

Влияние наночастиц оксида цинка на формирование пигментной системы проростков пшеницы

© Иванищев** Виктор Васильевич, Кузьминкова Елена Олеговна,
Суворов Игорь Константинович

Кафедра биологии и технологий живых систем. Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого. пр. Ленина, 125. г. Тула, 300026. Россия.

Тел.: +7 (487) 265-78-08. E-mail: avdey_VV@mail.ru

*Ведущий направление; *Поддерживающий переписку

Ключевые слова: пшеница (*Triticum aestivum* L.), проростки, наночастицы, оксид цинка, содержание пигментов.

Аннотация

Положительное влияние наночастиц на рост и развитие растений пшеницы и других видов позволяет говорить о возможности их использования для управления физиологическим состоянием растений. В научной литературе очень мало систематических сведений о формировании фотосинтетического аппарата, как главной составляющей, которая обуславливает накопление органического вещества. В работе исследовали влияние присутствия наночастиц оксида цинка в концентрациях 5, 10 и 20 мг/л на образование пигментов фотосинтеза в формирующихся листьях проростков пшеницы. Для перевода оксида цинка в растворимое состояние использовали хелатирующий агент – трилон Б. Установлено, что минимальное увеличение составило 12% для хлорофилла *a* при концентрации наночастиц (НЧ) в 5 мг/л, в то время как наиболее значительное увеличение наблюдали в содержании хлорофилла *b*, которое составило 51-52% при концентрациях реагента в 5 и 10 мг/л. Изменение содержания каротиноидов также было высоким, но варьировало в меньшей степени, чем содержание форм хлорофилла. Сравнение с результатами других авторов показывает их сходство в отношении таких растений как лён, арахис, моринга. В то же время при максимальной концентрации наночастиц в среде (20 мг/л) наблюдали снижение содержания всех пигментов фотосинтеза. При этом все величины все же были выше, чем в контроле. Изучение особенностей состояния пигментной системы фотосинтетического аппарата в условиях эксперимента проведено впервые. Исследования показали, что соотношение форм хлорофилла в условиях эксперимента менялось, а именно: снижалось в присутствии 5 и 10 мг/л НЧ ZnO, но приближалось к контролю при максимальной концентрации реагента в 20 мг/л. Организация фотосинтетического аппарата оказалась высоко устойчивой, поскольку соотношение зеленых и желтых пигментов менялось незначительно ($\pm 2\%$). Доля пигментов в составе светособирающего комплекса в присутствии НЧ оксида цинка также оказалась более высокой, чем в контрольном варианте.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Иванищев В.В., Кузьминкова Е.О., Суворов И.К. Влияние наночастиц оксида цинка на формирование пигментной системы проростков пшеницы. *Бутлеровские сообщения*. 2025. Т.84. №12. С.143-150. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-143

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Иванищев В.В., Кузьминкова Е.О., Суворов И.К. Влияние наночастиц оксида цинка на формирование пигментной системы проростков пшеницы. *Бутлеровские сообщения* С. 2025. Т.11. №4. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-143/ROI-jbc-RC/25-11-4-15

The output for citing the English online version of the article:

Viktor V. Ivanishchev, Elena O. Kuzminkova, Igor K. Suvorov. The influence of zinc oxide nanoparticles on the formation of the pigment system of wheat seedlings. *Butlerov Communications C*. 2025. Vol.11. No.4. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-143/ROI-jbc-C/25-11-4-15

