

Значението на нано сярата за повишаване на добивите и подобряване на качеството на обикновената зимна пшеницата

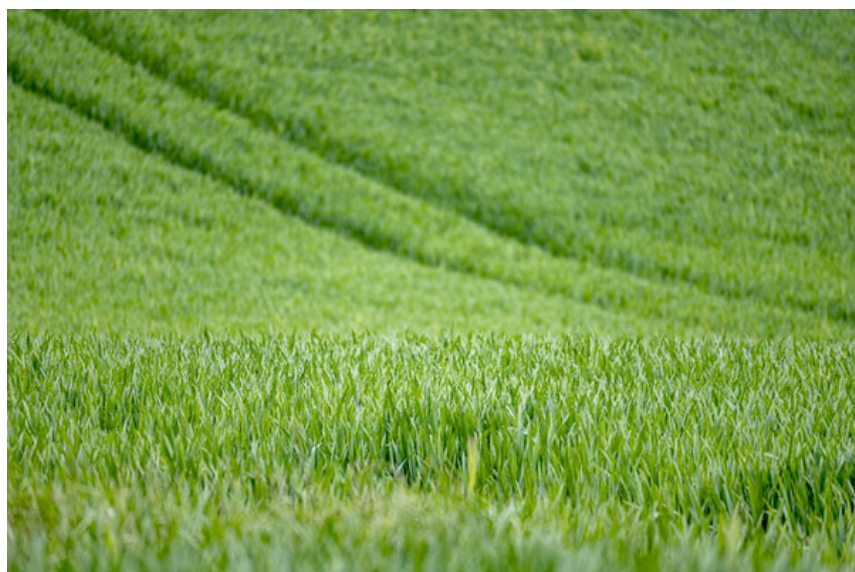
Автор(и): доц. д-р Златина Ур, ИРГР – Садово, ССА
Дата: 01.04.2025 Брой: 4/2025



Резюме

С нарастващата нужда от устойчиви селскостопански практики, наноторовете се появиха като иновативна алтернатива на традиционните торове. Тези усъвършенствани торове подобряват ефективността на използване на хранителни вещества, насърчават растежа на културите и минимизират вредата за околната среда, като позволяват прецизно доставяне на хранителни вещества. Този преглед оценява различни техники за прилагане на наноторове и тяхното влияние върху растежа, добива и качеството на растенията. Освен това, той изследва техните взаимодействия със състава на почвата и микробните общности, като подчертава ролята им в ензимната активност и кръговрата на хранителните вещества. Въпреки че наноторовете предлагат значителни предимства, предизвикателства като правилно регулиране на дозировката, потенциална токсичност и дългосрочни екологични ефекти налагат допълнителни изследвания. С този кратък материал се представят и

последните постижения в технологията за наноторове и се подчертава значението на интегрирания подход за оптимизиране на селскостопанската производителност, като същевременно се запазва здравето на почвата и устойчивостта на околната среда.



България има уникални природни условия за производство на зърнени култури, на първо място, ненадминати хлебопекарни качества на сортове обикновена зимна пшеница. Тези възможности обаче не са напълно реализирани. Едно от основните и необходими условия за получаване на високи добиви от пшеница е използването на висококачествен посевен материал с ефективни съединения, от които зависи покълването на растенията (Erdem et al., 2016). Интензификацията на производството включва използването на различни торове за оптимизиране на храненето на растенията и пестициди за контрол на вредители, болести и плевели в съвременното селско стопанство. Усъвършенстването на съществуващите форми на селскостопанска система се основава на широкото приложение на препарати и средства за растителна защита и възпроизвеждане на почвеното плодородие, както и въвеждането на диференцирани системи за обработка на почвата, като се вземат предвид биологичните изисквания на растителната култура.

Повечето химикали, използвани в съвременното селскостопанско производство, са изкуствени и не се унищожават нито от ензимните системи на растенията, нито от физически или химични подходи. Това води до натрупване в прибраната реколта, следователно в тялото на хората и животните.

