

ВЛИЯНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ НА ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПОЧВ

О.В. Черникова, кандидат биологических наук, Ю.А. Мажайский, доктор сельскохозяйственных наук

Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний,
390036, Рязань, ул. Сенная, 1
E-mail: chernikova_olga@inbox.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния жидкофазного биопрепарата (ЖФБ) и наночастиц кобальта при предпосевной обработке семян на фоне внесения компоста (90 % навоза крупного рогатого скота и 10 % перепревшего птичьего помета) на продуктивность и качество зеленой массы травосмеси. Работу выполняли в Рязанской области в 2019–2021 гг. на почвах трех типов (чернозем выщелоченный, дерново-подзолистая и серая лесная). Схемы лизиметрических опытов предусматривали изучение следующих вариантов: без обработки семян (контроль), обработка жидкофазным биопрепаратом (1 %), обработка наночастицами кобальта (0,01 г на гектарную норму высева семян). Использование биопрепарата и наночастиц кобальта в комплексе с органическими удобрениями в дозе 20 т/га обеспечивало повышение урожайности, по отношению к контролю, на дерново-подзолистой почве на 6,3...23,3 %, на серой лесной почве – на 3,0...8,8 %, на черноземе выщелоченном – на 0,8...16,8 %. Замачивание семян в растворе наночастиц кобальта дало наилучший в опыте эффект на серой лесной почве, увеличение урожайности составило 8,8 %. Более отзывчивыми к действию ЖФБ оказались растения на дерново-подзолистой почве и черноземе выщелоченном, где прибавка урожайности составляла 23,3 % и 16,8 % соответственно. При этом не отмечено снижения питательной ценности многолетних трав (содержания обменной энергии, кормовых единиц, перевариваемого белка). Применение наночастиц кобальта привело к увеличению содержания каротина в многолетних травах, по сравнению с вариантом без предпосевной обработки семян, на дерново-подзолистой почве на 71,4 %, на серой лесной – на 37,5 %, на черноземе выщелоченном – на 25,0 %.

THE EFFECT OF BIOSTIMULANTS ON THE PRODUCTIVITY OF PERENNIAL GRASSES GROWN ON THE MAIN TYPES OF SOILS

Chernikova O.V., Mazhaisky Yu.A.

Academy of law management of the federal penal service of Russia,
390036, Ryazan, ul. Sennaya, 1
E-mail: chernikova_olga@inbox.ru

The purpose of the research is to study the effect of liquid-phase biological preparation (LPBP) and cobalt nanoparticles during pre-sowing seed treatment against the background of applying a minimum dose of compost (90% of cattle manure and 10% of rotted bird droppings) on the productivity and quality of the green mass of the grass mixture. The work was carried out in the Ryazan region in 2019–2021 on sod-podzolic, gray forest soils and leached chernozem. A lysimetric experiment was carried out, which assumed a variant without pre-sowing seed treatment with biostimulator, as well as variants using a liquid-phase biological product (1%) and cobalt nanoparticles (0,01 g per hectare seeding rate). Pre-sowing treatment of seeds with biopreparation and cobalt nanoparticles in combination with organic fertilizers at a dose of 20 t/ha provided an increase in yield, relative to control, on sod-podzolic soil by 6,3...23,3%, on gray forest soil – by 3,0...8,8%, on leached chernozem – by 0,8...16,8%. Soaking of seeds in nutritional value of perennial herbs: metabolic energy, feed units, digested protein. The use of cobalt nanoparticles led to an increase in the content of carotene in perennial grasses compared with the control version of the experiment (without pre-sowing seed treatment) on sod-podzolic soil by 71,4%, on gray forest – by 37,5%, on leached chernozem – by 25,0%.

Ключевые слова: наночастицы кобальта, жидкофазный биопрепарат, овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds), райграс пастбищный (*Lolium perenne*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), дерново-подзолистая почва, серая лесная почва, чернозем.

Key words: cobalt nanoparticles, liquid-phase biological product, meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds), pasture ryegrass (*Lolium perenne*), meadow bluegrass (*Poa pratensis*), sod-podzolic soil, gray forest soil, chernozem.