Литература

- [1] A. Rastogi, M. Zivcak, O. Sytar, H.M. Kalaji, X. He, S. Mbarki, M. Brestic. Impact of Metal and Metal Oxide Nanoparticles on Plant: A Critical Review. *Front. Chem.* **2017**. Vol.5. No.78. DOI: 10.3389/fchem.2017.00078
- [2] P. Rai-Kalal, A. Jajoo. Priming with zinc oxide nanoparticles improve germination and photosynthetic performance in wheat. *Plant Physiol Biochem.* **2021**. Vol.160. P.341-351. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.01.032.
- [3] H. Upadhyaya, L. Begum, B. Dey, P.K. Nath, S.K. Panda. Impact of Calcium Phosphate Nanoparticles on Rice Plant. *Journal of Plant Science and Phytopathology.* **2017**. Vol.1(1). P.1-10. DOI: 10.29328/journal.jpssp.1001001
- [4] U. Burman, M. Saini, P. Kumar. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological & Environmental Chemistry.* **2013**. Vol.95(4). P.605-612. <https://doi.org/10.1080/02772248.2013.803796>
- [5] Иванищев В.В. Проблемы «зеленых» биотехнологий для получения наночастиц. *Бутлеровские сообщения.* **2024**. Т.80. №11. С.138-144. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-11-138/ROI-jbc-RC/24-9-4-12 [V.V. Ivanishchev. Problems of «green» biotechnologies for obtaining nanoparticles. *Butlerov Communications C.* **2024**. Vol.9. No.4. Id.12. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-11-138/ROI-jbc-C/24-9-4-12]
- [6] Иванищев В.В. Наночастицы и их влияние на характеристики растений. *Бутлеровские сообщения.* **2024**. Т.80. №12. С.99-107. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-99 [V.V. Ivanishchev. Nanoparticles and their impact on plant characteristics. *Butlerov Communications C.* **2024**. Vol.9. No.4. Id.19. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-12-99/ROI-jbc-C/24-9-4-19]
- [7] Иванищев В.В. Цинк в природе и его значение для растений. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.* **2022**. №2. С.35-49. [V.V. Ivanishchev. Zinc in nature and its importance for plants. *News of Tula State University. Earth Sciences.* **2022**. No.2. P.35-49.]
- [8] Мазов В.В., Иванищев В.В. Формирование проростков пшеницы в присутствии сульфата цинка в среде. *Известия Тульского госуниверситета. Естественные науки.* **2019**. Вып.2. С.23-30. [V.V. Mazov, V.V. Ivanishchev. Formation of wheat sprouts in the presence of zinc sulfate in the medium. *News of Tula State University. Natural Sciences.* **2019**. Iss.2. P.23-30. (Russian)]
- [9] P. Zhou, M. Adeel, N. Shakoar, M. Guo, Y. Hao, I. Azeem, M. Li, M. Liu, & Y. Rui. Application of Nanoparticles Alleviates Heavy Metals Stress and Promotes Plant Growth: An Overview. *Nanomaterials.* **2021**. Vol.11(1). 26. DOI: 10.3390/nano11010026
- [10] A.A.H.A. Latef, A. Hashem, S. Rasool, E.F.A. Allah, D. Egamberdieva, S. Jan, N.A. Anjum, P. Ahmad. Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis and Abiotic Stress in Plants: A Review. *Journal of Plant Biology.* **2016**. Vol.59(5). P.407-426. DOI: 10.1007/s12374-016-0237-7
- [11] Rameshraddy, G.J. Pavithra, R. Reddy, M. Salimat, K.N. Geetha, A.A. Shankar. Zinc oxide nano particles increase Zn uptake, translocation in rice with positive effect on growth, yield and moisture stress tolerance. *Indian Journal of Plant Physiology.* **2017**. Vol.22(372). DOI: 10.1007/s40502-017-0303-2
- [12] Арсенова А.Р., Иванищев В.В. Накопление биомассы и состояние пигментной системы проростков пшеницы в присутствии бикарбоната натрия в среде. *Бутлеровские сообщения.* **2024**. Т.78. №5. С.102-111. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-78-5-102 [A.R. Arsenova, V.V. Ivanishchev. Biomass accumulation and the state of the pigment system of wheat seedlings in the presence of sodium bicarbonate in the medium. *Butlerov Communications C.* **2024**. Vol.7. No.2. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-78-5-102/ROI-jbc-C/24-7-2-6]
- [13] Кузьминкова Е.О., Иванищев В.В., Суворов И.К. Влияние наночастиц оксида цинка на формирование проростков пшеницы. *Бутлеровские сообщения C.* **2025**. Т.11. №3. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-7-99/ROI-jbc-RC/25-11-3-6 [Elena O. Kuzminkova, Viktor V. Ivanishchev, Igor K. Suvorov. Effect of zinc oxide nanoparticles on the formation of wheat sprouts. *Butlerov Communications C.* **2025**. Vol.11. No.3. Id.6. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-7-99/ROI-jbc-C/25-11-3-6]
- [14] Lichtenthaller H.K. Chlorophylls and Carotenoids - Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods Enzymol.* **1987**. Vol.148. P.350-382.
- [15] S. Narendhran, P. Rajiv, R. Sivaraj. Influence of zinc oxide nanoparticles on growth of Sesamum indicum l. in zinc deficient soil. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* **2016**. 8. P 365-371.
- [16] C.A. Garza-Alonso, Y. Gonzalez-Garcia, G. Cadenas-Pliego, E. Olivares-Saenz, L.I. Trejo-Tellez, A. Benavides-Mendoza. Seed priming with ZnO nanoparticles promotes early growth and bioactive compounds of *Moringa oleifera*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* **2021**. Vol.49(4). 12546. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha49412546>
- [17] M.-G. Guadalupe, A. Juárez-Maldonado, R. Betancourt-Galindo, S. Gonzalez-Morales, La Cabrera-De, M. Fuente, M. Sanchez-Vega, A. Mendez-Lopez. Zinc oxide nanoparticle morphology modified germination and early growth of bell pepper seedlings. *BIOtecnica.* **2023**. V. XXV(3). P.5-15. DOI: 10.18633/biotecnica. V.25i3.1908
- [18] M.S. Sadak, B.A. Bakry. Zinc-oxide and nano ZnO oxide effects on growth, some biochemical aspects, yield quantity, and quality of flax (*Linum usitatissimum* L.) in absence and presence of compost under sandy soil. *Bulletin of the National Research Centre.* **2020**. Vol.44. P.1-12. DOI: 10.1186/s42269-020-00348-2