Ефективността на серните препарати и техните комбинации при отглеждане на пшеница е потвърдена от информационни литературни източници, поради което се препоръчва за използване в селското стопанство.

Гъбичните патогени, които причиняват кафява ръжда по пшеницата, могат да причинят загуби на реколта до 50–60%. Един от най-ефективните методи за предотвратяване на тези загуби е създаването на устойчиви сортове с висок потенциал за добив. Следователно, основната стратегия за контрол - генетична устойчивост – се използва за контрол на болести от ръжда по пшеницата, особено листна ръжда. Досега генетичната устойчивост на гостоприемника остава най-ефективна (El-Orabey et al., 2019).

Известно е, че сярата спомага за забавяне на окислителните процеси в растенията с увеличаване на редукционните процеси, докато зърнените култури повишават жизнеспособността си и подобряват качеството на зърното.

Има малко изследвания върху ефекта на сярата върху усвояването на фосфор и калий от растенията, отколкото върху азота, и констатациите често са противоречиви (Shekel, 1979, Tisdale, 1974).

Положителният ефект на сярата върху усвояването на фосфор и калий от растенията заедно с азот се наблюдава във варовити дерново-подзолисти почви (Tserling, 1990, Shevyakova, 1983, Shkel, 1979). Изследователите обясняват подобряването на храненето на растенията с фосфор и калий под въздействието на серни наночастици в тези случаи с повишената подвижност на почвените елементи под въздействието на сярна киселина (Svetlov et. al., 1987, Archer, 1974). По този начин нашите изследвания показват, че влиянието на съдържащите сяра препарати е уместно и обещаващо, но на практика е проведено в недостатъчен обем.

Изследванията за ефекта на сярата и калция разкриват ефективността на използването на сяра за увеличаване на производителността (Ivanitsky, Ya.V., 2011, Maslova et. al., 2008, Maslova, 2008), тъй като липсата на сяра в зърното значително влияе върху производството и качеството на пшеничните зърна (Zhao et.al., 1999). **Азотът не може да се използва ефективно без сяра и съдържанието на протеин не може да достигне пълния си потенциал по отношение на добива.** Освен това сярата е компонент на няколко основни съединения в културите, така че липсата на сяра е ограничаващ фактор не само за растежа и добива на семена, но и за лошото качество на продукта (Singh, 2003). Ограничаването на наличието на сяра допринася за синтеза на ниско съдържание на протеини (Flaete et.al., 2005), намалява размера и качеството на пшеничните зърна поради спирането на образуването на дисулфидни връзки, образувани от сулфхидрилните групи на цистеина (Gyori, 2005, McGrath, 2003). Пшеничното зърно, съдържащо сяра, измерено като концентрация на сяра в допълнение към концентрацията на азот, е ключът към качеството на семената (Karimi and Mohsenzadch, 2015, Geiger, 2009, Whitesides, 2005) и липсата му води до намаляване на производителността. Резултатите показват сходство между CuO или ZnO в пшенични растения с по-висока токсичност на корените, свързана с по-малък размер на наночастиците сяра (Hasan et. al., 2018, Dimkra et.al., 2013, Tea et. al., 2007).

В наши дни най-обещаващата област е използването на предсеитбена обработка на семена с наночастици, както се вижда от ръста на обемите на продажбите. Характеристика на действието на активните вещества е, че те интензифицират физиологичните и биохимичните процеси в растенията и същевременно повишават добива, устойчивостта на стрес. Такива регулатори включват естествени и синтетични вещества, които в малки дози активно влияят върху метаболизма на растенията (Burkitbayev et. al., 2021). Интензивната технология на отглеждане на културите осигурява пълна реализация на потенциалните възможности на растенията за формиране на високи добиви с добро качество. Устойчивостта на изследваните сортове се потвърждава от данните за йонния баланс на Na^+ , K^+ и Ca^{2+} в първичните корени на пшеницата (Terletskaia et. al., 2019). В практиката на световното земеделие новите високопродуктивни сортове, научнообоснованите сеитбообръщения, рационалното използване на минерални състави и продукти за растителна защита се признават като основни фактори за увеличаване на реколтата. Тези техники изискват големи разходи за енергия и материали и не винаги са безопасни за околната среда. Остър проблем на съвременното растениевъдство в момента е производството на екологично чисти селскостопански продукти и намаляването на причиненото от човека натоварване върху биоекоценозата (Monostori et al., 2017).