Развитие современного растениеводства в условиях ограниченности финансовых и материальных ресурсов требует совершенствования применяемых технологий для повышения урожайности и качества производимой продукции, снижения затрат на ее производство, а также обеспечения восстановления и сохранения почвенного плодородия. Одно из направлений решения этих проблем – применение биостимуляторов роста [1, 2, 3]. Это один из самых динамичных сегментов рынка препаратов для сельскохозяйственных культур.

Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства, увеличения урожайности и качества выращенной продукции в последние годы стали широко использовать продукты нанотехнологий [4, 5, 6].

Управление биологическими процессами в агроценозах возможно через интродукцию агрономически ценных штаммов микроорганизмов в ризосферу растений, что усиливает полезное или ослабляет негативное

влияние нежелательных для реализации их потенциала факторов [7, 8, 9].

К основным механизмам положительного воздействия микроорганизмов на растения относят: повышение коэффициентов использования питательных элементов из удобрений и почвы; оптимизацию фосфорного и улучшение азотного питания; стимуляцию роста и развития растений (более быстрое развитие растений и созревание урожая); подавление развития фитопатогенов (контроль за развитием болезней и снижение поражённости ими растений, улучшение хранения продукции); повышение устойчивости к стрессовым условиям (возможность увеличения продуктивности растений на фоне водного дефицита, неблагоприятных температур, повышенной кислотности, засоления или загрязнения почвы) [10, 11, 12]. В отличие от химических средств биопрепараты обладают более выраженной избирательностью действия, они признаны безвредными для человека и животных.

Во ВНИИМЗ разработана ферментационно-экстракционная технология производства различных жидкофазных биосредств, в том числе жидкофазного биопрепарата (ЖФБ) для растениеводства и земледелия. Количество микроорганизмов (аммонифицирующих, амилолитических, фосфатмобилизирующих, аминокислотсинтезирующих и др.) в свежем биопрепарате достигает $n \times 10^9 \dots n \times 10^{12}$ КОЕ/мл, что позволяет отнести его к микробным биопрепаратам. В нем отсутствуют патогенная микрофлора и паразиты. Содержание общего азота в ЖФБ составляет 0,2...0,5 г/л, подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) – 10 и 9,5 г/л, соответственно. Кроме того, в его состав входят микроэлементы (медь, цинк, марганец, железо) и различные метаболиты микроорганизмов (сахара, ферменты, аминокислота триптофан и др.) [13, 14].

Наночастицы различного типа, размера и морфологии считаются потенциальными компонентами удобрений, регуляторов роста и пестицидов [15]. Они могут повышать продуктивность растений, поскольку стимулируют прорастание, нанокапсулы используют для доставки гербицидов и борьбы с вредителями [16]. Наноструктурированные (имеющие наноразмерную форму) микроэлементы, такие как Cu, Fe, Ni, Mn, Si, Co, Se и Zn, играют важную роль в повышении устойчивости растений к болезням путем активации ферментов и в увеличении эффективности производства энергии фотосинтетическими процессами для реализации защитных механизмов [10].

Кобальт в тканях растений содержится в ионных и комплексных соединениях. В оптимальных концентрациях этот микроэлемент способствует увеличению толщины и объема мезофилла в листьях. Он влияет на формирование и функционирование фотосинтетического аппарата растений. Этот микроэлемент способствует концентрации хлоропластов и пигментов в листьях, что связано с увеличением объема пластидного аппарата благодаря репликации и роста органелл [17]. Связь кобальта с синтезом белка может быть обусловлена участием в регулировании структуры и стабильности рибосом, а также функционировании РНК [18]. И хотя необходимое для растений количество этого микроэлемента очень невелико (до 12 мг/кг сухой массы), а его незаменимость для растений строго не доказана, кобальтовые удобрения все же способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшают качество продукции. Кроме того, кобальт способствует повышению общего содержания воды в растениях, чем повышает их засухоустойчивость [19].