- [19] K.V. Prasad, P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K.R Reddy, T.S. Sreepasad, P.R. Sajanlal, T. Pradeep. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *J. Plant Nutr.* **2012**. 35. P. 905-927. doi: 10.1080/01904167.2012.663443
- [20] R. Raliya, R. Nair, S. Chavalmane, W.N. Wang, P. Biswas. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. *Metallomics*. **2015**. 7(12). P.1584-1594. DOI: 10.1039/C5MT00168D
- [21] T. Samreen, H.U. Shah, S. Ullah, M. Javid. Zinc effect on growth rate, chlorophyll, protein and mineral contents of hydroponically grown mung beans plant (*Vigna radiata*). *Arab J. Chem.* **2017**. 10. P.1802-1807. DOI: 10.1016/j.arabjc.2013.07.005
- [22] H.W. Heldt, B. Piechulla. Plant Biochemistry (4 ed.). *Amsterdam et al.: Academic Press is an imprint of Elsevier*. **2011**. 647p.
- [23] Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность. *Известия Уфимского научного центра РАН*. **2018**. №3(4). С.5-16. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-4-3-5-16 [O.V. Dymova, T.K. Golovko. Photosynthetic pigments: functioning, ecology, biological activity. *Izvestiya of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. **2018**. №3(4). P.5-16. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-4-3-5-16. (Russian)]
- [24] Петухов А.С., Кремлева Т.А., Петухова Г.А., Хридохин Н.А. Влияние антропогенного загрязнения среды г. Тюмени на показатели жизнедеятельности травянистых растений. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. **2021**. Т.21. Вып.1. С.87-98. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-1-87-98 [A.S. Petukhov, T.A. Kremleva, G.A. Petukhova, N.A. Khritokhin. The influence of anthropogenic pollution of the environment in Tyumen on the vital activity indicators of herbaceous plants. *Bulletin of Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. **2021**. Vol.21. Iss.1. P.87-98. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-1-87-98 (Russian)].
- [25] Калинина А.В., Лящев С.В. Состав и содержание пигментов фотосинтеза в листьях проростков озимой мягкой пшеницы. *Известия Самарского научного центра РАН*. **2018**. Т.20. №2(2). С.286-290. [A.V. Kalinina, S.V. Lyashchev. Composition and content of photosynthetic pigments in the leaves of winter soft wheat seedlings. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. **2018**. Vol.20. No.2(2). P.286-290 (Russian)].
- [26] T.G. Maslova, I.A. Popova. Adaptive Properties of the Plant Pigment Systems. *Photosynthetica*. **1993**. V. 29. P. 195-203.
- [27] Шмакова Н.Ю., Марковская Е.Ф. Фотосинтетические пигменты растений и лишайников арктических тундр Западного Шпицбергена. *Физиология растений*. **2010**. Т. 57(6). С.819-825 [N.Yu. Shmakova, E.F. Markovskaya. Photosynthetic pigments of plants and lichens of the Arctic tundra of Western Spitsbergen. *Russian Plant Physiology*. **2010**. Vol.57(6). P.819-825 (Russian)].
- [28] Сиголаева Т.Е., Иванищев В.В., Переломов Л.В. Состояние пигментной системы проростков гороха, выращенных на двух типах почв, искусственно загрязненных свинцом. *Известия Тульского Госуниверситета. Естественные науки*. **2024**. Вып.3. С.121-135. DOI:10.24412/2071-6176-2024-3-121-135. [T.E. Sigolaeva, V.V. Ivanishchev, L.V. Perelomov. State of the pigment system of pea seedlings grown on two types of soil artificially contaminated with lead. *News of Tula State University. Natural Sciences*. **2024**. Iss.3. P.121-135. (Russian)]
- [29] Viktor V. Ivanishchev, Elena O. Kuzminkova, Igor K. Suvorov. The influence of zinc oxide nanoparticles on the formation of the pigment system of wheat seedlings. *Butlerov Communications C*. **2025**. Vol.11. No.4. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-143/ROI-jbc-C/25-11-4-15
- [30] Иванищев В.В., Кузьминкова Е.О., Суворов И.К. Влияние наночастиц оксида цинка на формирование пигментной системы проростков пшеницы. *Бутлеровские сообщения C*. **2025**. Т.11. №4. Id.15. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-143/ROI-jbc-RC/25-11-4-15

