

Влияние обработок препаратом на основе полисульфида кальция на всхожесть семян и урожайность растений пшеницы

Р. Г. Фархутдинов¹, В. В. Федяев¹, Б. С. Ахметшин¹, М. И. Гарипова¹, М. Г. Уфимцева²

¹ Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

² Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

✉ E-mail: frg2@mail.ru

Аннотация. Для дальнейшей интенсификации процессов аграрного растениеводства необходима постоянная разработка новых препаратов, обладающих эффективной рострегулирующей активностью по отношению к сельскохозяйственным культурам и проявляющих способность к подавлению фитопатогенов, повышению качества хозяйственно-ценной продукции. **Цель исследования** состояла в изучении влияния полисульфида кальция (CaS_4) на всхожесть, параметры продуктивности растений и качество зерна мягкой яровой пшеницы при предпосевной обработке и внесении во время вегетации. **Методы.** В лабораторных условиях было исследовано влияние полисульфида кальция на всхожесть растений пшеницы. Использовали 0,1-; 0,5- и 1-процентные растворы CaS_4 , инкубируя семена в течение 1, 2 и 3 часов. Проводили определение сырой и сухой массы, длины побегов и корней, а также скорость образования супероксид-аниона, содержание пероксида водорода, определяли пероксидазную и каталазную активности, концентрацию малонового диальдегида (МДА). В полевых исследованиях семена обрабатывали раствором CaS_4 из расчета 0,6 л/г с последующим определением количества проростков, пораженных корневой гнилью. **Научная новизна.** Установлено, что препарат полисульфида кальция (CaS_4) положительно влияет на всхожесть, продуктивность и качество зерна растений мягкой яровой пшеницы. Под действием препарата изменялась активность окислительно-восстановительных процессов в растениях, что свидетельствует о роли про- и антиоксидантной системы в процессах адаптации растения к действию полисульфида кальция. **Результаты.** В результате предпосевной обработки в течение 60 мин. семян пшеницы 0,1-процентным раствором у шестисуточных проростков наблюдали увеличение длины листьев, а также благоприятное воздействие препарата на редокс-систему тканей корня. Применение раствора CaS_4 для предпосевной обработки и в период кущения в полевых условиях увеличивало урожайность на 3 ц/га и повышало содержание белка в семенах пшеницы на 8–9 %. Сделано заключение о влиянии полисульфида кальция на прорастание семян пшеницы в зависимости от концентрации и времени предпосевной обработки.

Ключевые слова: пшеница; предпосевная обработка; полисульфид кальция; редокс-система; урожайность

Для цитирования: Фархутдинов Р. Г., Федяев В. В., Ахметшин Б. С., Гарипова М. И., Уфимцева М. Г. Влияние обработок препаратом на основе полисульфида кальция на всхожесть семян и урожайность растений пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2020. № 04 (195). С. 38–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-195-4-38-46.

Дата поступления статьи: 15.11.2019.

Постановка проблемы (Introduction)

Интенсификация процессов аграрного растениеводства делает актуальными исследования по разработке, испытанию и внедрению новых препаратов, обладающих не только более эффективной рострегулирующей активностью по отношению к сельскохозяйственным культурам, но и проявляющих способность к подавлению фитопатогенов, повышению качества хозяйственно-ценной продукции и т. д., при этом более безопасных с точки зрения экологии. В числе важных задач повышения качества производимой продукции – проблема повышения содержания белка в зерне пшеницы, так как именно количество белка в зерне пшеницы напрямую определяет его пищевую ценность и стоимость [1, с. 20], [2, с. 550]. Хотя содержание белка в пшенице является генетически закрепленным

признаком, но во многом оно зависит от условий выращивания зерновых культур. Основным агротехническим способом увеличения содержания клейковины и повышения урожая являются корневые и некорневые подкормки различными химическими препаратами (удобрения и регуляторы роста) [3, с. 150], [4, с. 216]. Особенности физиологии питания сельскохозяйственных растений (особенно при интенсивных технологиях возделывания) подразумевают многократное внесение необходимых им питательных веществ в соотношениях, нужных ему в различные периоды вегетации. Подкормка в сочетании с основным удобрением дает возможность добиться такого урожая, какой нельзя получить при одновременном внесении в почву всех удобрений, даже в большой дозе, т. к. она основана на способности растений усваивать питательные вещества

поверхностью зеленых листьев и стеблей [5, с. 248]. Многолетними исследованиями показано, что содержание белка зависит как дозы основного азотного удобрения, так и от времени некорневых подкормок [6, с. 42], [7, с. 72]. Роль других элементов питания в повышении качества зерна, в частности серы, активно обсуждается в последнее время [8, с. 16], [9, с. 55].

Ранее была установлена значительная биологическая активность высокодисперсных соединений серы в наноразмерном диапазоне [10, с. 63], [11, с. 143]. Было показано, что под влиянием серосодержащих соединений увеличивается образование активных форм кислорода (АФК) в различных компартментах клетки [9, с. 60], что способствует формированию устойчивости растений к фитопатогенным грибам [12, с. 112].

В связи с этим представляется важным изучение процессов, происходящих в про- или антиоксидантной системе растений, связанных с предпосевной обработкой препаратом наноразмерной серы, а также их влияние на параметры роста и продуктивности растений пшеницы.

Методология и методы исследования (Methods)

Цель данного исследования состояла в изучении влияния предпосевной обработки семян мягкой яровой пшеницы препаратами полисульфида кальция (CaS_4) на всхожесть, параметры продуктивности растений и качество зерна.

В задачи исследования входило изучение влияния препарата на основе полисульфида кальция (CaS_4):

- на прорастание семян, накопление сырой и сухой массы, рост побегов и корней проростков;
- активность физиолого-биохимических процессов (скорость образования супероксид-аниона, активность ферментов пероксидазы и каталазы, содержание малонового диальдегида, пероксида водорода);
- урожайность, прибавку урожая, вес 1000 зерен, содержание белка в зерне;
- подавление возбудителей корневых гнилей растений пшеницы.