Цель исследований – оценка влияния биостимуляторов и наночастиц кобальта на продуктивность многолетних трав, выращиваемых на основных типах почв (дерново-подзолистая, серая лесная, чернозем выщелоченный).

Методика. Работу выполняли на почвенном стационаре Опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева», входящем в состав учебно-научного инновационного центра «Агротехнопарк» (Рязанский район, Рязанской области). Исследования проводили в четырехкратной повторности на трех типах почв (дерново-подзолистая – ДПП, серая лесная – СЛП, чернозем выщелоченный – Ч) в лизиметрах конструкции ВНИИГиМ с ненарушенным почвенным профилем (см. рисунок).

Площадь стационарных полевых лизиметров составляла 1,13 м². Почвы характеризовались следующими агрохимическими показателями: дерново-подзолистая –

pH_{KCl} 6,0 ед., содержание гумуса – 2,3 %, подвижного фосфора и калия (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО) – соответственно 200 мг/кг и 198 мг/кг почвы, общего азота (ГОСТ Р 58596-2019) – 0,023 %; серая лесная – pH_{KCl} 6,2 ед., содержание гумуса – 2,6 %, подвижного фосфора и калия (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО) – соответственно 204 мг/кг и 219 мг/кг почвы, общего азота (ГОСТ Р 58596-2019) – 0,11 %; чернозем выщелоченный – pH_{KCl} 6,2 ед., содержание гумуса – 3,2 %, подвижного фосфора и калия (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО) – соответственно 229 мг/кг и 250 мг/кг почвы, общего азота (ГОСТ Р 58596-2019) – 0,14 %. Как видно из агрохимических показателей почвы всех трех типов характеризовались низкой обеспеченностью органическим веществом и азотом и высокой подвижным калием и фосфором для выращивания зерновых культур [20].

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов обработки семян биостимуляторами – без обработки (0), жидкофазный биопрепарат (ЖФБ), наночастицы кобальта (НЧСо).

В качестве фона вносили компост, включавший 90 % навоза крупного рогатого скота и 10 % перепревшего птичьего помета, в дозе 20 т/га. Семена перед посевом замачивали в течение 60 минут, согласно вариантам, в дистиллированной воде, в 1 %-ном жидкофазном биопрепарате и растворе наночастиц кобальта из расчета 0,01 г на гектарную норму высева семян.

В эксперименте высевали травосмесь многолетних трав на зеленый корм следующего состава: овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds) – 50 %, райграс пастбищный (*Lolium perenne*) – 40 %, мятлик луговой (*Poa pratensis*) – 10 %. После установления стабильного уровня грунтовых вод имитировали ранневесеннюю

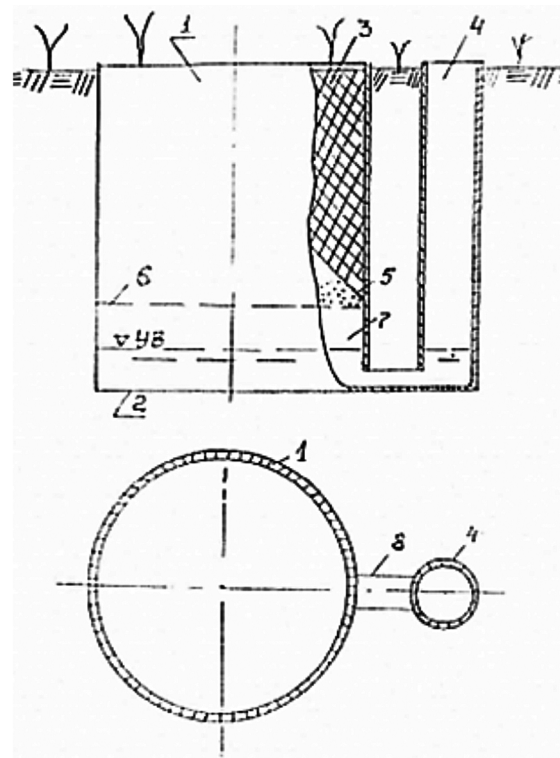


Схема водобалансового лизиметра: 1 – корпус, 2 – дно лизиметра, 3 – монолит грунта, 4 – карман для отбора воды, 5 – гравийная засыпка, 6 – сетчатый фильтр, 7 – уровень грунтовых вод, 8 – канал сообщения.