Показател за състоянието на сярата в растенията значително корелира с бионаличната сяра в почвата. Индикаторът за сяра в биомасата на издънките е както следва: влияе върху концентрацията на сяра, масовото съотношение на азот към сяра (N / S), масовото съотношение на фосфор към сяра и индекса на хранене на сяра. Бионаличната сяра в почвата значително корелира със съотношението на азот към сяра върху издънките на зимната пшеница и зимната рапица.

Културите се нуждаят от хранителни вещества за високи реколти; те обаче могат да абсорбират само йонни форми на елементите. На този етап микроорганизмите са полезни, защото превръщат органично свързания азот, фосфор и сяра в разтворими йони като NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^+ , HPO_4^- и SO_4^- . Минерализацията е трансформация на органични съединения в неорганични съединения, което е биологичен процес, който зависи от температурата, валежите, свойствата на почвата, химичния състав на растителни остатъци, структурата и състава на микробни общности и съотношението C:N в почвата след прилагане на растителен материал. Коригирането на стойностите на тези фактори позволява да се определи скоростта и посоката на минерализация на растителните остатъци в почвата.

Препоръките не са добре разработени за изпитване на почвата за съдържание на сяра при отглеждане на култури в сухи райони. За да се оцени стойността на съдържанието на сяра и азот в почвата и тъканта за прогнозиране на дефицит на сяра на места, очевидно се наблюдава морфологията, тъй като двата минерала често са свързани. Следователно има вероятност за повишаване на реакцията към прилагането на сяра. Препоръчва се поддържащо използване на съотношението N:S, което може да показва дефицит на S както за ечемик, така и за пшеница (Conyers & Holland, 2020).

Серният диоксид (SO_2) играе полезна роля в защитата на растенията от екологичен стрес. SO_2 повишава устойчивостта на младите растения към суша чрез предаване на H_2S сигнали и предостави нова стратегия за повишаване на устойчивостта на растенията към стрес от суша (Li et al., 2021).

Ключът към осигуряването на високо почвено плодородие и повишаване на добивите от култури е балансираното минерално хранене за всички елементи, като се вземат предвид тяхното съдържание, разпределение и трансформация в почвата (Kulhanek et al., 2014). Сярата стои до елементи като азот, фосфор и калий - вторият протеиноген след азота. Липсата на сяра, както и на азот, намалява синтеза на протеини, докато външната проява на сярно гладуване на растенията почти съвпада с признаците на липса на азотно хранене. Установена е абсолютната му необходимост за процесите на дишане, фотосинтеза, азотен и въглехидратен метаболизъм (Järvan, Edesi & Adamson, 2011).

Храненето със сяра на растенията преди беше задоволено без допълнителни усилия, но сега и в бъдеще ресурсите за нейното навлизане в почвата намаляват и нуждата от нея в селското стопанство нараства поради повишеното търсене на висококачествени селскостопански продукти. **Основните причини за увеличаването на дефицита на сяра са по-ниското съдържание на серен диоксид в атмосферата, увеличеното използване на високо концентрирани и без баласт съединения без сяра, по-високи реколти от култури и повишено отстраняване на сяра** (Matraszek et al., 2015)

Установено е, че прилагането на нано-сяра върху почви с ниско съдържание на сяра повишава коефициентите на използване на хранителните вещества от торовете, ускорява изтичането им от вегетативните органи към зърното. Серният агрохимикал влияе върху метаболизма на азота в пшеничните растения, играе съществена роля от най-ранните етапи на развитие в метаболизма в растителната клетка, който е тясно свързан с азотния цикъл, тъй като и двата елемента са задължителни компоненти на протеините. Ако има липса на един от двата елемента, протеиновият синтез се забавя, може да спре напълно при липса на двата (азот и сяра) налични източници за растенията (Maslova, 1993).