В условиях лаборатории объектом исследований были семена и проростки мягкой яровой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Казахстанская 10. В полевых условиях эксперименты по изучению урожайности и устойчивости растений к фитопатогенам проводили с использованием растений мягкой яровой пшеницы сорта Башкирская 26.

Влияние препарата на основе полисульфида кальция (CaS_4) на прорастание семян изучали с использованием 0,1-, 0,5-, и 1-процентных растворов (исходный коммерческий препарат учитывался как 100-процентный). В контрольном варианте семена замачивали в дистиллированной воде. В процессе предпосевной обработки 50 сухих близких по размеру зерновок помещали в 15 мл раствора и выдерживали в герметично закрытых стеклянных флаконах в течение 1, 2 или 3 часов. Затем семена промывали водопроводной водой для удаления остатков препарата, помещали в поддоны на фильтровальную бумагу и проращивали в течение суток в темном термостате при температуре 26 °С. Процент проросших семян рассчитывали с использованием суточных проростков.

Для дальнейшего выращивания одинаково проросшие семена размещали на стеклянных плотиках и культивировали методом гидропоники с использованием модифицированной питательной смеси Хогланда – Арнона (освещение 120 Вт/м², светопериод – 16 часов, средняя дневная температура 26 ± 2 °С).

Далее проводили определение сырой и сухой массы, а также длины побегов и корней проростков. Определение скорости образования супероксид-аниона производили по его реакции с адреналином путем спектрофотометрического измерения количества адrenoхрома [13, с. 770]. Измерение содержания перекиси водорода проводили методом с использованием ксиленолового оранжевого [14, с. 178]. Пероксидазную активность определяли по активности гваяколпероксидазы [15, с. 430]. Активность каталазы определяли путем спектрофотометрического измерения количества окрашенного продукта реакции пероксида водорода

Таблица 1
Зависимость всхожести семян пшеницы от времени предпосевной обработки и концентрации раствора полисульфида кальция (CaS_4)

Концентрация CaS_4 , %	Время обработки семян, ч		
	Всхожесть, %		
0 (контроль)	88	96	96
0,1	92	88	84
0,5	88	86	80
1,0	82	76	70

Table 1
The dependence of the germination of wheat seeds on the time of pre-sowing treatment and the concentration of a solution of calcium polysulfide (CaS_4)

The concentration of CaS_4 , %	Time of treatment, h		
	Germination, %		
0 (control)	88	96	96
0.1	92	88	84
0.5	88	86	80
1.0	82	76	70

и солей аммония [16, с. 6]. Содержание малонового диальдегида (МДА) определяли путем измерения образования окрашенного соединения с тиобарбитуровой кислотой [17, с. 394]. Измерение общего содержания белка проводили методом с использованием амидо черного [18, с. 354].

При проведении исследований в полевых условиях осуществляли предпосевную обработку семян 1-процентным раствором полисульфида кальция из расчета 0,6 л/т, обработку в фазе кушения проводили 2-процентным раствором из расчета 100 л/га.

Культивирование растений проводили на дерново-подзолистой, среднесуглинистой, среднекультуренной почве с 2-процентным содержанием гумуса. $pH_{\text{вод}}$ – 5,8; ЕКО – 11 мг-экв. / 100 г почвы. Предшественником в севообороте являлся чистый пар. Обработку почвы проводили путем вспашки (август 2018 года) на глубину 15–18 см отвальным плугом ПН-4-35 с предпосевной культивацией с использованием культиватора КПП-4 на глубину 5–8 см. Минеральные удобрения в предпосевной период вносили из расчета N60P60K60, после появления всходов вносили 30 кг аммиачной селитры.

Внесение раствора фунгицида ТМТД проводили согласно инструкции производителя в соотношении 3 л на 1 т семян. Подсчет количества проростков, пораженных корневой гнилью, проводили через 7 суток после посева семян. Степень биологической эффективности использованных в исследовании препаратов проводили по формуле Аббота [19, с. 177].

Планирование полевого исследования и учет результатов экспериментов выполняли в соответствии с методическими указаниями Б. А. Доспехова [20, с. 44].

Оценку урожайности проводили комбайновым методом: учетная площадь каждого экспериментального участка составлял не менее 20 м². Технологическая оценка качества зерна пшеницы была проведена согласно ГОСТ Р 54478–2011 [21]. Все измерения проводили в 4-кратной биологической и 3–6-кратной аналитической повторности. Результаты представлены как средние арифметические значения и ошибки средней.

Результаты (Results)

Применение для предпосевной обработки в течение 1 часа раствора с содержанием CaS_4 0,1 % приводило к повышению доли проросших семян на 4,5 % относительно контрольного варианта (таблица 1). Выдерживание семян в течение этого времени в растворах с концентрацией пре-

парата 0,5 и 1 % соответственно не оказывало заметного влияния или снижало всхожесть на 7 % (таблица)

Увеличение времени обработки семян до 2 и 3 часов в растворах с содержанием CaS_4 в концентрациях 0,1, 0,5 и 1 % снижало всхожесть на 8, 10,5, 21 и 12,5, 17, 27 % относительно соответствующего контроля (таблица 1).

Таким образом, согласно результатам лабораторного этапа исследования по подбору концентрации полисульфида кальция, положительно влиявшего на всхожесть семян пшеницы, в дальнейших исследованиях применялись растворы CaS_4 в концентрациях 0,1 % и 1 % (время предпосевной обработки семян – 1 час).

Определение морфометрических параметров (длина листа и корней) проростков пшеницы обнаружило возрастание величины длины первого листа на 6-е сутки выращивания после обработки семян растворами CaS_4 в концентрации 0,1 и 1 % на 14 и 21 % относительно контроля соответственно. Длина корней под влиянием препарата серы снижалась в среднем на 7 и 20 % при использовании растворов с концентрацией 0,1 и 1 % соответственно (таблица 2). Одновременно с длиной корней под влиянием препарата серы снижалась сухая масса корней в среднем на 7 и 20 % при использовании растворов с концентрацией 0,1 и 1%, соответственно (таблица 2).

