

УДК 636.085.51

DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-149

Эффективность предпосевной обработки семян однолетних культур при производстве зелёных кормов

Е.Ю. Подласова, С.В. Лебедев, М.М. Поберухин

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Оренбург)

Аннотация. Смешанные посевы зернобобовых культур становятся незаменимыми, поскольку снижение питательности кормов является серьёзной проблемой в животноводстве.

Цель исследования состояла в изучении оценки влияния предпосевной обработки семян биоудобрениями и ультрадисперсными частицами (УДЧ) на продуктивность смешанных посевов однолетних культур. Семена были подвергнуты обработке УДЧ SiO₂ (100 г/т); MoO₂ (100 г/т); Fe₃O₄ (100 г/т), Рибав Экстра (10 мл/т) и АгроВерм (1 л/т). Соотношение культур горох:ячмень:посо – 1:2:1 соответственно. Данные о продуктивности зелёной массы регистрировались в момент уборки, наибольший результат показал вариант с использованием УДЧ SiO₂ как в отдельном, так и в смешанном посеве и составил 24,8 т/га и 20,3 т/га соответственно. Содержание сухого вещества в отдельном посеве превосходило контрольный вариант у гороха в варианте УДЧ Fe₃O₄ на 12 %; посо в варианте УДЧ SiO₂ – на 7,4 % и ячмень в варианте MoO₃ – на 1,7 % (P≤0,05).

Использование способа склеивания семян с внесением УДЧ оказало незначительное влияние на количество сухого вещества, наибольшая разница в 1,1 % (P≤0,05) была установлена при использовании УДЧ Fe₃O₄.

Ключевые слова: зелёная масса, ячмень, посо, горох, микроудобрения, SiO₂, MoO₂, Fe₃O₄, Рибав Экстра, АгроВерм, продуктивность.

UDC 636.085.51

Efficiency of pre-sowing seed treatment of annual crops in the production of green feed

Ekaterina Yu Podlasova, Svyatoslav V Lebedev, Mikhail M Poberukhin

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Summary. The role of mixed sowing of leguminous crops is becoming indispensable and the reduction in the nutritional feed value is a serious problem in animal husbandry.

The aim of the study was to evaluate the impact of pre-sowing seed treatment with biofertilizers and ultrafine particles on the productivity of mixed sowing of annual crops.

The seeds were treated with ultrafine particles of SiO₂ (100 g/t); MoO₂ (100 g/t); Fe₃O₄ (100 g/t), Ribav Extra (10 ml/t) and Agroverm (1 l/t). The ratio of crops is 1:2:1, respectively, peas: barley: millet. Data on the productivity of the green mass were recorded at the time of harvesting, the highest result was shown by the variant using SiO₂ UFP, both in separate and mixed sowing, and amounted to 24.8 t/ha, 20.3 t/ha, respectively. The dry matter content in separate seeding exceeded the control variant in peas in the Fe₃O₄ UFP variant by 12%; millet in the SiO₂ UFP variant by 7.4% and barley in the MoO₃ variant by 1.7% (P≤0.05).

The use of the method of gluing seeds with the introduction of UFP slightly affected the amount of dry matter, the largest difference of 1.1% (P≤0.05) was found when using Fe₃O₄ UFP.

Key words: green mass, barley, millet, peas, microfertilizers, SiO₂, MoO₂, Fe₃O₄, Ribav Extra, Agroverm, productivity.

Введение.

Развитие отрасли животноводства зависит от многих факторов, в частности от состава и качества кормов. Использование зелёного конвейера из бобово-злаковых смесей является залогом высоких привесов и качества продукции (Кияшко Н.В., 2014), а также снижения потребности в азотных удобрениях и увеличения концентрации белка в корме (Wang P et al., 2016). Использование стимуляторов роста и биологических активных веществ при выращивании однолетних культур ограничено их высокой стоимостью. В то же время предпосевная обработка семян позволит увеличить сохранность и продуктивность растений (<http://www.agrocounsel.ru/inkrustatsiya-semyan>), скорость прорастания семян, улучшение корнеобразования, а также накопление вегетативной биомассы (Nair R et al., 2010).

Так, например, ускорение и скорость процесса прорастания можно объяснить способностью ультрадисперсных частиц ZnO и TiO₂ проникать сквозь семенную оболочку и активировать дифференцировку эмбриона, вызывая разрушение ферментов, связанных с покоем семян, что в последствии убыстряет скорость прорастания (Azimi R et al., 2014).

УДЧ SiO₂ считается одним из наиболее важных элементов для сельскохозяйственных растений, было показано, что SiO₂ улучшает рост растений, биомассу, урожайность, фотосинтез и устойчивость к абиотическим стрессам (Zargar SM., 2019).

Развитие нанотехнологий и внедрение перспективных ультрадисперсных форм металлов в состав биологически активных веществ (стимуляторы роста, удобрения) способны оказать влияние на агропромышленный комплекс и сделать отрасль значительно более экологически чистой и прибыльной (Berkenkamp B and Meeres J, 1987; Hooley G et al., 2012).

Цель исследования.

Сравнительное изучение выращивания смешанных посевов однолетних культур гороха, проса и ячменя с применением предпосевной обработки семян ультрадисперсными частицами и биопрепаратами.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Семена ярового ячменя (*Hordeumvulgare* L.) сорта Натали, гороха (*Pisumsativum*) сорта Ямал и проса (*Panicum*) сорт Оренбургское 27.

Схема эксперимента. Испытание проводилось в 2020 году на опытном участке посёлка «Нежинка» ФНЦ БСТ РАН, расположенном в центральной зоне Оренбургской области. Почва – чернозём южный, климат – резко континентальный.

Для предпосевной обработки семян, предоставленных ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, использовали ультрадисперсные частицы (УДЧ) SiO₂ с размером 30,7±0,3 нм и ζ-потенциалом 27±0,12 мВ, наночастицы (НЧ) MoO₂ (100-120 нм), произведённые в компании «Плазмотерм» (Россия, г. Москва, <http://plasmotherm.ru>), НЧ Fe₃O₄ (80-100 нм, ζ-потенциал 20±0,14 мВ), приобретённые у компании «Advanced Powder Technologies» (Томск, Россия, www.nanosized-powders.com). Расход микроудобрений равен 100 г на 1 т. В эксперименте использовали препараты на основе биогумуса АгроВерм («Биокенетика» <http://rusgumus.ru/>) в дозе 1 л на 1 т; Рибав Экстра (<https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/ribav-ekstra-p-2.html>) в дозе 10 мл на 1 т. Для приготовления растворов точные навески MoO₃ (10⁻⁴ мг/л), Fe₃O₄ (10⁻⁴ мг/л) и SiO₂ (10⁻⁴ мг/л) помещали в стеклянные сосуды с дистиллированной водой, после диспергирования в ультразвуковой ванне в течение 30 мин с частотой 35 кГц проводили опрыскивание семян готовым раствором. Ввиду несоответствия посевного материала использовался метод склеивания семян крахмальным клеем в соотношении 1:1 на специальном оборудовании барабанного типа.

Метод склеивания семян позволяет уберечь семена от воздействия вредоносных инфекций и грибов и произвести одновременно посев несоответствующих семян. Для этого в готовый раствор с УДЧ добавляли клей, в течение 5 мин перемешивали в лабораторной мешалке «LabSpin». После

настаивания добавляли семена гороха, ячменя и проса в соотношении 1:2:1 с последующим высушиванием.

Посев проведён 8 мая 2020 года с междурядьем 15 см, на глубину 5-6 см. Площадь опытного участка составляла 0,009 га, который был разделен на 40 делянок, 24 делянки с размером 0,9×3 м – для отдельного посева ячменя, проса и гороха. Используются следующие варианты: 1 – MoO₃; 2 – SiO₂; 3 – Fe₃O₄; 4 – Рибав Экстра; 5 – АгроВерм; 6 – контрольный. 16 делянок с размером 0,9×1,5 м – в вариантах при смешанном посеве путём склеивания семян: 7 – контроль; 8 – MoO₃; 9 – SiO₂; 10 – Fe₃O₄.

Отбор растений для учёта зелёной массы проводился в момент уборки на 51 день от появления полных всходов.

Оборудование и технические средства. Перед посевом проводили культивацию трактором МТЗ-1221 (Белоруссия) в агрегате с культиватором КПС-4 (Россия). Для посева использовали трактор Т-25 (Россия) с селекционной кассетной сеялкой WINTERSTEIGER Rowseed TS (Австрия). После посева почву прикатывали катками 3 ККШ-6 в агрегате с трактором МТЗ-1221. Лабораторный анализ проводили в Испытательном центре ЦКП ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015 г). Масса растений в момент уборки измерялась сразу после скашивания, а массовая доля сухого вещества определялась после высушивания растений по ГОСТу 31640-2012.

Статистическая обработка. Полученные данные в результате исследования обрабатывались с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США).

Результаты исследования.

В результате проведённых исследований установлено, что превосходством на 12 % по содержанию сухого вещества в момент укосной спелости характеризовался горох в варианте УДЧ Fe₃O₄, просо в варианте УДЧ SiO₂ – на 7,4 % и ячмень в варианте MoO₃ – на 1,7 % (P≤0,05) при сравнении с контрольными значениями (табл. 1).

Таблица 1. Влияние предпосевной обработки семян на массу растений и содержание сухого вещества при отдельном способе посева (x±Sx)
Table 1. Effect of pre-sowing seed treatment on plant weight and dry matter content with separate seeding method (x±Sx)

Культура/ <i>Culture</i>	Варианты предпосевной обработки семян/ <i>Options of the pre-sowing seed treatment</i>					
	MoO ₃	SiO ₂	Fe ₃ O ₄	Рибав Экстра/ <i>Ribav Extra</i>	АгроВерм/ <i>AgroVerm</i>	Контроль/ <i>Control</i>
Горох/ <i>Peas</i>	Масса растений в момент уборки, г/Weight of plants at the time of harvesting, g					
	556,3±0,56	568,7±0,45	593±0,53	479±0,74	525,7±0,36	469,4±0,50
	Массовая доля сухого вещества, %/ Dry matter weight ratio %					
	40,4±0,09	45,9±0,02	48,4±0,09*	42,3±0,06	39,3±0,08	36,4±0,01*
Просо/ <i>Millet</i>	Масса растений в момент уборки, г/ Weight of plants at the time of harvesting, g					
	516,9±0,23	548±0,42*	530,3±0,17	488,8±0,23	527,2±0,41	419,2±0,33
	Массовая доля сухого вещества, %/ Dry matter weight ratio, %					
	48,4±0,05	53,4±0,02	48,5±0,01	46,5±0,78	47,4±0,08	46±0,07
Ячмень/ <i>Barley</i>	Масса растений в момент уборки, г/Weight of plants at the time of harvesting, g					
	1329±0,49	1319±0,37	1326±0,54	1305,2±0,38	1311±0,33	1302±0,42
	Массовая доля сухого вещества, %/ Dry matter weight ratio %					
	48,5±0,03*	47±0,02	47±0,01	46,1±0,03	47,1±0,13	46,8±0,04

Примечание: * – Различия с контролем достоверности при P≤0,05

Note: * – Differences with control are significant at P≤0.05

Использование смешанного посева с внесением УДЧ оказало незначительное влияние на концентрацию сухого вещества, наибольшая разница в 1,1 % ($P \leq 0,05$) была установлена при использовании УДЧ Fe_3O_4 (табл. 2).

Таблица 2. Влияние предпосевной обработки семян на массу растений и содержание сухого вещества в смешанных посевах ($\bar{x} \pm S_x$)
Table 2. Effect of pre-sowing seed treatment on plant weight and dry matter content in mixed crops ($\bar{x} \pm S_x$)

Культура/ Culture	Надземная масса растений/Tops of plants			
	Варианты склеенных семян перед посевом/ Options for glued seeds before sowing			
Горох, Просо, Ячмень/ Peas Millet, Barley	контроль/control	MoO_3	SiO_2	Fe_3O_4
	Масса растений в момент уборки, г/ Weight of plants at the time of harvesting, g			
	1715,7±0,72	1783,9±0,7	1882,1±0,28	1841,1±0,39
	Массовая доля сухого вещества, %/ Dry matter weight ratio %			
42,1±0,06*	42,1±0,08	42,4±0,14	43,2±0,11*	

Примечание: * – Различия с контролем достоверности при $P \leq 0,05$

Note: * – Differences with control are significant at $P \leq 0.05$

Создание оптимальной густоты стояния растений является главным условием формирования высокопродуктивного агрофитоценоза. Она оказывает существенное влияние на ростовые процессы, структуру урожая, высоту и массу растений.

Таблица 3. Количество растений на 1 м² в момент уборки
Table 3. Number of plants per 1 m² at the time of harvesting

Вариант/ Option	Контроль/Control	MoO_2	SiO_2	Fe_3O_4	Рибав Экстра/ Ribav Extra	АгроВерм/ AgroVerm
Рядовой посев/Line planting						
Горох/ Peas	90±1,25	93±1,32	95±1,54	96±1,08	80±1,08	93±1,93
Просо/Millet	153±1,49	166±1,17	169±1,08	170±1,49	156±1,53	162±1,56
Ячмень/Barley	229±1,31	240±1,25	236±1,84	249±1,88	223±1,58	233±1,47
Смешанный посев/Mixed sowing						
Горох/ Peas	54±1,65	61±1,08	62±1,25	58±1,07	-	-
Просо/Millet	50±1,04	50±1,49	68±1,10	61±0,91	-	-
Ячмень/Barley	170±1,47	169±1,25	172±1,11	166±1,46	-	-

Проанализировав данные таблицы 3, можно сказать что максимальное количество растений отмечено при раздельном посеве с использованием УДЧ Fe_3O_4 , что составило: горох – 96 шт. на 1 м², просо – 170 шт. на 1 м², ячмень – 249 шт. на 1 м². При смешанном посеве наибольшее количество растений составило в варианте SiO_3 : горох – 62 шт. на 1 м², просо – 68 шт. на 1 м², ячмень – 172 шт. на 1 м². Наименьшее количество растений на 1 м² отмечалось в контрольных вариантах.

Предпосевная обработка семян увеличила продуктивность зелёной массы во всех возделываемых вариантах. Наибольшая продуктивность зелёной массы отмечалась в варианте УДЧ SiO_2 – 24,8 т/га; 20,3 т/га как в раздельном, так и в смешанном посевах соответственно.

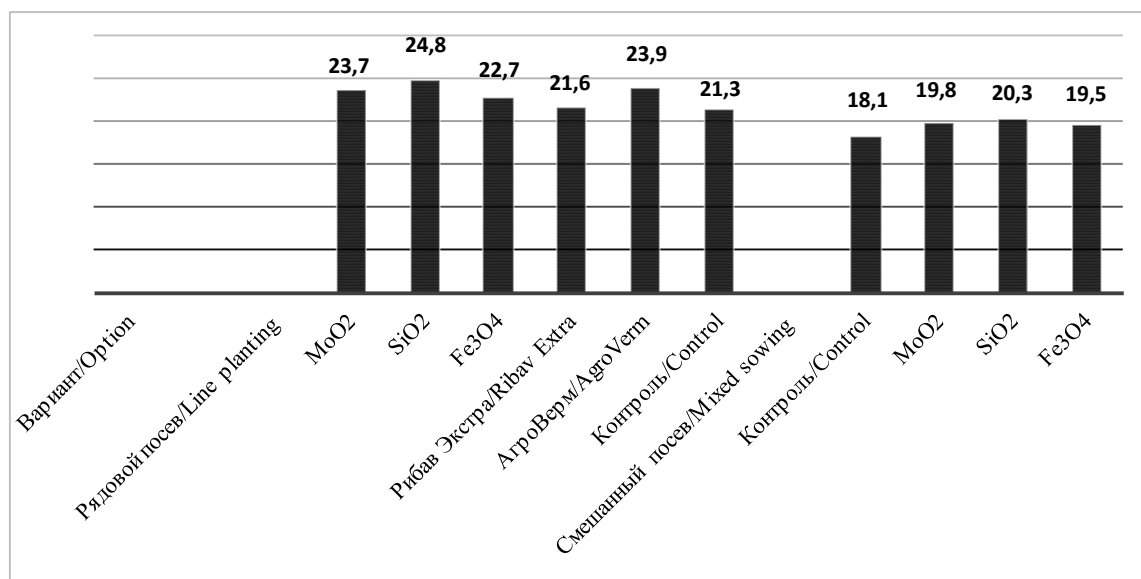


Рис. 1 – Продуктивность зелёной массы, т/га
Figure 1 – The productivity of green mass, t/ha

Обсуждение полученных результатов.

Известно, что ультрадисперсные частицы оказывают положительное действие на увеличение скорости прорастания семян, улучшение корнеобразования, а также накопление вегетативной биомассы (Nair R et al., 2010). Так, например, ультрадисперсные частицы SiO₂ проникают в корни *Arabidopsis thaliana* и затем перемещаются в остальную часть растения, тем самым увеличивая вегетативную массу (Larue C et al., 2012).

Благодаря своим уникальным свойствам УДЧ обладают большим потенциалом применения в сельском хозяйстве и могут лучше справляться с абиотическими стрессами, чем сыпучие материалы (Cui J et al., 2017; Abdel-Halim MEF et al., 2017). Было проведено большое количество исследований и высказано предположение, что использование ультрадисперсных форм микроэлементов положительно влияет на прорастание и развитие растений, в частности УДЧ Fe₃O₄/SiO₂ обладают значительным потенциалом для увеличения всхожести семян ячменя и кукурузы (Disfani MN et al., 2017). Аналогичное действие оказывает предпосевная обработка семян MoO₂ (Zhou J et al., 2009).

В наших исследованиях обработка семян УДЧ Fe₃O₄ и SiO₂ также увеличивала количество растений гороха, ячменя и проса.

Увеличение сбора сухого вещества под влиянием предпосевной обработки семян УДЧ Fe₃O₄, SiO₂ и MoO₃ согласуется с результатами исследований Юркова И.Н. и Омельченко А.В. (2015).

Ультрадисперсные частицы Fe₃O₄ благодаря высокой растворимости и доступности увеличивают вес соломы, массу 1000 зерен в пшенице (Aversi FG et al., 2019).

Урожайность зелёной массы в варианте с применением УДЧ SiO₂ увеличилась в отдельном посеве на 3,5 т/га, в смешанном посеве – на 2,2 т с 1 га по сравнению с вариантом без обработки.

Вывод.

Применение ультрадисперсных частиц Fe₃O₄, SiO₂, MoO₃ для предпосевной обработки семян однолетних культур при производстве зелёных кормов существенно увеличивает количество растений, содержание сухого вещества в вегетативной массе и урожайность зелёной массы.

Литература

1. ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. Введ. 01.07.2013. М.: Стандартиформ, 2020. 7 с. [GOST 31640-2012. Korma. Metody opredeleniya sodержaniya sukhogo veshchestva. Vved. 01.07.2013. Moscow: Standartinform; 2020: 7 p. (*In Russ*)].
2. Инкрустация семян. Agrocounsel.ru. Сайт о вредителях и болезнях полевых культур. [Электронный ресурс]. 2014. [Seed inlay [Internet] Agrocounsel.ru. Website about pests and diseases of field crops. 2014. Available from: <http://www.agrocounsel.ru/inkrustatsiya-semyan>
3. Кияшко Н.В. Основы сельскохозяйственной биотехнологии: учеб. пособие. Уссурийск: Приморская ГСХА, 2014. 110 с. [Kiyashko NV. Osnovy sel'skokhozyaistvennoi biotekhnologii: ucheb. posobie. Ussuriisk: Primorskaya GSKhA; 2014:110 p. (*In Russ*)].
4. Юркова И.Н., Омельченко А.В. Влияние наночастиц селена и селенита натрия на рост и развитие растений пшеницы // Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2015. Т. 1(67). № 3. С. 99-106. [Jurkova IN, Omel'chenko AV. The influence of selenium nanoparticles and sodium selenite on the growth and development of wheat. Scientific Notes of Vernadsky VI. Crimean Federal University. Biology. Chemistry. 2015;1(67-3):99-106. (*In Russ*)].
5. Abdel-Haliem MEF, Hegazy HS, Hassan NS, Naguib DM. Effect of silica ions and nano silica on rice plants under salinity stress. *Ecol Eng.* 2017;99:282-289. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.11.060
6. Aversi FG, Jalilian J, Moghaddam SS. The effect of different fertilizer sources on qualitative characteristics of forage maize under water deficit stress conditions. *Cereal Research.* 2019;9(1):43-54. doi: 10.22124/c.2019.12244.1453
7. Azimi R, Borzelabad MJ, Feizi H, Azimi A. Interaction of SiO₂ nanoparticles with seed pre-chilling on germination and early seedling growth of tall wheatgrass (*Agropyronelongatum* L.). *Pol J Chem Technol.* 2014;16 (3): 25-29. doi: 10.2478/pjct-2014-0045
8. Berkenkamp B, Meeres J. Mixtures of annual crops for forage in central Alberta. *Can J Plant Sci.* 1987;67(1):175-183. doi: 10.4141/cjps87-021
9. Cui J, Liu T, Li F, Yi J, Liu C, Yu H. Silica nanoparticles alleviate cadmium toxicity in rice cells: mechanisms and size effects. *Environ Pollut.* 2017;228:363-369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.014>
10. Disfani MN, Mikhak A, Kassae MZ, Maghari A. Effects of nano Fe/SiO₂ fertilizers on germination and growth of barley and maize. *Arch Agron Soil Sci.* 2017;63(6):817-826. doi: 10.1080/03650340.2016.1239016
11. Hooley G, Piercy NF, Nicoulaud B. Marketing strategy and competitive positioning. 5th ed. Harlow, UK: Pearson Education: Prentice Hall; 2012. 578 p.
12. Larue C, Laurette J, Herlin-Boime N, Khodja H, Fayard B, Flank A-M, Brisset F, Carriere M. Accumulation, translocation and impact of TiO₂ nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum* spp.): influence of diameter and crystal phase. *Sci Total Environ.* 2012;431:197-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.073>
13. Nair R, Varghese SH, Nair BG, Maekawa T, Yoshida Y, Kumar DS. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Sci.* 2010;179(3):154-163. doi: 10.1016/j.plantsci.2010.04.012
14. Wang P, Lombi E, Zhao F-J, Kopittke PM. Nanotechnology: A new opportunity in plant sciences. *Trends Plant Sci.* 2016;21(8):699-712. doi: 10.1016/j.tplants.2016.04.005
15. Zargar SM, Mahajan R, Bhat JA, Nazir M, Deshmukh R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech.* 2019;9:73. doi: 10.1007/s13205-019-1613-z
16. Zhou J, Deng B, Zhang Y, Cobb AB, Zhang Z. Molybdate in rhizobial seed-coat formulations improves the production and nodulation of alfalfa. *PLoS One.* 2017;12(1):e0170179. doi: 10.1371/journal.pone.0170179

References

1. GOST 31640-2012. Feeds. Methods for determination of dry matter content. Introduction. 01.07.2013. Moscow: Standartinform; 2020: 7 p.
2. Seed inlay [Internet] Agrocounsel.ru. Website about pests and diseases of field crops. 2014. Available from: <http://www.agrocounsel.ru/inkrustatsiya-semyan>

3. Kiyashko NV. Fundamentals of agricultural biotechnology: textbook. stipend. Ussuriisk: Primorskaya GSKhA; 2014:110 p.
4. Jurkova IN, Omel'chenko AV. The influence of selenium nanoparticles and sodium selenite on the growth and development of wheat. Scientific Notes of Vernadsky VI. Crimean Federal University. Biology. Chemistry. 2015;1(67-3):99-106.
5. Abdel-Haliem MEF, Hegazy HS, Hassan NS, Naguib DM. Effect of silica ions and nano silica on rice plants under salinity stress. Ecol Eng. 2017;99:282-289. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.11.060
6. Aversi FG, Jalilian J, Moghaddam SS. The effect of different fertilizer sources on qualitative characteristics of forage maize under water deficit stress conditions. Cereal Research. 2019;9(1):43-54. doi: 10.22124/c.2019.12244.1453
7. Azimi R, Borzelabad MJ, Feizi H, Azimi A. Interaction of SiO₂ nanoparticles with seed pre-chilling on germination and early seedling growth of tall wheatgrass (*Agropyronelongatum* L.). Pol J Chem Technol. 2014;16 (3): 25-29. doi: 10.2478/pjct-2014-0045
8. Berkenkamp B, Meeres J. Mixtures of annual crops for forage in central Alberta. Can J Plant Sci. 1987;67(1):175-183. doi: 10.4141/cjps87-021
9. Cui J, Liu T, Li F, Yi J, Liu C, Yu H. Silica nanoparticles alleviate cadmium toxicity in rice cells: mechanisms and size effects. Environ Pollut. 2017;228:363-369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.014>
10. Disfani MN, Mikhak A, Kassae MZ, Maghari A. Effects of nano Fe/SiO₂ fertilizers on germination and growth of barley and maize. Arch Agron Soil Sci. 2017;63(6):817-826. doi: 10.1080/03650340.2016.1239016
11. Hooley G, Piercy NF, Nicoulaud B. Marketing strategy and competitive positioning. 5th ed. Harlow, UK: Pearson Education: Prentice Hall; 2012. 578 p.
12. Larue C, Laurette J, Herlin-Boime N, Khodja H, Fayard B, Flank A-M, Brisset F, Carriere M. Accumulation, translocation and impact of TiO₂ nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum* spp.): influence of diameter and crystal phase. Sci Total Environ. 2012;431:197-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.073>
13. Nair R, Varghese SH, Nair BG, Maekawa T, Yoshida Y, Kumar DS. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Sci. 2010;179(3):154-163. doi: 10.1016/j.plantsci.2010.04.012
14. Wang P, Lombi E, Zhao F-J, Kopittke PM. Nanotechnology: A new opportunity in plant sciences. Trends Plant Sci. 2016;21(8):699-712. doi: 10.1016/j.tplants.2016.04.005
15. Zargar SM, Mahajan R, Bhat JA, Nazir M, Deshmukh R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. 3 Biotech. 2019;9:73. doi: 10.1007/s13205-019-1613-z
16. Zhou J, Deng B, Zhang Y, Cobb AB, Zhang Z. Molybdate in rhizobial seed-coat formulations improves the production and nodulation of alfalfa. PLoS One. 2017;12(1):e0170179. doi: 10.1371/journal.pone.0170179

Подласова Екатерина Юрьевна, специалист-исследователь, лаборатория агроэкологии и почвоведения НИИСХ, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1 тел.: 89877866593, e-mail: katerina.pryakhina@mail.ru

Лебедев Святослав Валерьевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-345-87-38, e-mail: lsv74@list.ru

Поберухин Михаил Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-78

Поступила в редакцию 19 февраля 2021 г.; принята после решения редколлегии 15 марта 2021 г.; опубликована 31 марта 2021 г. / Received: 19 February 2021; Accepted: 15 March 2021; Published: 31 March 2021