Табл. 1. Урожайность злакового сена на основных типах почв при применении биостимуляторов в годы исследований

Тип почвы	Обработка семян	Урожайность, т/га			
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
ДПП	0	2,98	3,01	3,00	3,00
	ЖФБ	3,97	3,92	3,83	3,91
	НЧСо	3,20	3,17	3,19	3,19
	среднее	3,38	3,37	3,34	3,36
	НСР _{0,95}	0,13	0,14	0,13	0,14
СЛП	0	3,30	3,29	3,28	3,29
	ЖФБ	3,38	3,42	3,37	3,39
	НЧСо	3,62	3,57	3,55	3,58
	среднее	3,44	3,43	3,40	3,52
	НСР _{0,95}	0,13	0,13	0,14	0,11
Ч	0	3,69	3,60	3,58	3,62
	ЖФБ	4,41	3,91	4,38	4,23
	НЧСо	3,95	3,93	3,94	3,94
	среднее	4,02	3,81	3,97	3,93
	НСР _{0,95}	0,15	0,16	0,15	0,17
Среднее	0	3,32	3,30	3,29	3,30
	ЖФБ	3,92	3,75	3,86	3,84
	НЧСо	3,59	3,56	3,56	3,57
	среднее	3,61	3,54	3,57	3,57

вспашку на глубину 0...25 см, непосредственно перед которой в почву вносили рассчитанную норму компоста с равномерным распределением вручную по поверхности лизиметра. Семена высевали в 7 рядков на глубину 1...2 см и прикапывали. Уборку урожая проводили в фазе колошения – начала молочной спелости семян [21]. Растения срезали на высоте 1...2 см от уровня почвы.

В лаборатории надземный урожай высушивали до постоянной массы. Содержание сухого вещества определяли в соответствии с ГОСТ 31640-2012 высушиванием при температуре 105 °С, количество обменной энергии, кормовых единиц и переваримого белка – в соответствии с методическими указаниями по оценке качества и питательной ценности кормов [22]. Содержание каротина определяли по ГОСТ 13496.17-2019 фотометрическим методом с растворением в петролейном эфире или бензине и фотометрическим измерением интенсивности окраски, нитратов – ионометрическим методом, который основан на их экстракции раствором алюмокалиевых квасцов с последующим измерением молярной концентрации с использованием ионоселективного электрода (ГОСТ 13496.19-2015).

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием аналитических пакетов «STATISTICA» и «VARIANCE».

Результаты и обсуждение. Применение биостимуляторов на фоне внесения органических удобрений способствует повышению урожайности [23]. На дерново-подзолистой почве и черноземе выщелоченном наилучший в опыте эффект обеспечило использование жидкофазного биопрепарата (табл. 1). Отмечено увеличение урожайности, по сравнению необработанным вариантом, соответственно на 0,91 т/га (23,3 %) и 0,61 т/га (16,8 %).

Более ранние исследования Смирновой Ю. Д. [24] также показали, что применение ЖФБ на яровой пшенице, выращенной на минеральном фоне (N₅₀P₅₀K₅₀), увеличивало урожай зерна на 15 %, а на органическом фоне – на 27 %. ЖФБ способствовал увеличению массы 1000 зерен на 13 %, продуктивного кущения на 10 %. Отмечено значительное увеличение содержания сырого протеина в зерне яровой пшеницы в обоих вариантах с применением удобрений.

Предпосевная обработки семян наночастицами кобальта обеспечила наилучший в опыте эффект на серой лесной почве: прибавка, в сравнении с необработанным вариантом, составила 0,29 т/га (8,8 %). Исследования, проведенные Полищук С. Д. с соавторами [25] в полевых условиях, показали, что предпосевная обработка семян пшеницы наночастицами кобальта обеспечивала увеличение урожайности в среднем на 14 %, по отношению к необработанному варианту.

Питательную ценность корма характеризует, прежде всего, содержание в нем влаги и сухого вещества. В нашем исследовании массовая доля сухого вещества составляла от 88,2 % до 89,4 % при норме не менее 83,0 % (табл. 2).

При интенсивном ведении животноводства средняя энергетическая питательность корма должны составлять не менее 9 МДж ОЭ (0,70 корм.ед.) в 1 кг сухого вещества. Этим требованиям соответствовала продукция, выращенная в следующих вариантах: на дерново-подзолистой почве при применении жидкофазного биопрепарата (9,23 МДж обменной энергии и 0,75 корм.ед.); на серой лесной почве и черноземе выщелоченном при использовании наночастиц кобальта в предпосевной обработке семян (9,30 МДж обменной энергии и 0,70 корм.ед.). В целом следует отметить,

Табл. 2. Питательная ценность многолетних трав (среднее за 2019–2021 гг.)

Тип почвы	Обработка семян	Влажность, %	Сухое вещество, %	Обменная энергия, МДж	Кормовые единицы
ДПП	0	10,63	88,83	9,13	0,68
	ЖФБ	10,83	89,14	9,23	0,75
	НЧСо	11,51	88,48	9,16	0,72
	среднее	10,99	88,82	9,17	0,72
	НСР _{0,95}	0,51	–	–	0,03
СЛП	0	10,59	89,43	9,12	0,68
	ЖФБ	11,56	88,46	9,18	0,68
	НЧСо	11,37	88,63	9,30	0,71
	среднее	11,17	88,84	9,20	0,69
	НСР _{0,95}	0,54	–	–	–
Ч	0	11,77	88,23	9,10	0,68
	ЖФБ	11,41	88,61	9,20	0,69
	НЧСо	11,76	88,26	9,30	0,70
	среднее	11,65	88,37	9,20	0,69
	НСР _{0,95}	-	–	–	–
Среднее	0	11,00	88,83	9,12	0,68
	ЖФБ	11,27	88,74	9,20	0,71
	НЧСо	11,55	88,46	9,25	0,71
	среднее	11,27	88,67	9,19	0,70

Табл. 3. Химический состав многолетних трав (среднее за 2019–2021 гг.)

Тип почвы	Обработка семян	Переваримый протеин, г/кг	Каротин, мг/кг	Нитраты, г/кг
ДПП	0	12,0	7,0	0,59
	ЖФБ	29,0	8,0	1,00
	НЧСо	29,0	12,0	0,41
	среднее	23,3	9,0	0,67
	НСР _{0,95}	1,5	1,3	0,03
СЛП	0	19,0	8,0	2,96
	ЖФБ	26,0	11,0	0,40
	НЧСо	23,0	11,0	0,64
	среднее	22,7	10,0	1,33
	НСР _{0,95}	1,86	1,3	0,08
Ч	0	22,0	8,0	2,63
	ЖФБ	30,0	10,0	4,62
	НЧСо	27,0	10,0	0,56
	среднее	26,3	9,3	2,49
	НСР _{0,95}	1,2	1,2	0,12
Среднее	0	17,7	7,7	2,06
	ЖФБ	29,7	9,7	2,01
	НЧСо	26,3	11,0	0,54
	среднее	24,1	9,4	1,50

что энергетическая ценность представленных образцов достаточно высокая.

Как известно, основным лимитирующим элементом в рационах животных выступает протеин. Недостаток белковых веществ всегда ведет к перерасходу кормов, недополучению и снижению качества продукции. Часть протеина, которая переваривается (используется животным) называется переваримым протеином. Это понятие применимо к моногастричным животным, так как у них можно четко определить, какая часть протеина от принятого с кормом количества была усвоена.

Содержание переваримого протеина в корме с необработанных вариантов на всех трех типах почв было ниже, чем при использовании биостимуляторов. Наибольшее содержание белка отмечено в продукции в вариантах ЖФБ (ДПП) и НЧСо (ДПП) – 29 г/кг, что выше, чем без обработки семян, на 58,6 %. При использовании ЖФБ на серой лесной почве величина этого показателя составила 26 г/кг, что выше, чем без обработки, на 36,4 %. На черноземе выщелоченном при использовании для предпосевной обработки семян жидкофазного биопрепарата разница составила 24,1 %. Применение наночастиц кобальта способствовало росту величины этого показателя на 22,7 % (табл. 3).

