nos jours, le domaine le plus prometteur est l'utilisation du traitement des semences avant le semis avec des nanoparticules, comme en témoigne la croissance des volumes de vente. Une caractéristique de l'action des substances actives est qu'elles intensifient les processus physiologiques et biochimiques chez les plantes et augmentent simultanément le rendement et la résistance au stress. De tels régulateurs comprennent des substances naturelles et synthétiques qui, à petites doses, influencent activement le métabolisme des plantes (Burkitbayev et al., 2021). La technologie intensive de culture des plantes assure la pleine réalisation du potentiel des plantes à former des rendements élevés de bonne qualité. La résistance des variétés étudiées est confirmée par des données sur l'équilibre ionique de Na^+ , K^+ et Ca^{2+} dans les racines primaires du blé (Terletskaya et al., 2019). Dans la pratique agricole mondiale, les nouvelles variétés à haut rendement, les rotations culturales scientifiquement fondées et l'utilisation rationnelle des formulations minérales et des produits de protection des plantes sont reconnues comme des facteurs clés pour augmenter les rendements. Ces techniques nécessitent des intrants énergétiques et matériels élevés et ne sont pas toujours écologiquement sûres. Un problème aigu de la production végétale moderne actuellement est la production de produits agricoles écologiques et la réduction de la pression anthropique sur le biogéocénose (Monostori et al., 2017).

L'indicateur du statut du soufre chez les plantes corrèle significativement avec le soufre biodisponible dans le sol. L'indicateur du soufre dans la biomasse des pousses est le suivant : il affecte la concentration en soufre, le rapport massique azote/soufre (N/S), le rapport massique phosphore/soufre et l'indice de nutrition en soufre. Le soufre biodisponible dans le sol corrèle significativement avec le rapport azote/soufre dans les pousses de blé d'hiver et de colza d'hiver.

Les cultures nécessitent des nutriments pour des rendements élevés ; cependant, elles ne peuvent absorber que les formes ioniques des éléments. À ce stade, les microorganismes sont bénéfiques car ils transforment l'azote, le phosphore et le soufre liés organiquement en ions solubles tels que NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^+ , HPO_4^- et SO_4^- . La minéralisation est la transformation des composés organiques en composés inorganiques, qui est un processus biologique dépendant de la température, des précipitations, des propriétés du sol, de la

composition chimique des résidus végétaux, de la structure et de la composition des communautés microbiennes et du rapport C:N dans le sol après l'application de matériel végétal. L'ajustement des valeurs de ces facteurs permet de déterminer la vitesse et la direction de la minéralisation des résidus végétaux dans le sol.

Les recommandations ne sont pas bien développées pour l'analyse du sol pour la teneur en soufre lors de la culture de plantes dans les zones arides. Pour évaluer l'importance de la teneur en soufre et en azote dans le sol et les tissus pour prédire la carence en soufre sur les sites, la morphologie est apparemment observée, car les deux minéraux sont souvent associés. Par conséquent, il y a une probabilité d'une réponse accrue à l'application de soufre. Il est recommandé de maintenir l'utilisation du rapport N:S, qui peut indiquer une carence en S à la fois pour l'orge et le blé (Conyers & Holland, 2020).

Le dioxyde de soufre (SO₂) joue un rôle bénéfique dans la protection des plantes contre le stress environnemental. Le SO₂ augmente la tolérance à la sécheresse des jeunes plantes par la signalisation H₂S et fournit une nouvelle stratégie pour améliorer la résistance des plantes au stress hydrique (Li et al., 2021).

La clé pour assurer une fertilité élevée du sol et augmenter les rendements des cultures est une nutrition minérale équilibrée pour tous les éléments, en tenant compte de leur teneur, distribution et transformation dans le sol (Kulhanek et al., 2014). Le soufre se place aux côtés d'éléments tels que l'azote, le phosphore et le potassium – le deuxième élément protéinogène après l'azote. Une carence en soufre, ainsi qu'une carence en azote, réduit la synthèse des protéines, tandis que la manifestation externe de la faim en soufre chez les plantes coïncide presque avec les signes de carence en azote. Sa nécessité absolue pour les processus de respiration, de photosynthèse, du métabolisme de l'azote et des glucides a été établie (Järvan, Edesi & Adamson, 2011).

Auparavant, la nutrition en soufre des plantes était satisfaite sans effort supplémentaire, mais maintenant et à l'avenir les ressources pour son entrée dans le sol diminuent et la demande pour celle-ci en agriculture augmente en raison de la demande plus élevée pour des produits agricoles de haute qualité. **Les principales raisons de l'augmentation de la carence en soufre sont la teneur plus faible en dioxyde de soufre dans l'atmosphère, l'utilisation accrue de composés hautement concentrés et sans ballast sans soufre, des rendements de culture plus élevés et une exportation de soufre accrue** (Matraszek et al., 2015)

Il a été établi que l'application de nano-soufre sur des sols à faible teneur en soufre augmente les coefficients d'utilisation des nutriments des engrais, accélère leur translocation des organes végétatifs vers le grain.

L'agrochimie du soufre influence le métabolisme de l'azote chez les plants de blé, joue un rôle essentiel dès les premiers stades de développement dans le métabolisme de la cellule végétale, qui est étroitement lié au

cycle de l'azote, puisque les deux éléments sont des composants obligatoires des protéines. S'il y a une carence de l'un des deux éléments, la synthèse des protéines ralentit et peut complètement s'arrêter en l'absence des deux (azote et soufre) sources disponibles pour les plantes (Maslova, 1993).

Dans un essai mené pendant la période 2023/2024 dans le champ biologique de l'« IPGR K. Malkov » dans la ville de Sadovo, quatre variétés et cinq lignées avancées de blé d'hiver commun sélectionnées à l'Institut ont été incluses : Sadovo 1, Pobeda, Avenue, Magiji, MH 258/3355, RU 251/268, BA 1325, BA 1378 et BA 1390. L'effet de l'engrais liquide bulgare Sulfeko sur la productivité des accessions étudiées a été évalué. Le produit a été appliqué à différentes doses et stades de croissance de la culture.

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	-	-	-

Tableau 1 Dispositif expérimental

Les résultats sont publiés dans le rapport du projet ZFTK 37 de l'Académie agricole. La plus grande hauteur des plantes a été enregistrée dans le variant n°3, qui comprenait la dose maximale du produit appliquée une fois au stade de l'élongation de la tige. Le tallage total le plus élevé a