В изведен опит в периода 2023/2024 г. на биологичното поле към "ИРГР К. Малков" гр. Садово са включени четири сорта и пет броя напреднали линии зимна пшеница селектирани в Института: Садово 1, Победа, Авеню, Мажижи, МХ 258/3355, РУ 251/268, БА 1325, БА 1378 и БА 1390. Оценено е

влиянието на течения български тор Сулфеко върху продуктивността на изследваните образци. Препаратът е приложен в различни дози и фази от развитието на културата.

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	-	-	-

Табл. 1 Схема на опита

Резултатите са публикувани в отчет на проект ЗФТК 37 към ССА. Най-голяма височина на растенията е отчетена при вариант №3, включващ максимална доза от препарата внесен еднократно във фаза вретенене. Най-висока обща братимост е получена при вариант №3 и вариант №5, докато максимална продуктивна братимост е отчетена при вариант №4 и контролата на растенията. При признаците дължина централен клас, брой класчета и брой зърна в централен клас максимални резултати са постигнати при двукратно внасяне на препарата с доза от 130 ml. Масата на зърната в централен клас и масата на зърната от растение достига своя оптимум при варианти №1 и №4, докато най-ниската получена стойност на тези признаци е отчетена при не третираните растения (№5 контрола). Осезаемо е влиянието на течният тор Сулфеко и върху признака добив зърно, като при този показател проучваните генотипове са реализирали най-нисък среден добив при вариант №5 (контрола, без пръскане), а максимален добив е отчетен при вариант №2 включващ двукратно внасяне на препарата и доза от 100 ml. Превияшаване на признака между отделните варианти спрямо контролата е в границите от 13.3% (вар. №1) до 18.4% (вар. №2).

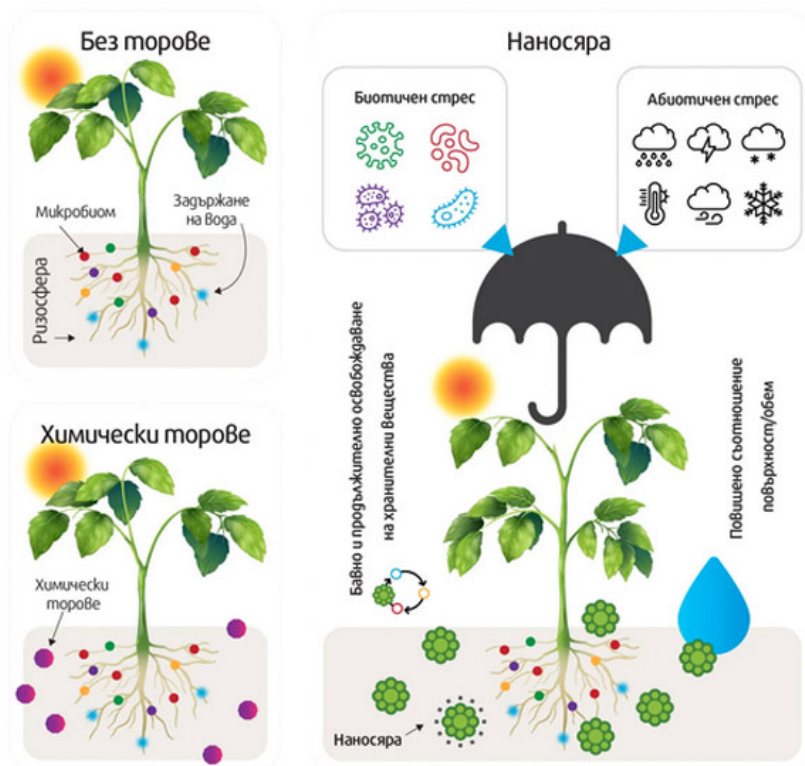


Схема на приложение на течен тор Сулфеко

Наноструктурираните сяросъдържащи стимулатори на растежа повлияват покълването на семена от пшеница.

