

# 纳米硫对提高普通冬小麦产量和改善品质的重要性

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

Дата: 01.04.2025 Брой: 4/2025



## 摘要

随着对可持续农业实践需求的日益增长，纳米肥料已成为传统肥料的一种创新替代品。这些先进肥料通过实现精准养分输送，提高了养分利用效率，促进了作物生长，并最大限度地减少了对环境的损害。本综述评估了纳米肥料的各种施用技术及其对植物生长、产量和品质的影响。此外，还探讨了它们与土壤成分和微生物群落的相互作用，强调了其在酶活性和养分循环中的作用。尽管纳米肥料具有显著优势，但诸如剂量调控、潜在毒性和长期环境影响等挑战仍需进一步研究。本文还介绍了纳米肥料技术的最新进展，并强调了采取综合方法在保持土壤健康和环境可持续性的同时优化农业生产力的重要性。



保加利亚拥有谷物生产的独特自然条件，首先是普通冬小麦品种无与伦比的烘焙品质。然而，这些潜力并未得到充分发挥。获得小麦高产的主要和必要条件之一是使用高质量的种子材料，以及影响种子发芽的有效化合物（Erdem 等人，2016年）。生产集约化包括使用各种肥料来优化植物营养，以及使用农药来控制现代农业中的害虫、病害和杂草。现有农业体系的改进基于植保产品和药剂的广泛应用、土壤肥力的恢复，以及考虑到作物生物需求的差异化土壤耕作系统的引入。

现代农业生产中使用的大多数化学品是合成的，既不能被植物酶系统分解，也不能通过物理或化学方法破坏。这导致其在收获的农产品中积累，进而积累在人类和动物体内。

硫制剂及其组合在小麦种植中的有效性已得到文献信息的证实，因此建议在农业中使用。

引起小麦褐锈病的真菌病原体可导致高达50-60%的产量损失。防止这些损失的最有效方法之一是培育具有高产潜力的抗性品种。因此，主要的控制策略——遗传抗性——被用于控制小麦锈病，尤其是叶锈病。迄今为止，寄主遗传抗性仍然是最有效的（El-Orabey 等人，2019年）。

众所周知，硫有助于减缓植物的氧化过程，同时增强还原过程，从而提高谷类作物的活力并改善籽粒品质。

关于硫对植物吸收磷和钾的影响的研究少于对氮的影响，且研究结果常常相互矛盾（Shekel, 1979; Tisdale, 1974）。在石灰性生草灰化土中观察到硫对植物与氮一起吸收磷和钾的积极影响（Tserling, 1990; Shevyakova, 1983; Shkel, 1979）。研究人员在这些情况下将硫纳米颗粒影响下植物磷钾营养的改善归因于硫酸作用下土壤元

素移动性的增加 (Svetlov 等人, 1987; Archer, 1974)。因此, 我们的研究表明, 含硫制剂的影响是相关且有前景的, 但在实践中应用规模不足。

关于硫和钙影响的研究揭示了使用硫提高生产力的有效性 (Ivanitsky, Ya.V., 2011; Maslova 等人, 2008; Maslova, 2008), 因为籽粒中硫的缺乏显著影响小麦籽粒的产量和品质 (Zhao 等人, 1999)。没有硫, 氮就无法被有效利用, 蛋白质含量也无法达到其全部产量潜力。此外, 硫是作物中几种关键化合物的组成部分, 因此硫缺乏不仅是生长和种子产量的限制因素, 也是导致产品质量低劣的限制因素 (Singh, 2003)。硫可用性的限制有助于低蛋白质含量的合成 (Flaete 等人, 2005), 由于半胱氨酸巯基形成的二硫键停止形成, 降低了小麦籽粒的大小和质量 (Gyori, 2005; McGrath, 2003)。含有硫的小麦籽粒, 以硫浓度和氮浓度来衡量, 是种子质量的关键 (Karimi 和 Mohsenzadch, 2015; Geiger, 2009; Whitesides, 2005), 其缺乏会导致生产力下降。结果显示, 小麦植株中的氧化铜或氧化锌与较高的根部毒性之间存在相似性, 这与硫纳米颗粒的较小尺寸有关 (Hasan 等人, 2018; Dimkra 等人, 2013; Tea 等人, 2007)。

