

Влияние металлических наночастиц на физиолого-биохимические показатели Пшеницы мягкой

Ирина А. Гавриш	^{1,2}	gavrish.irina.ogu@gmail.com
Святослав В. Лебедев	^{1,2}	lsv74@list.ru
Анастасия М. Короткова	^{1,2}	anastasiaporv@mail.ru
Ольга В. Кван	^{1,2}	kwan111@yandex.ru

¹ Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, пр. Победы, 13

² Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий российской академии наук, г. Оренбург, 9 Января, 29

Аннотация. Исследование было направлено на изучение комплекса ответных реакций растения Пшеницы мягкой (*Triticum vulgare* Vill) при внесении наночастиц Fe, Mo и SiO₂, а также совместно Fe и Mo в дозах 10, 25 и 50 мг/кг сухого веса почвы. Так, морфометрические параметры опытных образцов в целом превосходили контрольные образцы. В ходе оценки жизнеспособности растительных клеток нами было получено, что во всех опытных образцах значения жизнеспособности были не менее 90% для растений пшеницы, что позволяет нам утверждать, что применяемые нами концентрации наночастиц не оказывали токсического влияния на жизнеспособность корней. При оценке ферментативной антиоксидантной системы растений и степени перекисного окисления липидов нами было зафиксировано отсутствие окислительного стресса, при этом повышался защитный потенциал растений. Таким образом, проведенные нами исследования являются основой для изучения возможности использования наночастиц в сельском хозяйстве для интенсификации роста растений и повышения их урожайности.

Ключевые слова: наночастицы, *Triticum vulgare*, всхожесть, энергия прорастания

Effect of metal nanoparticles on physiological and biochemical parameters of soft Wheat

Irina A. Gavrish	^{1,2}	gavrish.irina.ogu@gmail.com
Svyatoslav V. Lebedev	^{1,2}	lsv74@list.ru
Anastasia M. Korotkova	^{1,2}	anastasiaporv@mail.ru
Olga V. Kvan	^{1,2}	kwan111@yandex.ru

¹ Orenburg state university, Orenburg, Pobedy sq., 13

² Federal scientific center of biological systems and technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, 9 January, 29

Abstract. The study was aimed at studying the complex responses of Wheat plants (*Triticum vulgare* Vill) in the application of nanoparticles Fe, Mo and SiO₂, as well as together Fe and Mo at doses of 10, 25 and 50 mg/kg of dry soil weight. Thus, the morphometric parameters of the prototypes were generally superior to the control samples. In assessing the viability of plant cells, we found that in all experimental samples the viability values were not less than 90% for wheat plants, which allows us to assert that the concentrations of nanoparticles used by us did not have a toxic effect on the viability of the roots. When assessing the enzymatic antioxidant system of plants and the degree of lipid peroxidation, we recorded the absence of oxidative stress, while increasing the protective potential of plants. Thus, our research is the basis for studying the possibility of using nanoparticles in agriculture to intensify plant growth and increase their productivity.

Keywords: nanoparticles, *Triticum vulgare*, germination, germination energy

Введение

Наночастицы в последние десятилетия – одни из самых пристально изучаемых объектов во всех областях науки. Во-многом это обусловлено тем, что они обладают совершенно уникальными физико-химическими характеристиками, а именно:

— увеличение химического потенциала веществ на межфазной границе высокой кривизны, способствующей изменению их растворимости, реакционной способности наночастиц и их составляющих;

— высокая удельная поверхность наноматериалов, что повышает их адсорбционную

и химическую реакционную способность и каталитические свойства;

— малые размеры (до 100 нм в одном из измерений) и разнообразие форм наночастиц способствуют их связыванию с нуклеиновыми кислотами, белками, внедрением в клеточные мембраны и проникновению в клетки;

— наночастицы являются высокоэффективными адсорбентами, за счет того, что на единицу своей массы поглощают в десятки раз больше адсорбируемых веществ, чем макромолекулярные дисперсии;

— из-за малого размера наночастицы не распознаются защитными системами организма, не подвергаются биотрансформации

Для цитирования

Гавриш И.А., Лебедев С.В., Короткова А.М., Кван О.В. Влияние металлических наночастиц на физиолого-биохимические показатели Пшеницы мягкой // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 263–268. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-263-268

For citation

Gavrish I.A., Lebedev S.V., Korotkova A.M., Kvan O.V. Effect of metal nanoparticles on physiological and biochemical parameters of soft Wheat. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 263–268. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-263-268

и длительное время способны накапливаться в организме.