През последните години глобалният селскостопански сектор е изправен пред нарастващи предизвикателства при повишаване на производителността на културите, като същевременно насърчава устойчивостта на околната среда. Въпреки че традиционните торове са ефективни, те често водят до значителни загуби на хранителни вещества чрез излугване, изпаряване и фиксиране. Тези загуби намаляват оползотворяването на хранителните вещества и допринасят за екологичните предизвикателства (Geisseler, Scow, 2014). Въвеждането на наноторове в селското стопанство предлага потенциално решение на тези предизвикателства.

Нано-торовете са формулировки на хранителни вещества, капсулирани или покрити с наноматериали, позволяващи контролирано освобождаване на хранителни вещества и постепенно разпръскване в почвата (Jithendar et al 2024). В сравнение с традиционните опции за торове, наноторовете осигуряват няколко предимства, включително подобро използване на хранителните вещества, намалено въздействие върху околната среда и подобрена селскостопанска продукция и качество на продукта (Lazcano et al 2024). Това подобрение до голяма степен се дължи на наномасштабния размер на тези торове, който улеснява по-доброто усвояване и проникване в растителните тъкани. В допълнение, взаимодействието между нано-торовете и почвените микроорганизми е критична област на интерес, тъй като почвените микроби са основни организми за кръговрата на хранителните вещества в почвата и растежа на растенията (Lazcano et al 2024). Оптимизирането на методите за прилагане и дозите на нано-торове остава ключова област на изследване. Различни техники, включително листни пръскания и коренови приложения, са изследвани с различни нива на успех (Soni et al 2024). Времето и честотата на приложение също са решаващи фактори, които значително влияят върху реакциите на културите и добива (Parameshnaik et al 2024).

Загрижеността относно потенциалната фитотоксичност и дългосрочните въздействия на наноторовете върху почвената екосистема подчертават необходимостта от внимателно управление на дозите на приложение (Bhadu et al 2023). Интегрирането на наноторове с конвенционалните практики за торене демонстрира обещаващи резултати при различни системи за отглеждане на култури. Такива комбинирани стратегии подобряват използването на хранителни вещества, като същевременно запазват здравето на почвата (Kumar, Dahiya, 2024). Този подход позволява намаляване на нормите на прилагане на конвенционални торове, като същевременно поддържа или дори подобрява добива (Vadlamudi 2022).

Изводи

Нано-торовете се очертаха като обещаващо нововъведение в селското стопанство, като повишават ефективността на хранителните вещества, подобряват добивите и намаляват отпечатъка върху околната среда на традиционните методи за торене. Този преглед изследва различни техники на прилагане и тяхното взаимодействие със свойствата на почвата и микробните общности, подчертавайки тяхната роля в устойчивото производство на култури.

Течният тор Сулфеко (нано сяра) влияние положителното върху продуктивността на сортове и линии обикновена зимна пшеница. Реализирането на по-висок добив в условията на биологично земеделие.

Сравнително по-слабо е влиянието на тора върху признаците височина, обща братимост, продуктивна братимост, дължина централен клас и брой класчета централен клас, при които отчетените средни стойности между различните варианти са близки с тези на контролата.

Нано торовете допринасят значително за устойчивото развитие на селското стопанство, като същевременно гарантират здравето на почвата и безопасността на околната среда.