如今, 最有前景的领域是使用纳米颗粒进行播前种子处理, 销售量的增长证明了这一点。活性物质作用的一个特征是它们能强化植物的生理生化过程, 同时提高产量和抗逆性。此类调节剂包括天然和合成物质, 它们能以小剂量积极影响植物代谢 (Burkitbayev 等人, 2021)。集约化作物栽培技术确保了植物形成优质高产的潜力得以充分发挥。所研究品种的抗逆性得到了小麦初生根中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  离子平衡数据的证实 (Terletsкая 等人, 2019)。在全球农业实践中, 新的高产品种、科学合理的轮作制度以及矿物配方和植保产品的合理使用被认为是提高产量的关键因素。这些技术需要高能量和物质投入, 并且并非总是环境安全的。当前现代作物生产的一个尖锐问题是生产环境友好的农产品并减少对生物地理群落的人为压力 (Monostori 等人, 2017)。

植物中硫状况的指标与土壤中生物可利用硫显著相关。地上部生物量中的硫指标如下: 它影响硫浓度、氮硫质量比 (N/S)、磷硫质量比和硫营养指数。土壤中的生物可利用硫与冬小麦和冬油菜地上部的氮硫比显著相关。

作物需要养分以获得高产; 然而, 它们只能吸收元素的离子形式。在这个阶段, 微生物是有益的, 因为它们将有机的氮、磷和硫转化为可溶性离子, 如  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{HPO}_4^-$  和  $\text{SO}_4^-$ 。矿化是将有机化合物转化为无机化合物的过程, 这是一个依赖于温度、降水、土壤性质、植物残体的化学组成、微生物群落的结构和组成以及施用植物材料后土壤中碳氮比的生物过程。调整这些因素的值可以确定土壤中植物残体矿化的速率和方向。

对于在干旱地区种植作物时进行土壤硫含量测试的建议尚未完善。为了评估土壤和组织中硫和氮含量对于预测田间硫缺乏的重要性, 显然需要观察形态学, 因为这两种矿物质常常相关联。因此, 存在对硫施用反应增强的可能性。建议维持使用氮硫比, 这可能表明大麦和小麦都存在硫缺乏 (Conyers & Holland, 2020)。

二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ ) 在保护植物免受环境胁迫方面发挥着有益作用。 $\text{SO}_2$  通过  $\text{H}_2\text{S}$  信号传导提高幼苗的耐旱性, 并为增强植物对干旱胁迫的抗性提供了新策略 (Li 等人, 2021)。

确保高土壤肥力和提高作物产量的关键是所有元素的平衡矿质营养，同时考虑它们在土壤中的含量、分布和转化（Kulhanek 等人，2014）。硫与氮、磷、钾等元素并列——是仅次于氮的第二大蛋白质生成元素。硫缺乏以及氮缺乏会减少蛋白质合成，而植物硫饥饿的外部表现几乎与氮缺乏的迹象一致。已确定其对呼吸、光合作用、氮和碳水化合物代谢过程的绝对必要性（Järvan, Edesi & Adamson, 2011）。

以前，植物硫营养无需额外努力即可满足，但现在和未来，硫进入土壤的资源正在减少，而农业对硫的需求由于对高质量农产品需求的增加而增加。硫缺乏增加的主要原因是大气中二氧化硫含量降低、高浓度无硫无载体化合物的使用增加、作物产量提高以及硫移除量增加（Matraszek 等人，2015）。

已确定，在低硫土壤上施用纳米硫可提高肥料养分利用系数，加速养分从营养器官向籽粒的转运。硫农化剂影响小麦植株的氮代谢，在植物细胞代谢中从发育的最早阶段起就发挥着重要作用，这与氮循环密切相关，因为这两种元素都是蛋白质的必需成分。如果两种元素中任何一种缺乏，蛋白质合成就会减慢，并且在两种（氮和硫）植物可用来源都缺乏的情况下可能完全停止（Maslova, 1993）。