Таким образом, основываясь на определении ростовых параметров проростков пшеницы, было показано стимулирующее влияние растворов CaS_4 на увеличение длины листьев при одновременном снижении длины и массы корней. Это свидетельствует о перераспределении поступления питательных веществ в пользу надземной части и том, что корневая система обеспечивает ее рост и развитие при относительно низких собственных ростовых процессах [22, с. 48], [23, с. 122].

Определение скорости образования супероксид-аниона (СОА) корнями проростков пшеницы продемонстрировало снижение данного параметра на 32,5 % у растений при использовании 0,1-процентного раствора и возрастание на 10 % в случае применения 1-процентного раствора (таблица 3). Ранее нами при применении предпосевных обработок семян пшеницы другими формами серосодержащих соединений также было установлено увеличение содержания СОА, что связывают с рострегуляторной ролью супероксид-аниона, в частности с участием в растяжении листовых пластинок растений [24, с. 50].

Таблица 2

Влияние предобработки семян растворами CaS_4 на морфометрические параметры проростков пшеницы

Концентрация CaS_4 , %	Длина, мм		Масса сухая, мг	
	Первый лист	Корень	Побег	Корень
0 (контроль)	14,1 ± 2,7	7,2 ± 2,2	11,6 ± 1,3	4,2 ± 0,7
0,1	16,3 ± 1,4	6,7 ± 1,9	12,2 ± 1,4	4,0 ± 0,5
1,0	17,1 ± 1,2	5,8 ± 1,8	11,5 ± 1,2	3,9 ± 0,6

Table 2

The effect of seed pretreatment with CaS_4 solutions on the morphometric parameters of wheat seedlings

The concentration of CaS_4 , %	Length, mm		Dry weight, mg	
	First leaf	Root	Shoot	Root
0 (control)	14.1 ± 2.7	7.2 ± 2.2	11.6 ± 1.3	4.2 ± 0.7
0.1	16.3 ± 1.4	6.7 ± 1.9	12.2 ± 1.4	4.0 ± 0.5
1.0	17.1 ± 1.2	5.8 ± 1.8	11.5 ± 1.2	3.9 ± 0.6

Таблица 3

Влияние предобработки семян растворами CaS_4 на параметры про- или антиокислительной системы проростков пшеницы

Концентрация CaS_4 , %	СОА, $\mu\text{M}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	H_2O_2 , $\mu\text{M}\cdot\text{г}^{-1}$	Пероксидаза, $\text{OE}\cdot 10^5\cdot\text{г}^{-1}$ белка	Каталаза, $\text{OE}\cdot 10^6\cdot\text{г}^{-1}$ белка	МДА, $\text{нM}\cdot\text{г}^{-1}$
0 (контроль)	$2,0 \pm 0,21$	$0,61 \pm 0,08$	$1,7 \pm 0,09$	$0,4 \pm 0,05$	$0,36 \pm 0,02$
0,1	$1,35 \pm 0,18$	$0,37 \pm 0,05$	$2,5 \pm 0,06$	$0,65 \pm 0,08$	$0,85 \pm 0,08$
1,0	$2,2 \pm 0,32$	$0,36 \pm 0,03$	$1,5 \pm 0,05$	$0,38 \pm 0,02$	$0,38 \pm 0,03$

Table 3

The effect of seed pretreatment with CaS_4 solutions on the parameters of the pro- or antioxidant system of wheat seedlings

The concentration of CaS_4 , %	SOA, $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	H_2O_2 , $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	Peroxidase, $\text{U}\cdot 10^5\cdot\text{g}^{-1}$ of protein	Catalase, $\text{AU}\cdot 10^6\cdot\text{g}^{-1}$ of protein	MDA, $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$
0 (control)	2.0 ± 0.21	0.61 ± 0.08	1.7 ± 0.09	0.4 ± 0.05	0.36 ± 0.02
0.1	1.35 ± 0.18	0.37 ± 0.05	2.5 ± 0.06	0.65 ± 0.08	0.85 ± 0.08
1.0	2.2 ± 0.32	0.36 ± 0.03	1.5 ± 0.05	0.38 ± 0.02	0.38 ± 0.03

Таблица 4

Результаты полевых испытаний яровой пшеницы сорта Башкирская 26 после обработок препаратом на основе полисульфида кальция

Вариант опыта	Норма расхода,	Урожайность, ц/га		Вес 1000 зерен (г)	Содержание белка в зерне, %
		Среднее	Прибавка урожая, ц/га к контролю		
Контроль (без обработки)	–	$18,7 \pm 0,9$	–	$34,6 \pm 0,3$	$14 \pm 0,3$
Полисульфид кальция (предпосевная обработка семян)	1 % раствор 0,6 л/т	$21,8 \pm 0,7$	3,1	$36,3 \pm 0,5$	$22 \pm 0,7$
Полисульфид кальция (обработка в фазе кущения)	2 % раствор 100 л/га	$23,6 \pm 0,8$	4,9	$38,57 \pm 0,4$	$23 \pm 0,5$

Table 4

Field test results of spring wheat of Bashkirskaya 26 cultivar after treatments with a preparation based on calcium polysulfide

Variant of experiment	Consumption rate	Productivity, ton/ha		Weight of 1000 grains, g	Content of protein in grain, %
		Average	Yield increase, c/ha to control		
Control (without treatment)	–	18.7 ± 0.9	–	34.6 ± 0.3	14 ± 0.3
Calcium polysulfide (pre-sowing seed treatment)	1 % solution 0.6 l/ton	21.8 ± 0.7	3.1	36.3 ± 0.5	22 ± 0.7
Calcium polysulfide (tillering treatment)	2 % solution 100 l/ha	23.6 ± 0.8	4.9	38.57 ± 0.4	23 ± 0.5

Измерение уровня содержания пероксида водорода (H_2O_2) в корнях проростков пшеницы обнаружило снижение его концентрации при использовании 0,1- и 1-процентных растворов в среднем на 40 % (таблица 3). В литературе имеются данные о стимулирующем влиянии перекиси водорода на рост растений [25]. В данном случае обработка препаратом снижала содержание перекиси водорода в корнях, что могло сказаться на снижении ростовых процессов.