Литература

1. Archer, 1974. A sand culture experiment to compare the effects of sulphur on five wheat cultivars (*T. aestivum* L.) Aust. J. Agric. Res., 25 (3) (1974), pp. 369-380, [10.1071/ar9740369](https://doi.org/10.1071/ar9740369)
2. Bhadu, A.; David, A.A.; Thomas, T.; Kumar, A. 2023, Effect of Inorganic Fertilizers, FYM and Nano Urea on Soil Health, Growth and Yield of Cluster Bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) cv. HGS 563. *Int. J. Plant Soil Sci.* 35, 404–410.
3. Burkitbayev M., N. Bachilova, M. Kurmanbayeva, K. Tolenova, N. Yerezhpova, M. Zhumagul, A. Mamurova, B. Turysbek, G. Demeu, 2021. Effect of sulfur-containing agrochemicals on growth, yield, and protein content of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr) Saudi J. Biol. Sci., 28 (1), pp. 891-900, [10.1016/j.sjbs.2020.11.033](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.033)
4. Conyers M.K., J.E. Holland 2020. Sulfur and nitrogen responses by barley and wheat on a sandy soil in a semi-arid environment Crop & Pasture Sci. V, 71 (10), pp. 894-906, [10.1071/CP20280](https://doi.org/10.1071/CP20280)
5. De Ruiter J.M., R.J. Martin. 2001. Management of nitrogen and sulphur fertiliser for improved bread wheat (*Triticum aestivum*) quality N. Z. J. Crop Hortic. Sci., 29 (4), pp. 287-299, [10.1080/01140671.2001.9514190](https://doi.org/10.1080/01140671.2001.9514190)
6. Dimkpa C.O., D.E. Latta, J.E. McLean, D.W. Britt, M.I. Boyanov, A.J. Anderson 2013. Fate of CuO and ZnO nano- and microparticles in the plant environment Environ. Sci. Technol., 47 (9), pp. 4734-4742, [10.1021/es304736y](https://doi.org/10.1021/es304736y)
7. El-Orabey, W.M., Hamwieh, A., Ahmed, S.M., 2019. Molecular markers and phenotypic characterization of adult plant resistance genes Lr 34, Lr 46, Lr 67 and Lr 68 and their association with partial resistance to leaf rust in wheat. J. Genetics 98. <https://doi.org/10.1007/s12041-019-1122-1>.
8. Erdem H., M.B. Torun, N. Erdem, A. Yazıcı, I. Tolay, E. Gunal, F. Özkutlu. 2016. Effects of different forms and doses of sulphur application on wheat J. Food Sci. Technol., 4 (11), pp. 957-961, [10.24925/turjaf.v4i11.957-961.837](https://doi.org/10.24925/turjaf.v4i11.957-961.837)
9. Flæte N.E.S., K. Hollung, L. Ruud, T. Sogn, E.M. Færgestad, H.J. Skarpeid, E.M. Magnus, A.K. Uhlen. 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilisation and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE-FPLC and proteomics J. Cereal Sci., 41 (3), pp. 357-369, [10.1016/j.jcs.2005.01.003](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.01.003)