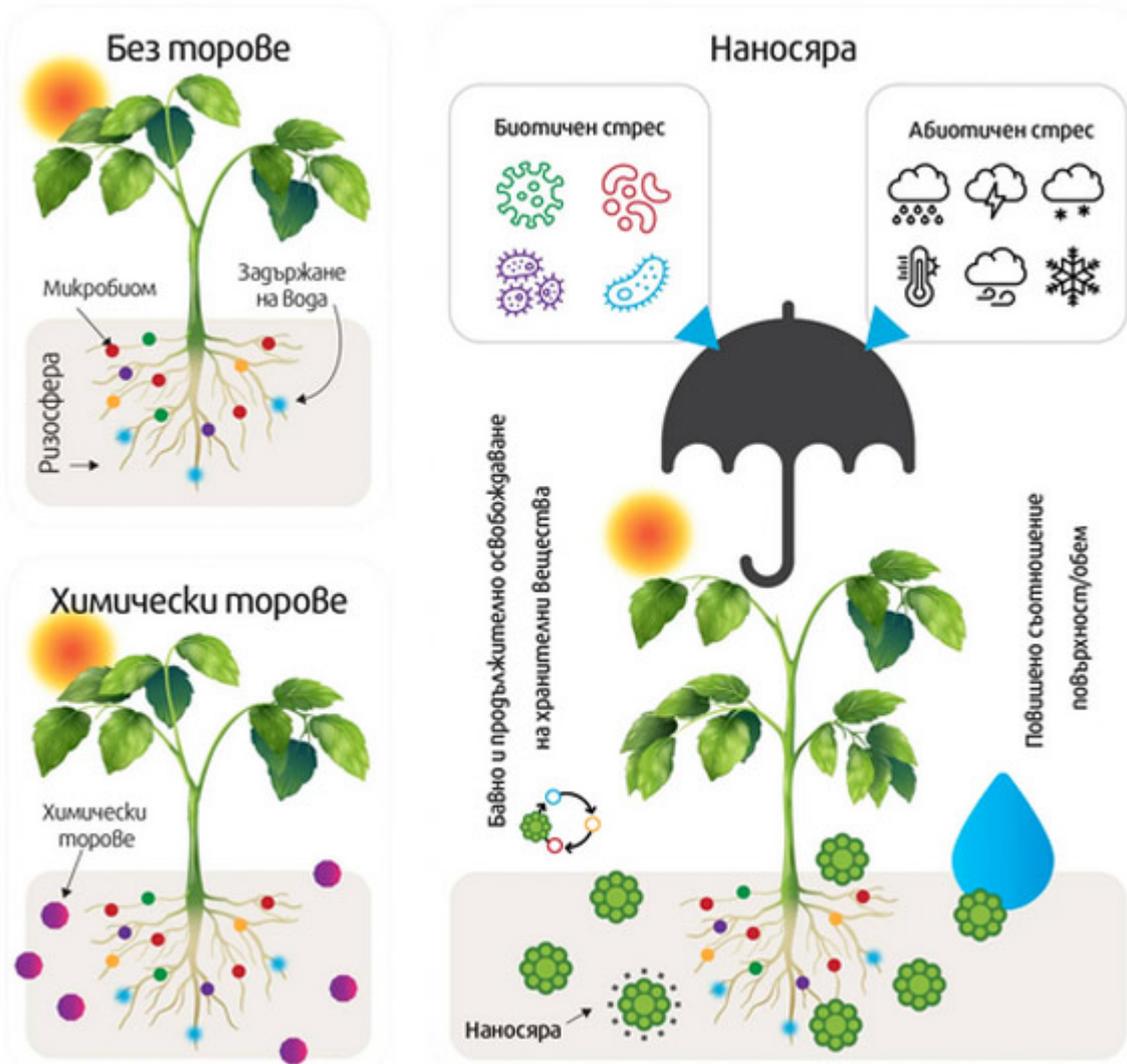
在 2023/2024 年度于萨多沃镇“K. Malkov 植物遗传资源研究所”有机田进行的试验中，包括了该研究所培育的四个品种和五个冬普通小麦优良品系：Sadovo 1、Pobeda、Avenue、Magiji、MH 258/3355、RU 251/268、BA 1325、BA 1378 和 BA 1390。评估了保加利亚液体肥料 Sulfeko 对所研究种质生产力的影响。该产品在作物的不同剂量和生长阶段施用。