Таким образом, можно предположить, что повышение скорости генерации супероксид-аниона в ответ на применение 1-процентного раствора CaS_4 по сравнению с остальными вариантами эксперимента, могла быть обусловлена активностью ростовых процессов побега. Подтверждением правильности наблюдения о положительном влиянии 1-процентного раствора CaS_4 может также служить значительное снижение содержания перекиси водорода в корнях растений.

Определение пероксидазной и каталазной активности растений пшеницы под влиянием препарата серы показало, что она изменялась сходным образом. Так, применение 0,1-процентного раствора CaS_4 приводило к увеличению активности обеих групп ферментов относительно контроля на 47 и 62,5 % соответственно. Предпосевная обработка семян 1-процентным раствором обуславливала незначительное снижение активности данных ферментов (на 4 % в случае гваяколпероксидазы и 5 % – каталазы) (таблица 3). Предпосевное воздействие растворов CaS_4 вызвало в растительной клетке образование активных форм кислорода (состояние окислительного стресса) и интенсификацию процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) [26, с. 34]. Как видно из таблицы 3, активность антиоксидантных ферментов была выше при применении 0,1-процентного раствора CaS_4 , что позволяет нам судить о большей физиологической активности данной концентрации по сравнению с более высокой. Механизмы, защи-

щающие растительную клетку от активных форм кислорода, достаточно универсальны для всех типов стресса и включают в себя такие ферменты, как пероксидаза, каталаза, супероксиддисмутаза, и др. [27, с. 222].

Таким образом, нами было показано, что пероксидазная и каталазная активность 6-суточных проростков пшеницы зависела от концентрации растворов препарата серы при предпосевной обработке семян. Использование 0,1-процентного раствора полисульфида серы приводило к стимуляции данных ферментов, что, вероятно, способствовало снижению содержания пероксида водорода в тканях корней проростков пшеницы. В данном случае пониженный уровень содержания пероксида водорода в корнях растений, предобработанных 1-процентным раствором CaS_4 , не сопровождался повышением активности указанных ферментов, что могло быть обусловлено участием других компонентов антиокислительной системы растений.

Определение содержания малонового диальдегида (МДА) – продукта перекисного окисления липидов – показало его высокую концентрацию у растений после предобработки семян 0,1-процентным раствором препарата серы (на 136 % выше относительно контроля). При использовании 1-процентного раствора уровень содержания МДА повышался только на 5,5 %, относительно контроля (таблица 3). МДА может быть использован как биологический индикатор развития окислительного стресса растений [28, с. 407]. Данные результаты могут быть объяснены более высокой скоростью роста в побегах растений предобработанных 0,1-процентным раствором, что также приводит к повышению уровня содержания МДА.

Эксперименты по полевым испытаниям препарата полисульфида серы проводили в 2019 году.

Как видно из таблицы 4, как предпосевная (1-процентным раствором), так и обработка в фазе кущения (2-процентным раствором) приводили к увеличению массы 1000 зерен на 2–4 г. Выбор более высокой концентрации полисульфида кальция для обработки растений пшеницы в фазе кущения связан с более высокой фунгицидной эффективностью данной концентрации по сравнению с 1-процентным раствором [10, с. 62]. Урожайность также возросла под действием обработок препарата полисульфида серы. При предпосевной обработке итоговая урожайность возросла по сравнению с контролем на 3,1 ц/га, при дополнительной обработке растений в фазе кущения – на 4,8 ц/га. Содержание белка в зерне также было выше на 8–9 % у растений пшеницы, обработанных препаратом полисульфида серы (таблица 4). Сера входит в состав основных структурных элементов белков, и от доступности этого элемента во многом зависит уровень содержания и качество белков зерна [29, с. 29]. Сера также входит в состав нескольких основных аминокислот (цистеин, метионин, треонин и лизин), которые обеспечивают ценность пшеничной муки. Сера играет большую роль в окислительно-восстановительных процессах, в активировании фермен-

тов, синтезе белков, участвует в синтезе хлорофилла. В молодых органах растений, где преобладают синтетические процессы, сера находится в основном в восстановленной форме [30, с. 436]. По мере старения в растениях процессы гидролиза превалируют над синтезом, возрастает количество окисленных форм соединений серы. Работы последних лет подтвердили участие серы в ассимиляции нитратов растениями. Установлено, что серосодержащие удобрения способствуют сдерживанию накопления нитратов в сельскохозяйственных культурах [31, с. 58].

В полевых условиях было проведено изучение влияния препарата CaS_4 на подавление возбудителей корневых гнилей растений пшеницы. У необработанных контрольных семян пораженность фитопатогенами составляла 65 %. В литературе обсуждаются фунгицидные свойства полисульфида серы по отношению к томатам и винограду [32, с. 28], поэтому представляла интерес оценка фунгицидных свойств полисульфида серы при применении препарата на сельскохозяйственных злаковых.

В качестве стандартного препарата сравнения был использован ТМТД (бис-(диметилтиокарбомил)-дисульфид) – препарат контактного действия, применяемый для протравливания семян и подавления роста корневых гнилей [33, с. 72].

Эффективность фунгицидной активности препаратов оценивали по степени подавления развития возбудителей корневых гнилей (*Helminthosporium sp.*, *Fusarium sp.* и др.). Влияние препаратов на фитопатогены определяли путем вычисления процентного содержания незараженных семян. Определение показателей всхожести семян и пораженности проростков фитопатогенами проводили на 7-е сутки после посева. В результате предпосевной обработки семян было показано, что препарат ТМТД был наиболее эффективен и уничтожал 100 % фитопатогенов. В случае полисульфида кальция наблюдали фунгицидную активность в 70 % случаев. Таким образом, по фунгицидной эффективности полисульфид кальция уступал более токсичному препарату ТМТД.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По результатам исследований, проведенных в лабораторных и полевых условиях, установлено положительное влияние полисульфида серы (CaS_4) на ростовые показатели, активность физиолого-биохимических процессов и урожайность растений мягкой яровой пшеницы. Действие препарата на активность окислительно-восстановительных процессов зависело от его концентрации. Препарат полисульфида кальция повышал показатели урожайности и качества зерна пшеницы, оказывал заметное фунгицидное действие в отношении возбудителей корневых гнилей у пшеницы.