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-C/25-11-4-15

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-12-143/ROI-jbc-C/25-11-4-15

**The influence of zinc oxide nanoparticles on the formation
of the pigment system of wheat seedlings**

Viktor V. Ivanishchev, Elena O. Kuzminkova, Igor K. Suvorov

*Department of Biology and Technologies of Living Systems. Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University.
Lenin Ave., 125. Tula, 300026. Russia. Phone: +7 (487) 265-78-08. E-mail: avdey_VV@mail.ru*

*Supervising author; *Corresponding author

Keywords: wheat (*Triticum aestivum* L.), sprouts, nanoparticles, zinc oxide, pigment content.

Abstract

The positive impact of nanoparticles on the growth and development of wheat and other plant species suggests their potential application in managing plant physiology. The scientific literature provides little systematic information on the formation of the photosynthetic apparatus, the main component responsible for the accumulation of organic matter. This study examined the effect of zinc oxide nanoparticles at concentrations of 5, 10, and 20 mg/L on the formation of photosynthetic pigments in developing seedling leaves of wheat. A chelating agent, Trilon B, was used to soluble zinc oxide. A minimal increase of 12% was observed for chlorophyll *a* at a nanoparticle (NP) concentration of 5 mg/L, while the most significant increase was observed in chlorophyll *b* content, reaching 51-52% at reagent concentrations of 5 and 10 mg/L. The alteration in the carotenoid content was also high, but varied to a lesser extent than the content of chlorophyll forms. Comparison with the results of other authors shows their similarity in relation to such plants as flax, peanut, and moringa. At the same time, at the maximum concentration of nanoparticles in the medium (20 mg/L), a decrease in the content of all photosynthetic pigments was observed. However, all values were still higher than in the control. The study of the features of the pigment system of the photosynthetic apparatus under experimental conditions was conducted for the first time. Research has shown that the ratio of chlorophyll forms altered under experimental conditions, namely: it decreased in the presence of 5 and 10 mg/L ZnO NPs, but approached the control at the maximum reagent concentration of 20 mg/L. The organization of the photosynthetic apparatus turned out to be highly stable, since the ratio of green and yellow pigments altered insignificantly (+2%). The proportion of pigments in the light-harvesting complex in the presence of zinc oxide NPs also turned out to be higher than in the control variant.