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	-	-	-

表 1 试验设计

结果发表在农业科学院 ZFTK 37 项目报告中。最高的株高记录在 3 号处理，该处理包括在拔节期一次性施用最大剂量的产品。最高的总分蘖数在 3 号处理和 5 号处理中获得，而最高的有效分蘖数记录在 4 号处理和对照植株中。对于主穗长度、小穗数和主穗粒数这些性状，以 130 毫升剂量施用两次产品时达到了最佳结果。主穗粒重和单株粒重在 1 号和 4 号处理中达到最优，而这些性状的最低值记录在未处理植株（5 号对照）中。液体肥料

Sulfeko 对籽粒产量的影响也很显著，对于该指标，所研究基因型在 5 号处理（对照，未喷施）中实现了最低的平均产量，而最高产量记录在 2 号处理，该处理包括以 100 毫升剂量施用两次产品。各处理与对照相比该性状的增幅在 13.3%（1 号处理）至 18.4%（2 号处理）之间。



## 液体肥料 Sulfeko 施用方案

纳米结构含硫生长刺激剂影响小麦种子的发芽。

近年来，全球农业部门在提高作物生产力同时促进环境可持续性方面面临日益严峻的挑战。尽管传统肥料有效，但它们常常通过淋溶、挥发和固定导致大量养分损失。这些损失降低了养分利用效率并加剧了环境挑战 (Geisseler, Scow, 2014)。纳米肥料在农业中的引入为这些挑战提供了潜在的解决方案。

纳米肥料是用纳米材料封装或包覆的养分配方，允许控制养分释放并在土壤中逐渐分散 (Jithendar 等人, 2024 年)。与传统的肥料选择相比，纳米肥料具有若干优势，包括提高养分利用效率、减少环境影响以及提高农业产

出和产品质量 (Lazcano 等人, 2024年)。这种改进很大程度上归功于这些肥料的纳米级尺寸, 这有助于更好地被植物组织吸收和渗透。此外, 纳米肥料与土壤微生物之间的相互作用是一个关键的兴趣领域, 因为土壤微生物是土壤养分循环和植物生长的关键生物 (Lazcano 等人, 2024年)。优化纳米肥料的施用方法和剂量仍然是一个关键的研究领域。包括叶面喷施和根部施用在内的各种技术已被研究, 并取得了不同程度的成功 (Soni 等人, 2024年)。施用的时机和频率也是显著影响作物反应和产量的关键因素 (Parameshnaik 等人, 2024年)。

对纳米肥料潜在植物毒性和对土壤生态系统长期影响的担忧凸显了谨慎管理施用剂量的必要性 (Bhadu 等人, 2023年)。纳米肥料与传统施肥实践的整合在各种种植系统中显示出有希望的结果。这种组合策略在保持土壤健康的同时提高了养分利用效率 (Kumar, Dahiya, 2024年)。这种方法允许减少传统肥料的施用量, 同时保持甚至提高产量 (Vadlamudi, 2022年)。

## 结论

纳米肥料已成为农业中一项有前景的创新, 提高了养分效率, 改善了产量, 并减少了传统施肥方法的环境足迹。本综述考察了各种施用技术及其与土壤性质和微生物群落的相互作用, 强调了它们在可持续作物生产中的作用。

液体肥料 Sulfeko (纳米硫) 对普通冬小麦品种和品系的生产力有积极影响, 使其能够在有机农业条件下实现更高的产量。

该肥料对株高、总分蘖数、有效分蘖数、主穗长度和主穗小穗数的影响相对较弱, 不同处理记录的平均值与对照接近。

纳米肥料在确保土壤健康和环境安全的同时, 对农业的可持续发展做出了重要贡献。

---

## 参考文献

1. [Archer, 1974](#). 一项沙培试验比较了硫对五个小麦品种 (*T. aestivum* L.) 的影响。澳大利亚农业研究杂志, 25 (3) (1974), 第 369-380 页, [10.1071/ar9740369](#)
2. Bhadu, A.; David, A.A.; Thomas, T.; Kumar, A. 2023, 无机肥料、农家肥和纳米尿素对簇生豆 (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) cv. HGS 563 土壤健康、生长和产量的影响。国际植物与土壤科学杂志 35, 404–410.
3. Burkitbayev M. , N. Bachilova, &