Рекомендуется использование препарата полисульфида кальция для предпосевной обработки семян мягкой пшеницы 1-процентным раствором (0,6 л/т) с последующей обработкой растений в фазе кущения 2-процентным раствором (100 л/га).

Библиографический список

1. Кондратенко Е. П., Егушова Е. А., Косолапова А. А., Сергеева И. А. Накопление белка и клейковины в зерне раннеспелых и среднеранних сортов яровой пшеницы на серых лесных почвах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (137). С. 17–22.

2. Tan D., Fan Y., Liu J., Zhao J., Ma Y., Li Q. Winter wheat grain yield and quality response to straw mulching and planting pattern // *Agricultural research*. 2019. Vol. 8. Iss. 4. Pp. 548–552. DOI: 10.1007/s40003-019-00401-1.
3. Sood G., Kaushal R., Panwar G., Dhiman M. Effect of indigenous plant growth-promoting rhizobacteria on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity and soil nutrients // *Communications in soil science and plant analysis*. 2019. Vol. 50. Iss. 2. Pp. 141–152. DOI: 10.1080/00103624.2018.1556282.
4. Sadak M. S., Bakry A. B., Taha M. H. Physiological role of trehalose on growth, some biochemical aspects and yield of two flax varieties grown under drought stress // *Plant Archives*. 2019. Vol. 19. Pp. 215–225.
5. Якушкина Н. И., Бахтенко Е. Ю. Физиология растений: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 032400 «Биология». М. : ВЛАДОС, 2005. 463 с.
6. Иванов И. И., Трапезников В. К., Веселов С. Ю., Фархутдинов Р. Г., Кудоярова Г. Р. Системная реакция растений на локальное воздействие минерального питания. Уфа : РИЦ БашГУ, 2015. 236 с.
7. Завалин А. А., Соколов О. А. Коэффициент использования растениями азота удобрений и его регулирование // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2019. № 4. С. 71–75. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-14070.
8. Маслова И. Я. Оптимизация питания яровой пшеницы серой // *Земледелие*. 2010. № 1. С. 16–17.
9. Федяев В. В., Фархутдинов Р. Г., Массалимов И. А., Цветков В. О., Ишмухаметов А. А., Ярмухаметова И. А., Латыпов Р. Н., Ямалеева А. А. Влияние полисульфида кальция на морфометрические и физиолого-биохимические процессы растений пшеницы. // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2018. № 2. С. 55–62. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-55-62.
10. Массалимов И. А., Давлетов Р. Д., Гайфуллин Р. Р., Зайнитдинова Р. М., Шайнурова А. Р., Мустафин А. Г. Наноразмерная сера – эффективный фунгицид и стимулятор роста пшеницы // *Вестник защиты растений*. 2013. № 4. С. 61–63.
11. Массалимов И. А., Давлетшин Р. Р., Гайфуллин Р. М., Зайнитдинова Л. Р., Мусавирова Р. Д. Сравнение биологических свойств наночастиц серы и известных пестицидов // *Башкирский химический журнал*. 2013. Т. 20. № 3. С. 142–144.
12. Набеева Р. А., Фархутдинов Р. Г. Влияние предпосевной обработки серосодержащими соединениями на рост, развитие, устойчивость к фитопатогенам и продуктивность растений пшеницы. Уфа : РИЦ БашГУ, 2016. 136 с.
13. Часов А. В., Минибаева Ф. В. Действие экзогенных фенолов на супероксидобразующую способность экстраклеточной пероксидазы корней проростков пшеницы // *Биохимия*. 2009. Т. 74. № 7. С. 766–774.
14. Suárez L., Savatin D. V., Salvi G., De Lorenzo G., Cervone F., Ferrari S. The non-traditional growth regulator pectimorf is an elicitor of defense responses and protects arabidopsis against *Botrytis cinerea* // *Journal of plant pathology*. 2013. Vol. 95. No. 1. Pp. 177–180.
15. Розина С. А., Макурина О. Н., Гончарук А. С. Влияние ксенобиотиков на полифенолоксидазную и аскорбинатоксидазную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* // *Поволжский экологический журнал*. 2013. № 4. С. 427–432.
16. Дмитриюкова М. Ю., Баймиев А. Х., Рахманкулова З. Ф. Влияние экспрессии гена леггемоглобина сои на антиоксидантную систему трансгенных растений табака // *Вестник ОГУ*. 2010. № 12 (118). С. 4–8.
17. Taylor N. L., Millar A. H. Oxidative stress and plant mitochondria // *Methods in Molecular Biology*. 2007. Vol. 372. Pp. 389–403. DOI: 10.1007/978-1-59745-365-3_28.
18. Бузун Г. А., Джемухадзе К. М., Милешко Л. Ф. Определение белка в растениях с помощью амидо черного // *Физиология растений*. 1982. № 29. С. 350–358.
19. Попов С. Я., Дорожкина Л. А., Калинин В. А. Основы химической защиты растений. Под ред. профессора С. Я. Попова. М. : Арт-Лион, 2003. 208 с.
20. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. Стереотип. изд., перепеч. с 5-го изд., доп. и перераб. 1985 г. М. : Альянс, 2014. 351 с.
21. ГОСТ Р 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/51588> (дата обращения: 22.04.2019).
22. Высоцкая Л. Б., Веселов Д. С., Фархутдинов Р. Г., Веселов С. Ю. Гормональная регуляция водного обмена и роста растений на разных фонах минерального питания и при дефиците воды. Уфа : РИЦ БашГУ, 2014. 244 с.
23. Кулуев Б. Р., Бережнева З. А., Михайлова Е. В., Чемерис А. В. Рост трансгенных растений табака с измененной экспрессией генов экспансинов при действии стрессовых факторов // *Физиология растений*. 2018. Т. 65. № 2. С. 121–132.
24. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Окислительный стресс и состояние антиоксидантной системы в колеоптилях пшеницы при действии пероксида водорода и нагрева // *Вестник Харьковского национального аграрного университета. Сер. Биология*. 2008. Вып. 2 (14). С. 42–52.
25. Набеева Р. А., Федяев В. В., Фархутдинов Р. Г., Ярмухаметова И. А., Хайруллина Р. Р., Ямалеева А. А., Ибрагимов А. Г. Влияние некоторых фунгицидных препаратов на окислительно-восстановительный обмен растений пшеницы [Электронный ресурс] // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22332> (дата обращения: 07.01.2020).
26. Прудников П. С., Кривушина Д. А., Гуляева А. А. Реакция антиоксидантной системы и интенсивность перекисного окисления липидов *Prúnus cerásus* L. в ответ на действие гипертермии // *Вестник аграрной науки*, 2018. №. 1 (70). С. 30–35.