10. Geiger Franz M. 2009. Second harmonic generation, sum frequency generation, and χ^3 : dissecting environmental interfaces with a nonlinear optical swiss army knife Annu. Rev. Phys. Chem., 60 (1), pp. 61-83, [10.1146/annurev.physchem.59.032607.0936](https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.59.032607.0936)
11. Geisseler, D.; Scow, K.M. 2014, Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms—A review. *Soil Biol. Biochem.* 75, 54–63.
12. Grzyb A, A. Wolna-Maruwka, A. Niewiadomska 2020. Environmental factors affecting the mineralization of crop residues Agronomy, 10 (12) p. 1951, [10.3390/agronomy10121951](https://doi.org/10.3390/agronomy10121951)
13. Gyori Z. 2005. Sulphur content of winter wheat grain in long term field experiments Commun. Soil Sci. Plant Anal., 36, pp. 373-382, [10.1081/CCS-200043098](https://doi.org/10.1081/CCS-200043098)
14. Hasan M.K., C.X. Liu, Y.T. Pan, G.J. Ahammed, Z.Y. Qi, J. Zhou 2018. Melatonin alleviates low-sulfur stress by promoting sulfur homeostasis in tomato plants Sci. Rep., 8 (1), p. 10182, [10.1038/s41598-018-28561-0](https://doi.org/10.1038/s41598-018-28561-0)
15. Ivanitsky, Ya.V., 2011. Influence of sulfur and calcium on grain productivity and quality of winter wheat grain. Krasnodar, Russia. 40 p. (in Russian).
16. Järvan M., L. Edesi, A. Adamson, 2011. Effect of sulphur fertilization on grain yield and yield components of winter wheat, Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil Plant Sci. pp. 1-9, [10.1080/09064710.2011.630677](https://doi.org/10.1080/09064710.2011.630677)
17. Jithendar, B.; Kumar, R.; Rana, N. 2024. Revolutionizing Crop Nutrition: Exploring Nano Fertilizers in Agriculture. *Int. J. Plant Soil Sci.* , 36, 327–339.
18. Kumar, K.; Dahiya, S. 2024. The comparative impact of chemical fertilizers, nano-urea and nano-DAP on growth and yield of wheat crop. *Int. J. Adv. Biochem. Res.* 8, 1133–1139.
19. Lazcano, C.; Zhu-Barker, X.; Decock, C. 2021. Effects of organic fertilizers on the soil microorganisms responsible for N₂O emissions: A review. *Microorganisms* , 9, 983.
20. Li, H.L. Yi, X.P. Liu, H.X. Qi 2021. Sulfur dioxide enhance drought tolerance of wheat seedlings through H₂S signaling Ecotoxicol. Environ. Saf., V:207 (2021), [10.1016/j.ecoenv.2020.111248](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111248)
21. Maslova I.Y.I., 1993. Diagnostics and regulation of nutrition of spring wheat gray. Novosibirsk:
22. Maslova I.Ya, T.H. Yakusheva, I.N. Sharkov, 2008. Features of replenishment of the fund of sulfur available to plants in crops with different conservativeness of humus Agrochemistry, No. 3, pp. 5-14 (in Russian)

23. Maslova I.Ya. 2008. The effect of aerotechnogenic substances containing sulfur on some agrochemically significant processes and properties of soils *Agrochemistry*, No. 6 (2008), pp. 80-94
24. Matraszek, R., Chwil, S., Hawrylak-Nowak, B., Kozłowska-Strawska, J., 2015. Effect of sulphur and cadmium on macronutrient balance in spring wheat. *Proc. Natl. Acad. Sci., India Sect. B: Biol. Sci.* 87(3), 927–936.
<https://doi.org/10.1007/s40011-015-0658-y>.
25. McGrath, S.P. 2003. Sulphur: a secondary? Not anymore! *New Ag International*. March 2003, pp. 70–76.
26. Monostoril., F. Szira, A. Tondelli, T. Árendás, K. Gierczik, L. Cattivelli, A. Vágújfalvi 2017. Genome-wide association study and genetic diversity analysis on nitrogen use efficiency in a Central European winter wheat (*Triticum aestivum* L.) collection *PLoS ONE*, 12 (12), Article e0189265, [10.1371/journal.pone.0189265](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189265)
27. Parameshnaik, C.; Murthy, K.N.K.; Hanumanthappa, D.C.; Seenappa, C.; Reddy, Y.A.N.; Prakasha, H.C. 2024. Effect of Nitrogen Management through Nano Fertilizers on Growth, Yield Attributes and Yield of Maize (*Zea mays* L.). *Asian J. Soil Sci. Plant Nutr.* 10, 250–257.
28. Ryant P. , L. Hřivna 2004. The effect of sulphur fertilisation on yield and technological parameters of spring wheat grain *Pobrano z Agronomy Sci.*, 59 (4) (2004), pp. 1669-1678
<https://www.czasopisma.up.lublin.pl/index.php/as/article/view/2044>
29. Sahota, T.S., 2006. Importance of Sulphur in Crop Production. *Northwest Link*, Published in *Ontario Farmer*, Dec. 13, 2005, 38 (42), Page B25 and *Northwest Link*, pp. 10–12.
30. Sedlar Ondrej, Jiri Balik, Martin Kulhanek. 2021. Crop sulfur status in relation to soil sulfur determined using anion exchange membranes and Mehlich
[Journal of Plant Nutrition](https://doi.org/10.1007/s11738-019-2948-0) Volume 44, 2021 - [Issue 11](https://doi.org/10.1007/s11738-019-2948-0)
31. Shevyakova N.I. 1983. Metabolism and physiological role of proline in plants under water and salt stress *Plant Physiol.*, 30, pp. 768-782 (in Russian)
32. Shkel, M.P., 1979. The use of sulfur-containing fertilizers. - Minsk: Urajay. 63 p. (in Russian).
33. Singh, B.R., 2003. Sulfur and Crop Quality — Agronomical Strategies for Crop Improvement. Abstracts of COST Action 829 Meetings, Braunschweig, Germany (May 15-18, 35–36).
34. Soni, S.K.; Dogra, S.; Sharma, A.; Thakur, B.; Yadav, J.; Kapil, A.; Soni, R. 2024, Nanotechnology in Agriculture: Enhancing Crop Productivity with Sustainable Nano-Fertilizers and Nano-Biofertilizers. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 24, 6526–6559.
35. Stankowski S., G. Podolska, S. Kaczmarek, A. Jaroszevska, G. Hury, M. Sobolewska 2019. Influence of sulphur fertilization on yielding and chemical composition of grain of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in different habitat conditions *J. Elementol.*, 24, pp. 1007-1023, [10.5601/jelem.2018.23.4.1743](https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.4.1743)
36. Svetlov, V.A., Shamsutdinov, I.Sh., Valnikov, I.U., 1987. Efficiency of sulfur-containing fertilizers. *Chemistry* 9, pp. 38–40 (in Russian).
37. Tea I., T. Genter, N. Naulet, M. Lummerzheim, D. Kleiber 2007. Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effects on flour bread-making quality. *J. Sci. Food Agric.*, 87 (15), pp. 2853-2859, [10.1002/jsfa.3044](https://doi.org/10.1002/jsfa.3044)
38. Terletskaia N. , Ulshan Duisenbayeva, Aiman Rysbekova, Meruert Kurmanbayeva, Irina Blavachinskaya. 2019. Architectural traits in response to salinity of wheat primary roots *Acta Physiologiae Plantarum*, 41 (9), p. 157, [10.1007/s11738-019-2948-0](https://doi.org/10.1007/s11738-019-2948-0)
39. Tisdale S.L. 1974 Secondary nutrients in liquid fertilisers. Sulphur. Part 1 An introduction *Fert. Solut.*, 18 , pp. 8-18
40. Tserling, V.V., 1990. Diagnostics of nutrition of agricultural crops. Handbook. M.: Agropromizdat. 235 p. (in Russian).
41. Vadlamudi, J.S.; Anitha, S.; Sawargaonkar, G.L.; Prameela, P. 2022, Effect of Combined Application of Non–Nano and Nano Fertilizers on the Growth, Yield and Oil Content of Sunflower under Semi-arid Conditions. *Int. J. Plant Soil Sci.* 34, 1102–1111.
42. Whitesides George M. 2005 *Nanosci., Nanotechnol., Chem.*, 1 (2), pp. 172-179, [10.1002/sml.200400130](https://doi.org/10.1002/sml.200400130)
43. Zhao F.J. , M.J. Hawkesford, S.P. McGrath. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat *J. Cereal Sci.*, 30 (1), pp. 1-17, [10.1006/jcrs.1998.0241](https://doi.org/10.1006/jcrs.1998.0241)