Чаще всего наноматериалы классифицируют по природе наночастиц: углеродные (фуллерены, нанотрубки); полимерные – нанокомпозиты и древовидные (дендритные) структуры на полимерной основе; органические и неорганические нанопленки; металлические (НЧ, нанопорошки, нанокристаллы, нанопленки металлов, их соединений и сплавов); на керамической основе (нанокомпозиты).

Следует отметить, что почва в будущем будет основным поглотителем наночастиц, попадающих в окружающую среду, поэтому положительные и отрицательные последствия для почвенных биоценозов необходимо изучать более подробно. Биотестирование наноматериалов приобретает все большее значение и включает разнообразные биологические модели: бактерии (*Photobacterium phosphoreum*), растения (*Lemna minor*, *Lipidium sativum*), простейшие (*Tetrahymena pyriformis*, *Paramecium putrinum*) и др. Как только наночастицы выделяются в окружающую среду, то подвергаются возможным взаимодействиям с вышеуказанными компонентами агроэкосистемы. Поэтому исследователи прилагают все усилия для понимания и анализа масштабов этих основных взаимодействий, чтобы получить функциональные знания о токсичности и вероятном воздействии высвобожденных наночастиц на окружающую среду и сельское хозяйство. Более того, такие исследования будут способствовать определению допустимого уровня наночастиц в допустимых пределах безопасности.

Цель работы – проведение комплекса исследований, направленных на оценку действия перспективных наночастиц на физиолого-биохимические показатели растений.

Материалы и методы

В исследованиях использовали препараты коммерчески доступных наночастиц (НЧ) Fe, Mo и SiO₂.

НЧ Fe были получены от ООО «Передовые порошковые технологии» (Россия) и представляли собой частицы в порошке размером 50–110 нм сферической формы. НЧ Mo были получены от «Plasmotherm» (Россия) и представляли собой наночастицы размером 40–120 нм сферической формы. НЧ SiO₂ были получены от «Plasmotherm» (Россия) и представляли собой наночастицы размером 15–25 нм сферической формы.

Исходные суспензии НЧ были приготовлены методом, предложенным Scott-Fordsmann et. al., с добавлением испытуемого металла (сухой

порошок) в исследуемых концентрациях в деионизированную воду (10 мл) с последующим диспергированием на ультразвуковом диспергаторе (УЗДН, f-35 кГц, N-300 Вт, Россия) в течение 30 мин. В нашем исследовании были использованы следующие концентрации: 10; 25 и 50 мг/кг сухой почвы, что было обусловлено результатами ранее проведенных исследований. Далее приготовленные лиозолы НЧ для каждой повторности и концентрации были смешаны с влажной искусственной почвой (влажность 45–50%), затем доведены дистиллированной водой до влажности 75–80% и перемешаны с помощью миксера.

В исследовании были использованы следующие дозы и комбинации наночастиц: НЧ Fe, Mo и SiO₂ в концентрации 10; 25 и 50 мг/кг сухой почвы (обозначенные как НЧ 10, НЧ 25 и НЧ 50), а также комбинация НЧ Fe и Mo в концентрации по 10; 25 и 50 мкг каждого вещества (обозначенные как Fe+Mo10, Fe+Mo 25, Fe+Mo50).

В качестве объекта исследования нами были выбраны семена озимой пшеницы *Triticum vulgare* Vill (сорт henry). Перед началом опыта семена дезинфицировали в 0,01%-ном растворе KMnO₄ в течение 10 мин, после чего трижды промывали дистиллированной водой каждые 5 мин.