27. Колесниченко В. В., Колесниченко А. В. Изучение влияния высокой концентрации кадмия на функционирование антиоксидантных систем этиолированных проростков пшеницы разной длины // Журнал стресс-физиологии и биохимии. 2011. Т. 7. № 3. С. 212–221.
28. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // Trends in plant science. 2002. Vol. 7. Pp. 405–410. DOI: 10.1016/s1360-1385(02)02312-9.
29. Костин В. И., Мударисов Ф. А., Семашкина А. И. Влияние серосодержащих удобрений при ранневесенней подкормке на урожайность и качество озимой пшеницы // Нива Поволжья. 2018. № 1 (46). С. 29–35.
30. Минеев В. Г. Агротехнология: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство МГУ, Издательство «КолосС», 2004. 720 с.
31. Захарова Д. А., Куликова А. Х., Карпов А. В. Влияние обработки семян серосодержащими удобрениями на продуктивность и качественные показатели зерна яровой пшеницы // Вестник Ульяновской ГСХА. 2018. № 2 (42). С. 54–59.
32. Массалимов И. А., Ярмухаметова И. А., Ахметшин Б. С., Самсонов М. Р. Фунгицидные свойства полисульфида кальция // Защита и карантин растений. 2018 № 10. С. 27–28.
33. Курамшина З. М., Хайруллин Р. М., Андреева И. Г. Влияние протравителей семян на микоризацию корней культурных растений // Агротехнология. 2014. № 1. С. 71–74.

Об авторах:

Рашит Габдулхаевич Фархутдинов¹, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биохимии и биотехнологии, ORCID 0000-0002-2541-8994, AuthorID 89556; frg2@mail.ru

Вадим Валентинович Федяев¹, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биохимии и биотехнологии, ORCID 0000-0003-3373-9445, AuthorID 95398; vadim.fedyayev@gmail.com

Булат Салаватович Ахметшин¹, аспирант кафедры физической химии и химической экологии, ORCID 0000-0002-8849-402X, AuthorID 158649

Маргарита Ивановна Гарипова¹, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биохимии и биотехнологии, ORCID 0000-0001-7157-6806, AuthorID 97364; margaritag@list.ru

Марина Геннадьевна Уфимцева², кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и рационального природопользования, ORCID 0000-0001-9830-7139, AuthorID 458816; yfim@mail.ru

¹ Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

² Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

The effect of treatments with a preparation based on calcium polysulfide on seed germination and yield of wheat plants

R. G. Farkhutdinov[✉], V. V. Fedyayev¹, B. S. Akhmetshin¹, M. I. Garipova¹, M. G. Ufimtseva²

¹ Bashkir State University, Ufa, Russia

² State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

[✉]E-mail: frg2@mail.ru

Abstract. For the further intensification of the processes of agricultural crop production, the permanent development of new preparations with effective growth-regulating activity in relation to crops and exhibit the ability to suppress phytopathogens and improve the quality of economically valuable products is required. The **purpose** of the investigation was to study the effect of pre-sowing treatment of wheat seeds with calcium polysulfide (CaS₄) preparations on germination, plant productivity parameters, and grain quality. **Methods.** In laboratory conditions, the effect of calcium polysulfide on the germination of wheat plants was investigated. 0.1; 0.5 and 1 % of CaS₄ solutions for incubating the seeds during 1, 2 and 3 hours were used. Fresh and dry mass, shoot and root lengths, as well as the rate of formation of superoxide anion and hydrogen peroxide content, were determined, peroxidase and catalase activity and malondialdehyde (MDA) concentration were detected. Infield studies seeds were treated with CaS₄ solution at a rate of 0.6 l/t, followed by determination of the number of seedlings affected by root rot. **Results.** As a result of one-hour presowing treatment of seeds with a 0.1% solution in six-day-old seedlings, an increase in leaf length was observed, as well as a beneficial effect of the drug on the redox system of root tissues. The use of CaS₄ solution for pre-sowing treatment and during heading in the field increased the yield by 3 quintals/ha and increased the protein content in wheat seeds by 8–9 %. A conclusion is drawn on the effect of calcium polysulfide on the germination of wheat seeds depending on the concentration and time of pre-sowing treatment.

Keywords: wheat; pre-sowing treatment; calcium polysulfide; redox system; productivity.

For citation: Farkhutdinov R. G., Fedyayev V. V., Akhmetshin B. S., Garipova M. I., Ufimtseva M. G. Vliyanie obrabotok preparatom na osnove polisul'fida kal'tsiya na vskhozhest' semyan i urozhaynost' rasteniy pshenitsy [The effect of treatments with a preparation based on calcium polysulfide on seed germination and yield of wheat plants] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 04 (195). Pp. 38–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-195-4-38-46. (In Russian.)

Paper submitted: 15.11.2019.