Нитраты – это промежуточная форма в процессе трансформации азота в протеин, которая содержится в травах в низких концентрациях, а в организме животного перерабатывается в нитриты. Высокое количество нитритов опасно, так как они прикрепляются к красным кровяным тельцам (корпускулам), что может привести к внезапной смерти животного. Допустимое содержание нитратов <7,5 г/кг сухого вещества. В наших экспериментах вся продукция соответствовала требованиям и была безопасна для кормления животных.

Содержание каротина – важный показатель, характеризующий качество кормов, поэтому при составлении рациона животных следует учитывать величину этого показателя. Попадая в организм животного каротин преобразуется в жизненно необходимые вещества ретиноиды (витамин А, ретиноевая кислота и др.) [26].

Использование наночастиц кобальта для предпосевной обработки семян способствовало повышению содержания каротина в вегетативной массе растений на всех трех типах почв. На дерново-подзолистой почве оно было больше, чем в необработанном варианте, на 71,4 %, на серой лесной – на 37,5 %, на черноземе выщелоченном – на 25,0 %. Благодаря высокой диффузной подвижности частиц, валентности ненасыщенных металлов и образованию большого набора хелатных соединений кобальт обеспечивает высокую биологическую эффективность. Можно предположить, что его наночастицы способствовали активации процессов синтеза каротина в зеленой массе многолетних трав.

Таким образом, биостимуляторы роста, применяемые для предпосевной обработки семян (жидкофазный биопрепарат или наночастицы кобальта), на фоне минимальной дозы органических удобрений обеспечивают повышение урожайности злаковой травосмеси на дерново-подзолистой почве на 6,3...23,3 %, на серой лесной почве – на 3,0...8,8 %, на черноземе выщелоченном – на 8,8...16,8 %. На дерново-подзолистой почве и черноземе выщелоченном лучший эффект обеспечивает жидкофазный биопрепарат, на серой лесной почве – наночастицы кобальта. При этом не происходит снижения пищевой и энергетической ценности, а сама продукция остается безопасной. Использование наночастиц кобальта приводит к достоверному увеличению содержания каротина вне зависимости от типа почв на 25,0...71,4 %, а жидкофазный биопрепарат способствует повышению его накопления на серой лесной почве и выщелоченном черноземе на 25,0...37,5 %.

Литература.

1. Васин В. Г., Вершинина О. В. Продуктивность и кормовые достоинства гороха и нута при применении современных биостимуляторов // *Кормопроизводство*. 2017. № 9. С. 28–32.
2. Приемы повышения эффективности применения биологических препаратов в растениеводстве / Г.Н. Агиева, Л.С. Нижегородцева, Р.Ж.К. Диабанкана и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 4 (60). С. 5–9.
3. Яхин О. И., Лубянов А. А., Яхин И. А. Физиологическая активность биостимуляторов и эффективность их применения // *Агрохимия*. 2016. № 6. С. 72–94.
4. Об эффективности предпосевной обработки семян озимой пшеницы наночастицами металлов / Т. А. Юрина, Г. В. Дробин, О. А. Богословская и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 135–145.
5. Показатели яровой пшеницы в ответ на обработку семян наночастицами металлов / Н. В. Давыдова, С. П. Замана, И. И. Крохмаль и др. // *Российские нанотехнологии*. 2019. Т. 14, № 11–12. С. 64–74.
6. Юрина Т. А., Глуценко Н. Н., Богословская О. А. Анализ исследований по применению препаратов на основе современных био- и нанотехнологий // *Техника и оборудование для села*. 2020. № 11 (281). С. 12–15.
7. Современные биопрепараты и стимуляторы роста в технологии возделывания подсолнечника на масло-семена / Р.М. Низамов, С.Р. Сулейманов, Ф.Н. Сафиоллин и др. // *Вестник Казанского государственного*

- аграрного университета. 2018. Т. 13. № 1 (48). С. 38–40.
8. Соболева О. М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агроценозов // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 5. С. 19–22.
 9. Влияние обработки растительных остатков сельскохозяйственных культур биопрепаратами на подвижные гумусовые вещества чернозема типичного слабоэродированного / Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов, М.Н. Масютенко и др. // *Земледелие*. 2020. № 5. С. 14–18.
 10. Черникова О. В., Амплеева Л. Е., Мажайский Ю. А. Формирование урожая кукурузы при обработке семян наночастицами селена // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 2. С. 24–27.
 11. Черемисин А.И., Кумпан В.Н. Изучения влияния применения биопрепаратов и стимуляторов роста на полезную микрофлору и продуктивность картофеля // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 13. № 4 (51). С. 91–95.
 12. Завалин А. А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: Изд-во ВНИА, 2005. 302 с.
 13. Рабинович Г. Ю., Смирнова Ю. Д., Фомичева Н. В. Исследование различных технологических приемов применения биопрепарата ЖФБ на яровой пшенице // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 5 (196). С. 20–26.
 14. Рабинович Г. Ю., Ковалев Н. Г., Смирнова Ю. Д. Применение новых биоудобрений и биопрепаратов при возделывании яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и картофеля (*Solanum tuberosum* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т. 50. № 5. С. 665–672.
 15. Vuong L. D. Nanoparticles for the Improved Crop Production. In: Panpatte D., Jhala Y. (eds) *Nanotechnology for Agriculture: Crop Production & Protection*. Springer, Singapore. 2019. С.85–106. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-32-9374-8_5 (дата обращения 22.10.2022).
 16. Емельянова А. А., Новикова А. А. Регуляторы роста, наночастицы и микроудобрения как факторы повышения урожайности растений путём обработки по вегетации в условиях стресса // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105, № 1. С. 130–138.
 17. Armstrong G. A. Eubacteria show their true colors: Genetics of carotenoid pigment biosynthesis from microbes to plants // *Journal of Bacteriology*. 1994. Vol. 176 (16). С. 4795–4802.
 18. Liaaen-Jensen S. Carotenoids in chemosystematics / eds. G. Britton, S. Liaaen-Jensen, H. Pfander. // *Biosynthesis and Metabolism: Carotenoids*. Vol. 3. Basel: Birkhauser Verlag, 1998 P. 217–247.
 19. Ecologic-biological effects of cobalt, cuprum, copper oxide nano-powders and humic acids on wheat seeds / S. D. Polishchuk, A. A. Nazarova, M. V. Kutskir, et al. // *Modern Applied Science*. 2015. Vol. 9. No. 6. P. 354–364.
 20. Самофалова И. А. Агрочововедение: учебно-методическое пособие. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2021. 127 с.
 21. Методические указания по селекции многолетних злаковых трав / В. М. Косолапов, С. И. Костенко, С.В. Пилипко и др. М.: РГАУ МСХА, 2012. 53 с.
 22. Методические указания по оценке качества и питательности кормов. М.: ЦИНАО, 2002. 76 с
 23. Features of the influence of copper nanoparticles and copper oxide on the formation of barley crop / T. Seregina, O. Chernikova, Y. Mazhayskiy, et al. // *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18. (1). С. 1010–1017.
 24. Смирнова Ю. Д. Влияние биопрепарата ЖФБ на урожайность и качество сельскохозяйственных культур // *Дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук.* – РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. М.: 2017. 166 с.
 25. Investigation of the long-term toxic effect of nanoparticles of different physical-chemical characteristics / D. G. Churilov, S. D. Polishchuk, G. I. Churilov, et al. // *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18 (3). С.1973–1991.
 26. Дронова Т. Н., Бурцева Н. И., Молоканцева Е. И. Научные результаты исследований по многолетним травам // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2017. № 3 (47). С. 46–56.

Поступила в редакцию 25.07.2022
 После доработки 26.08.2022
 Принята к публикации 29.09.2022