Растения пшеницы озимой высаживали по 15 семян в вазон 15×10×15 см, в который помещали 350 г сухой почвы. Вазоны помещали в климатическую камеру при $t=22\pm2$ °C и влажности не более 50% для предотвращения развития грибковых заболеваний.

Почву для исследования отбирали в 40 км от Оренбурга в южном направлении (Оренбургская область, Россия, 51° 28'55.3" № 55° 03'49.9 "Е). Почва имела pH 7,7, содержала 3,9% органического C и 0,24% N. Почвы были представлены текстурно-карбонатным черноземом. Отбор почвы проводили из верхнего гумусового горизонта 0,1–30,0 см, затем почву сушили, включения удаляли и перемешивали, тщательно измельчали и просеивали через сетку размером 2 мм.

На 3-и сут оценивали энергию прорастания семян по стандартной методике (ГОСТ 12038–84). На 7-й день подсчитывали все взошедшие семена и определяли процент всхожести. Далее с помощью линейки (с точностью до 1 мм) измеряли показатели роста 10 проростков – длину первого листа (от основания до апекса листа) и главного корня (от корневой шейки до кончика главного корня) и их количество. Затем из каждого образца отбирали среднюю пробу (по 5 растений), трижды промывали дистиллированной водой, подсушивали фильтровальной

бумагой и проводили измерения, соответствующие задачам эксперимента. Также определяли массу листьев и корней.

Определение каталазы (КАТ) проводилось по методу Maehly и Chance, основанному на взаимодействии перекиси водорода с йодистым калием в соотношении 1:1. Для анализа брали точную навеску из 0,1 г листьев и корней растений и растирали в ступке с прокаленным песком и небольшим количеством CaCO_3 . Затем добавляли 10 мл 3%-ного H_2O_2 и 10 мл 3%-ного йодистого калия в 50% ацетоне. Смесь фильтровали, центрифугировали и фотоколориметрировали на ФЭК-56 М (Россия) при 435–445 нм в кювете 10 мм. Активность каталазы определяли по формуле

$$A = \text{ОП} \cdot 0,02,$$

где А – активность каталазы в пробе; ОП – оптическая плотность исследуемой пробы; 0,02 – коэффициент перевода в условные единицы активности (Е).

Количество продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в растворимой фракции гомогената и непосредственно в тканях определяли по содержанию малонового диальдегида (МДА) согласно Heath и Packer. В основе метода лежит реакция взаимодействия МДА с 2-тиобарбитуровой кислотой (ТБК) («Ленреактив», Россия), которая при высокой температуре и кислом значении pH – в присутствии трихлоруксусной кислоты (ТХУ) («Реахим», Россия) образует окрашенный триметиновый комплекс. Этот комплекс имеет характерный спектр поглощения с максимумом при $\lambda=532$ нм. Следует учесть то, что часть ТБК-продуктов образуется в анализируемой пробе в ходе самой аналитической процедуры.

Для анализа брали 100 мг листьев и корней растений и растирали с 200 мкл 20%-ной ТХУ. Полученный гомогенат центрифугировали в течение 5 мин при 12000 g. Полученный супернатант в количестве 100 мкл вносили в две плотно закрывающиеся пробирки: в одну добавляли 100 мкл 20%-ной ТХУ, используя ее в качестве контроля, в другую – 100 мкл 0,5%-ной ТБК. Пробы инкубировали на кипящей водяной бане (100 °C) в течение 30 мин и охлаждали при комнатной температуре. Измерения проводили на спектрофотометре при 532 нм и дополнительно при 600 нм (для корректировки неспецифического поглощения карбонильных соединений). Результаты рассчитывали по формуле

$$C = ((\text{ОП}/155) \cdot X \cdot V) / (m \cdot l),$$

где С – количество МДА, ммоль/г сырого веса; ОП – оптическая плотность образца при

532 нм; 155 – коэффициент экстинкции МДА при 532 нм, $\text{мМ}^{-1} \text{см}^{-1}$; X – разведение (отношение общего объема реакционной смеси к количеству вносимого образца экстракта); V – объем вытяжки, мл; m – масса сырой навески, г; l – длина оптического пути, см.

Уровень перекисного окисления липидов выражали в процентах, за 100% принимали количество ТБК прореагировавших продуктов, содержащихся в клетках исходных корней.

Для оценки гибели клеток использовали Эванс синий, являющийся надёжным красителем для определения мёртвых клеток с поврежденной клеточной мембраной. Проводили микроскопию апикальной и базальной частей корней растений. Для этого корни отрезали от стеблей и помещали в краситель на 15 мин при комнатной температуре, после чего их отмывали дистиллированной водой по 10 мин и разделяли на сегменты – апикальный (0–1 см от апекса) и базальный участок корня (размером 5 мм). Микропрепараты визуализировали в световом режиме микроскопа (Микромед-3, Россия) и подсчитывали число живых клеток по количеству неокрашенных клеток.

Лабораторные опыты проводили в 3 кратной биологической повторности, аналитическое определение для каждой пробы – в трех повторностях. При определении достоверности различий между анализируемыми выборками вычисляли средние арифметические значения и их стандартные ошибки. Достоверными считали различия при вероятности ошибки $P \leq 0,05$. Полученные результаты обрабатывали с использованием компьютерных программ «Statistica for Windows 10,0» и «Microsoft Office Excel 2010».

Результаты и обсуждение

В эксперименте на 3-и сут мы оценивали энергию прорастания (таблица 1). Было показано, что наилучшие показатели были зафиксированы в контрольном варианте опыта и при внесении НЧ $\text{SiO}_2 10$ (соответственно 90 и 93%). В вариантах опыта с Fe25 и Fe50 энергия прорастания составила 80 и 83%. Во всех остальных вариантах опыта энергия прорастания была менее 80%. На 7-е сут при оценке показателей всхожести было зафиксировано, что варианты опыта с внесением Fe25 (90%) и $\text{SiO}_2 10$ (93%) были выше контроля, всхожесть в котором составила 83%. Достоверно ниже контрольных значения были зафиксированы у НЧ Mo во всех концентрациях, НЧ Fe10 и НЧ Fe50.

Превышение всхожести опытных образцов над контрольными может быть связано с тем, что НЧ способны улучшать всхожесть, так как обладают свойством накапливаться в органах растений и действовать как активаторы роста.

НЧ, как известно, могут отдавать ионы во внешнюю среду, что может служить механизмом вышеописанного явления.

При исследовании морфометрических параметров (таблица 2) для пшеницы озимой было

зафиксировано, что длина листа была достоверно выше контроля для вариантов опыта с НЧ Mo25 и Mo50, НЧ Fe10, НЧ SiO₂10 и НЧ SiO₂25.

Таблица 1.

Показатели энергии прорастания и всхожести для *T. vulgare*

Table 1.

Germination and germination energy indices for *T. vulgare*

Контроль control	Энергия прорастания, % Germination energy, %	Всхожесть, % Germination, %
Mo10	90±3	83±3
Mo25	40±5*	73±5*
Mo50	50±5*	70±5*
Fe 10	50±10*	73±4*
Fe 25	67±8*	63±3*
Fe 50	80±5*	90±2*
SiO ₂ 10	83±5	70±3*
SiO ₂ 25	93±3	93±5*
SiO ₂ 50	63±7*	83±4
Fe+Mo 10	60±5*	80±4
Fe+Mo 25	30±5*	85±5
Fe+Mo 50	53±5*	95±3*
	53±5*	80±2

В то же время все варианты опыта с сочетанием наночастиц показали наибольшую длину листа по сравнению с контролем, что говорит о положительном влиянии данных веществ на рост и развитие растений. На длину корня положительное влияние оказывали НЧ Fe10 и Fe50, SiO₂10 и SiO₂25, а также все варианты опыта с сочетанием наночастиц железа и молибдена. По количеству листьев положительное

влияние показали варианты опыта с сочетанием наночастиц железа и молибдена во всех исследуемых концентрациях. Масса листьев увеличивалась при добавлении Mo25 и Fe10, Fe25, SiO₂50, а также с сочетанием наночастиц железа и молибдена во всех исследуемых концентрациях, что совпадает с увеличением показателей массы корней.

Таблица 2.

Морфологические показатели растений при внесении наночастиц

Table 2.

Morphological parameters of plants when applying nanoparticles

	Длина листа, см Leaf length, cm	Длина корня, см Root length, cm	Количество листьев, шт. Number of leaves, pieces	Количество корней, шт. Number of roots, pieces	Масса листьев, г Leaf mass, g	Масса корней, г Root mass, g
Контроль Control	13,9±1,1	14,01±0,5	2,2±0,2	3,5±0,5	0,047±0,004	0,045±0,002
Mo10	13,77±0,9	16,67±0,7	2,2±0,2	3,8±0,2	0,054±0,004	0,019±0,001*
Mo25	20,54±1,4*	14,24±0,5	2,6±0,4	3,8±0,2	0,139±0,011*	0,060±0,003*
Mo50	19,36±1,5*	15,68±0,8	2,2±0,2	4,3±0,3	0,060±0,005	0,051±0,002
Fe10	16,82±0,8*	18,44±0,7*	2,15±0,15	3,4±0,4	0,130±0,010*	0,131±0,010*
Fe25	15,13±1,2	15,12±0,3	2,1±0,1	4,05±0,1	0,110±0,011*	0,100±0,010*
Fe50	15,39±0,7	10,57±0,2*	1,9±0,1	4±0,5	0,075±0,006	0,029±0,001
SiO ₂ 10	22,86±1,9*	24,74±1,2*	2,5±0,5	3,7±0,3	0,164±0,020*	0,163±0,011*
SiO ₂ 25	19,24±1,3*	14,74±0,4	3,1±0,1*	3,7±0,3	0,041±0,003	0,084±0,003*
SiO ₂ 50	15,04±0,5	13,95±0,2	2,4±0,4	3,9±0,1	0,101±0,010*	0,030±0,002
Fe+Mo10	26,21±1,8*	26,89±1,5*	3±0,2*	4,6±0,4	0,180±0,012*	0,171±0,011*
Fe+Mo25	26,41±1,3*	22,54±0,1*	3±0,2*	4,2±0,2	0,185±0,011*	0,183±0,010*
Fe+Mo50	22,77±1,1*	22,22±1,0*	3±0,2*	5±1	0,192±0,014*	0,178±0,012*

При изучении параметров антиоксидантной системы растений (таблица 3) было выявлено, что активность каталазы выше контроля во всех вариантах опыта, кроме Mo10 и Fe10. Содержание малонового диальдегида во всех опытных группах не превышал контрольных значений. Это позволило высказать предположение о том, что

наночастицы увеличивают антиоксидантную активность растений, но при этом не увеличивают содержание малонового диальдегида в растениях, что является предпосылками для использования последних в растениеводстве.

Таблица 3.
Показатели активности каталазы и содержания
малонового диальдегида

Table 3.
Indicators of catalase activity and
malondialdehyde content

	Каталаза Catalase	МДА MDA
Контроль Control	20,69±0,91	0,0028±0,0001
Mo10	23,54±1,20	0,0011±0,0010
Mo25	34,29±2,11*	0,0008±0,0002*
Mo50	39,43±2,45*	0,0002±0,0001*
Fe10	21,95±1,54	0,0011±0,0001
Fe25	68,49±4,32*	0,0010±0,0002*
Fe50	75,02±5,78*	0,0004±0,0002*
SiO ₂ 10	64,31±3,12*	0,0013±0,0001
SiO ₂ 25	85,03±4,89*	0,0017±0,0002
SiO ₂ 50	75,31±6,54*	0,0011±0,0001
Fe+Mo10	71,27±4,81*	0,0001±0,00001*
Fe+Mo25	117,95±6,57*	0,0002±0,00002*
Fe+Mo50	145,56±7,98*	0,0003±0,0001*

Таблица 4.
Анализ жизнеспособности корней растений

Table 4.
Analysis of viability of plant roots

	Жизнеспособность в тесте с Эвансом голубым Vitality in the test with Evans Blue
Контроль Control	97±3
Mo10	95±2
Mo25	96±4
Mo50	92±2
Fe10	95±4
Fe25	97±3
Fe50	94±3
SiO ₂ 10	96±2
SiO ₂ 25	95±4
SiO ₂ 50	95±3
Fe+Mo10	93±2
Fe+Mo25	96±3
Fe+Mo50	97±3

Для подтверждения показателей морфо-физиологических тестов, проведенных выше, был проведен анализ жизнеспособности корней

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Cherukuri P., Gannon C.J., Leeuw T.K., Schmidt H.K. Mammalian pharmacokinetics of carbon nanotubes using intrinsic near-infrared fluorescence // PNAS. 2006. № 50. P. 18882–18886.
- 2 Минько Н.И., Строкова В. В., Нарцев В.М., Жерновский И.В. Методы получения и свойства нанообъектов: учебное пособие. М.: ФЛИНТА: Наука, 2009. 168 с.
- 3 Abdel-Megeed A. Controlling of Pseudomonas syringae by nanoparticles produced by Streptomyces bikiniensis // Journal of Pure and Applied Microbiology. 2013. № 2. P. 1121–1129.

растений (таблица 4). Показано, что во всех опытных образцах значения жизнеспособности не были менее 90% для пшеницы. Это позволяет утверждать, что применяемые концентрации наночастиц не оказывали токсического влияния на жизнеспособность корней.

Заключение

На основании проведенных нами исследований, можно сделать следующие выводы:

– при оценке жизнеспособности растительных клеток нами было получено, что во всех опытных образцах значения жизнеспособности были не менее 90% для растений пшеницы. Это позволяет утверждать, что применяемые концентрации наночастиц не оказывали токсического влияния на жизнеспособность корней;

– при оценке ферментативной антиоксидантной системы растений и степени перекисного окисления липидов было зафиксировано отсутствие окислительного стресса, при этом повышался защитный потенциал растений.

В научной литературе существует мнение, что воздействие ростовых стимуляторов на растительные клетки, в качестве которых могут выступать и наночастицы, что и было показано в нашей работе на примере НЧ Mo+Fe25, Fe25 и SiO₂10, состоит в том, что все эти вещества влияют на коллоидно-химические свойства протоплазмы (проницаемость, вязкость) и усиливают поступление воды и растворенных веществ в клетки растения. Также ученые отмечают, что в отличие от солей-микроэлементов наночастицы биологически активных металлов менее токсичны и имеют пролонгированное действие.

Полученные результаты морфо-физиологических и биохимических исследований показали наличие положительного действия наночастиц Fe, Mo и SiO₂, а также совместного внесения наночастиц Fe и Mo, что ставит их в разряд веществ, которые могут быть использованы в сельском хозяйстве, в частности в растениеводстве, как удобрения, повышающие урожайность сельскохозяйственных культур.

- 4 Scott-Fordsmand J.J., Krogh P.H., Schaefer M., Johansen A. The toxicity testing of double-walled nanotubes-contaminated food to Eisenia veneta earthworms // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2008. V. 71. № 3. P. 616–619.

- 5 Maehly A.C., Chance B. Methods of biochemical analysis. New York: Interscience, 1954. 454 p.

- 6 Aeby H. Catalase in vitro // Methods Enzymology. 1984. V. 105. P. 121–226.

- 7 Heath R., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // Archives of biochemistry and biophysics. 1968. V. 125. № 1. P. 189–198.

8 Esterbauer H., Schaur R.J., Zollner H. Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes // Free radical Biology and medicine. 1991. V. 11. № 1. P. 81–128.

9 Castro-Concha L.A., Escobedo R.M., de Miranda-Ham M.L. Measurement of cell viability in vitro cultures // Plant Cell Culture Protocols. 2006. P. 71–76. doi: 10.1385/1-59259-959-1:071

10 Хартманн Х.Т., Кестер Д.Е. Размножение растений. М.: Центр-полиграф, 2002. 169 с.

11 Гончар Е., Щербakov А., Лопатько К., Гончар Л. и др. Повышение эффективности микробно-растительного симбиоза путем создания композиционных биопрепаратов с использованием наночастиц биогенных металлов // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 12. С. 30–34.

REFERENCES

1 Cherukuri P., Gannon C.J., Leeuw T.K., Schmidt H.K. Mammalian pharmacokinetics of carbon nanotubes using intrinsic near-infrared fluorescence. PNAS. 2006. no. 50. pp. 18882–18886.

2 Minko N.I., Stokova V.V., Nartsev V.M., Zhernovsky I.V. Metody polucheniya i svoystva nanoob"yektov [Methods for obtaining and properties of nanoobjects: a tutorial]. Moscow, FLINTA, Nauka, 2009. 168 p. (in Russian).

3 Abdel-Megeed A. Controlling of Pseudomonas syringae by nanoparticles produced by Streptomyces bikiniensis. Journal of Pure and Applied Microbiology. 2013. no. 2. pp. 1121–1129.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ирина А. Гавриш аспирант, кафедра биохимии и микробиологии, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, пр. Победы, 13, gavrish.irina.ogu@gmail.com

Святослав В. Лебедев д.б.н., кафедра биотехнологии животного сырья и аквакультуры, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, пр. Победы, 13 lsv74@list.ru

Анастасия М. Короткова к.б.н., экспериментально-биологическая клиника (виварий), н.с. лаборатории минерального питания Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий российской академии наук, г. Оренбург, 9 Января, 29, anastasiapov@mail.ru

Ольга В. Кван научный сотрудник, институт биоэлементологии, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, пр. Победы, 13, kwan111@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 12.12.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 11.02.2019

4 Scott-Fordsmand J.J., Krogh P.H., Schaefer M., Johansen A. The toxicity testing of double-walled nanotubes-contaminated food to Eisenia veneta earthworms. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2008. vol. 71. no. 3. pp. 616–619.

5 Maehly A.C., Chance B. Methods of biochemical analysis. New York, Interscience, 1954. 454 p.

6 Aeby H. Catalase in vitro. Methods Enzymology. 1984. vol. 105. pp. 121–226.

7 Heath R., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of biochemistry and biophysics. 1968. vol. 125. no. 1. pp. 189–198.

8 Esterbauer H., Schaur R.J., Zollner H. Chemistry and biochemistry of 4 hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. Free radical Biology and medicine. 1991. vol. 11. no. 1. pp. 81–128.

9 Castro-Concha L.A., Escobedo R.M., de Miranda-Ham M.L. Measurement of cell viability in vitro cultures. Plant Cell Culture Protocols. 2006. P. 71–76. doi: 10.1385/1-59259-959-1:071

10 Hartmann H.T., Kester D.E. Razmnzheniye rasteniy [Plant reproduction]. Moscow, Tsentr-poligraf, 2002. 169 p. (in Russian).

11 Gonchar E., Shcherbakov A., Lopatko K., Gonchar L., et al. Increasing the efficiency of microbial-plant symbiosis by creating composite biologics using nanoparticles of biogenic metals. Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of the AIC]. 2013. no. 12. pp. 30–34. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Irina A. Gavrish postgraduate student, department of biochemistry and microbiology, Orenburg state university, Orenburg, Pobedy sq., 13, gavrish.irina.ogu@gmail.com

Svyatoslav V. Lebedev Doct. Sci. (Biol.), department of Animal Biotechnology and Aquaculture, Orenburg state university, Orenburg, Pobedy sq., 13 lsv74@list.ru

Anastasia M. Korotkova Cand. Sci. (Biol.), experimental-biological clinic (vivarium), Federal Scientific Center of Biological systems and agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, 9 January, 29, anastasiapov@mail.ru

Olga V. Kvan researcher, institute bioelementology, Orenburg state university, Orenburg, Pobedy sq., 13, kwan111@yandex.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 12.12.2018

ACCEPTED 2.11.2019