References

1. Kondratenko E. P., Egushova E. A., Kosolapova A. A., Sergeeva I. A. Nakoplenie belka i kleykoviny v zerne rannespelykh i srednerannikh sortov yarovoy pshenitsy na serykh lesnykh pochvakh. [Protein and gluten accumulation in the grain of early-ripening and middle-early varieties of spring wheat on gray forest soils] // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. No. 3 (137). Pp. 17–22. (In Russian.)
2. Tan D., Fan Y., Liu J., Zhao J., Ma Y., Li Q. Winter wheat grain yield and quality response to straw mulching and planting pattern // Agricultural research. 2019. Vol. 8. Iss. 4. Pp. 548–552. DOI: 10.1007/s40003-019-00401-1.
3. Sood G., Kaushal R., Panwar G., Dhiman M. Effect of indigenous plant growth-promoting rhizobacteria on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity and soil nutrients // Communications in soil science and plant analysis. 2019. Vol. 50. Iss. 2. Pp. 141–152. DOI: 10.1080/00103624.2018.1556282.
4. Sadak M. S., Bakry A. B., Taha M. H. Physiological role of trehalose on growth, some biochemical aspects and yield of two flax varieties grown under drought stress // Plant Archives. 2019. Vol. 19. Pp. 215–225.
5. Yakushkina N. I., Bakhtenko E. Yu. Fiziologiya rasteniy: uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti 032400 "Biologiya" [Plant physiology: textbook for university students enrolled in the specialty 032400 "Biology"]. Moscow : VLADOS, 2005. 463 p. (In Russian.)
6. Ivanov I. I., Trapeznikov V. K., Veselov S. Yu., Farkhutdinov R. G., Kudoyarova G. R. Sistemnaya reaktsiya rasteniy na lokal'noe vozdeystvie mineral'nogo pitaniya [The systemic reaction of plants to the local effects of mineral nutrition]. Ufa : RITs BashGU, 2015. 236 p. (In Russian.)
7. Zavalin A. A., Sokolov O. A. Koeffitsient ispol'zovaniya rasteniyami azota udobreniy i ego regulirovanie [Utilization by plants of nitrogen fertilizer and its regulation] // International Agricultural Journal. 2019. No. 4. Pp. 71–75. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-14070. (In Russian.)
8. Maslova I. Ya. Optimizatsiya pitaniya yarovoy pshenitsy seroy. [Optimization of nutrition of spring wheat by sulfur] // Zemledelie. 2010. No. 1. Pp. 16–17. (In Russian.)
9. Fedyaev V. V., Farkhutdinov R. G., Massalimov I. A., Tsvetkov V. O., Ishmukhametov A. A., Yarmukhametova I. A., Latypov R. N., Yamaleeva A. A. Vliyanie polisul'fida kal'tsiya na morfometricheskie i fiziologo-biokhimicheskie protsessy rasteniy pshenitsy. [Effects of calcium polysulphide on morphometric, physiological and biochemical processes in wheat.] // Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2018. No. 2. Pp. 55–62. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-55-62. (In Russian.)
10. Massalimov I. A., Davletov R. D., Gayfullin R. R., Zaynitdinova R. M., Shaynurova A. R., Mustafin A. G. Nanorazmernaya sera – effektivnyy fungitsid i stimulyator rosta pshenitsy [Nanosize sulfur is effective fungicide and growth regulator for wheat.] // Plant Protection News. 2013. No. 4. Pp. 61–63. (In Russian.)
11. Massalimov I. A., Davletshin R. R., Gayfullin R. M., Zaynitdinova L. R., Musavirova R. D. Sravnenie biologicheskikh svoystv nanochastits sery i izvestnykh pestitsidov [Comparison of the biological properties of sulfur nanoparticles with known pesticides.] // Bashkir Chemical Journal. 2013. T. 20. No. 3. Pp. 142–144. (In Russian.)
12. Nabeeva R. A., Farkhutdinov R. G. Vliyanie predposevnoy obrabotki serosoderzhashchimi soedineniyami na rost, razvitie, ustoychivost' k fitopatogenam i produktivnost' rasteniy pshenitsy [Influence of presowing treatment with sulfur-containing compounds on the growth, development, resistance to phytopathogens and productivity of wheat plants.]. Ufa : RITs BashGU, 2016. 136 p. (In Russian.)
13. Chasov A. V., Minibayeva F. V. Effect of exogenous phenols on superoxide production by extracellular peroxidase from wheat seedling roots. Biochemistry (Moscow). 2009. Vol. 74. No. 7. Pp. 766–774. DOI: 10.1134/S0006297909070098.
14. Suárez L., Savatin D. V., Salvi G., De Lorenzo G., Cervone F., Ferrari S. The non-traditional growth regulator pectimorf is an elicitor of defense responses and protects arabidopsis against *Botrytis cinerea* // Journal of plant pathology. 2013. Vol. 95. No. 1. Pp. 177–180.
15. Rozina S. A., Makurina O. N., Goncharuk A. S. Vliyanie ksenobiotikov na polifenoloksidaznyuyu i askorbinatoksidaznyuyu aktivnost' v tkanyakh vodnogo pogruzhennogo rasteniya *Ceratophyllum demersum* [Xenobiotic effects on polyphenoloxidase and ascorbate oxidase activities in the water-submerged plant *Ceratophyllum demersum*] // Povolzhskiy Journal of Ecology. 2013. No. 4. Pp. 427–432. (In Russian.)
16. Dmitryukova M. Yu., Baymiev A. Kh., Rakhmankulova Z. F. Vliyanie ekspressii gena leggemoglobina soi na antioksidantnyuyu sistemu transgennykh rasteniy tabaka [Influence of expression of the gene of soy leghemoglobin on antioxidant system of transgenesis tobacco plant] // Vestnik of the Orenburg State University. 2010. No. 12 (118). Pp. 4–8. (In Russian.)
17. Taylor N. L., Millar A. H. Oxidative stress and plant mitochondria // Methods in Molecular Biology. 2007. Vol. 372. Pp. 389–403. DOI: 10.1007/978-1-59745-365-3_28.
18. Buzun G. A., Dzhemukhadze K. M., Milesenko L. F. Opredelenie belka v rasteniyakh s pomoshch'yu amido chernogo [Determination of protein in plants using amid black] // Russian Journal of Plant Physiology. 1982. No. 29. Pp. 350–358. (In Russian.)
19. Popov S. Ya., Dorozhkina L. A., Kalinin V. A. Osnovy khimicheskoy zashchity rasteniy [Fundamentals of chemical plant protection] / Under the editorship of professor S. Ya. Popov. Moscow : Art-Lion, 2003. 208 p. (In Russian.)
20. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): uchebnik dlya vysshikh sel'skokhozyaystvennykh uchebnykh zavedeniy [Methods of field experiment (with the basics of statistical process-

ing of research results): a textbook for higher agricultural educational institutions]. Stereotype edition, reprinted from the 5th edition, supplemented and revised 1985 g. Moscow : Al'yans, 2014. 351 p. (In Russian.)

21. GOST R 54478-2011 Zerno. Metody opredeleniya kolichestva i kachestva kleykoviny v pshenitse [Methods for determining the quantity and quality of gluten in wheat] [e-resource]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/51588> (appeal date: 22.04.2019). (In Russian.)

22. Vysotskaya L. B., Veselov D. S., Farkhutdinov R. G., Veselov S. Yu. Gormonal'naya regulyatsiya vodnogo obmena i rosta rasteniy na raznykh fonakh mineral'nogo pitaniya i pri defitsite vody [Hormonal regulation of water metabolism and plant growth against different backgrounds of mineral nutrition and water deficiency]. Ufa : RITs BashGU, 2014. 244 p. (In Russian.)

23. Kuluev B. R., Berezheva Z. A., Mikhaylova E. V., Chemeris A. V. Growth of transgenic tobacco plants with changed expression of genes encoding expansins under the action of stress factors // Russian Journal of Plant Physiology. 2018. T. 65. No. 2. Pp. 211–221. DOI: 10.7868/S0015330318020045

24. Kolupaev Yu. E., Karpets Yu. V. Okislitel'nyy stress i sostoyanie antioksidantnoy sistemy v koleoptilyakh pshenitsy pri deystvii peroksida vodoroda i nagreva [Oxidative stress and the state of antioxidative system in wheat coleoptiles at the action of hydrogen peroxide and heating] // The bulletin of the Kharkiv national agricultural university of v. V. Dokuchaeva. Series Biology. 2008. Iss. 2 (14). Pp. 42–52. (In Russian.)

25. Nabeeva R. A., Fedyayev V. V., Farkhutdinov R. G., Yarmukhametova I. A., Khayrullina R. R., Yamaleeva A. A., Ibragimov A. G. Vliyanie nekotorykh fungitsidnykh preparatov na okislitel'no-vosstanovitel'nyy obmen rasteniy pshenitsy [Influence of some fungicide on the redox exchange wheat germ] // Modern problems of science and education. 2015. No. 5. (In Russian.)

26. Prudnikov P. S., Krivushina D. A., Gulyaeva A. A. Reaktsiya antioksidantnoy sistemy i intensivnost' perekisnogo okisleniya lipidov *Prunus cerásus* L. v otvet na deystvie gipertermii [Reaction of antioxidant system and intensity of oversour lipids oxidation of *Prunus cerásus* L. in response to the hyperthermia effect] // Bulletin of agrarian science. 2018. No. 1 (70). Pp. 30–35. (In Russian.)

27. Kolesnichenko V. V., Kolesnichenko A. V. Izuchenie vliyaniya vysokoy kontsentratsii kadmiya na funktsionirovanie antioksidantnykh sistem etiolirovannykh prorstkov pshenitsy raznoy dliny [The influence of high Cd²⁺ concentration on antioxidant system of wheat etiolated shoots with different length] // Journal of stress-physiology and biochemistry. 2011. T. 7. No. 3. Pp. 212–221. (In Russian.)

28. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // Trends in plant science. 2002. Vol. 7. Pp. 405–410. DOI: 10.1016/s1360-1385(02)02312-9.

29. Kostin V. I., Mudarisov F. A., Semashkina A. I. Vliyanie serosoderzhashchikh udobreniy pri rannevesenney podkormke na urozhaynost' i kachestvo ozimoy pshenitsy [Influence of sulfur-containing fertilizers during early-spring top dressing on productivity and quality of the winter wheat] // Niva Povolzhya. 2018. No. 1 (46). Pp. 29–35. (In Russian.)

30. Mineev V. G. Agrokhimiya: uchebnik [Agrochemistry: schoolbook]. 2nd edition, revised and supplemented. Moscow : Izdatel'stvo MGU, Izdatel'stvo "KolosS", 2004. 720 p. (In Russian.)

31. Zakharova D. A., Kulikova A. Kh., Karpov A. V. Vliyanie obrabotki semyan serosoderzhashchimi udobreniyami na produktivnost' i kachestvennye pokazateli zerna yarovoy pshenitsy [Influence of seed treatment with sulfur-containing fertilizers on productivity and quality parameters of spring wheat grain] // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2018. No. 2 (42). Pp. 54–59. (In Russian.)

32. Massalimov I. A., Yarmukhametova I. A., Akhmeshin B. S., Samsonov M. R. Fungitsidnye svoystva polisul'fida kal'tsiya [Fungicidal properties of calcium polysulfide] // Zashchita i karantin rasteniy. 2018. No. 10. Pp. 27–28 (In Russian.)

33. Kuramshina Z. M., Khayrullin R. M., Andreeva I. G. Vliyanie protraviteley semyan na mikorizatsiyu korney kul'turnykh rasteniy [Effect of seed disinfectants on the mycorrhization of crop roots] // Agrokhimiya. 2014. No. 1. Pp. 71–74. (In Russian.)

Authors' information:

Rashit G. Farkhutdinov¹, doctor of biological sciences, professor, head of the chair of biochemistry and biotechnology, ORCID 0000-0002-2541-8994, AuthorID 89556; frg2@mail.ru

Vadim V. Fedyayev¹, candidate of biological sciences, assistant professor, chair of biochemistry and biotechnology, ORCID 0000-0003-3373-9445, AuthorID 95398; vadim.fedyayev@gmail.com

Bulat S. Akhmetshin¹, postgraduate of department of physical chemistry and chemical ecology, ORCID 0000-0002-8849-402X, AuthorID 158649

Margarita I. Garipova¹, doctor of biological sciences, associate professor, professor of department of biochemistry and biotechnology, ORCID 0000-0001-7157-6806, AuthorID 97364; margaritag@list.ru

Marina G. Ufimtseva¹, candidate of agricultural sciences, assistant professor of the department of ecology and environmental management, ORCID 0000-0001-9830-7139, AuthorID 458816; yfim@mail.ru

¹ Bashkir State University, Ufa, Russia

² State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia