

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 633.31/.37:631.8

Влияние меди на прорастание семян и рост растений семейства Fabaceae

Блинохватова Ю.В., Нуштаева А.В.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования по воздействию солей меди различных концентраций на семена районированных сортов гороха и чечевицы. По результатам лабораторного опыта положительное влияние ионов меди выявлено при концентрациях 1-10 мг/л. Наиболее оптимальная концентрация ионов меди Cu^{2+} в форме сульфата по разным показателям составила 5-8 мг/л для гороха. В параллельных опытах с семенами чечевицы было установлено, что заметное увеличение длины и массы ростков примерно на 20% наблюдается при концентрациях ионов Cu^{2+} 5-15 мг/л, в большей степени для хлорида меди, чем для сульфата. А масса корешков более отзывчива при обработке семян растворами 5-10 мг/л ионов Cu^{2+} в форме хлорида. Оптимальная концентрация хлорида меди в наших опытах с чечевицей соответствовала порядка 5 мг/л Cu^{2+} .

Ключевые слова: проростки семян, бобовые, хлориды меди, сульфаты меди, биомасса.

Для цитирования: Блинохватова Ю.В., Нуштаева А.В. Влияние меди на прорастание семян и рост растений семейства Fabaceae // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 3. С. 61–66.

Effect of copper on seed germination and growth of Fabaceae plants

Blinokhvatova Yu.V., Nushtaeva A.V.

Abstract. The article presents the results of a study on the effects of copper salts of various concentrations on seeds of zoned varieties of peas and lentils. According to the results of laboratory experience, the positive effect of copper ions was revealed at concentrations of 1-10 mg/l. The most optimal concentration of Cu^{2+} copper ions in the form of sulfate according to various indicators was 5-8 mg/l for peas. In parallel experiments with lentil seeds, it was found that a noticeable increase in the length and mass of sprouts by about 20% is observed at concentrations of Cu^{2+} ions 5-15 mg/l, to a greater extent for copper chloride than for sulfate. And the mass of the roots is more responsive when treating seeds with solutions of 5-10 mg/l of Cu^{2+} ions in the form of chloride. The optimal concentration of copper chloride in our experiments with lentils corresponded to about 5 mg/l Cu^{2+} .

Keywords: seed sprouts, legumes, copper chlorides, copper sulfates, biomass.

For citation: Blinokhvatova Yu.V., Nushtaeva A.V. Effect of copper on seed germination and growth of Fabaceae plants. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2024. Vol. 11. No. 3. pp. 61–66. (In Russ.).

Введение

Растения в разные периоды роста и развития предъявляют неодинаковые требования к условиям внешней среды, в том числе к условиям питания. Поглощение элементов питания в период роста растений происходит неравномерно. Недостаточная обеспеченность питания в тот или иной период их жизни ведёт к снижению урожая и ухудшению его качества. Первым критическим периодом является фаза всходов.

Медь (Cu) - микроэлемент, необходимый для нормального роста и функционирования растений, она содержится в качестве структурного компонента, в соединениях с белком и в ферментах. Медь входит в состав ферментов полифенолоксидаз, участвующих в окислительно-восстановительных процессах, катализирующих окисление дифенолов и гидрокселирование монофенолов [1-7]. Медь содержится в составе ферментов аскорбатоксидазы (оксидаза аскорбиновой кислоты). Медь выполняет водоудерживающую функцию, играет важную роль в фотосинтезе, образовании хлорофилла. Медьсодержащий фермент - цитохромоксидаза - стабилизирует действие хлорофилла, задерживает процесс старения листа, регулирует содержание в растениях и активность ауксинов и ингибиторов роста фенольной природы. Медьсодержащий белок - пластоцианин - является переносчиком электронов при фотосинтезе. При недостатке меди повышается интенсивность дыхания, что ведёт к разрушению хлорофилла, снижению образования углеводов. Это приводит к хлорозу листьев, к побелению их кончиков, зерновые легче поражаются шведской мухой [1-3, 8]. Медь способствует синтезу белков, сахаров пентозанов и жира.

Доказано значение меди в переработке аммиака в белок. Медь принимает участие в азотном обмене, входя в состав нитритредуктазы, который способствует связыванию бобовыми молекулярного азота атмосферы, усвоению всеми культурами азота почвы и удобрений [8]. Описана взаимосвязь между действием меди и гетероауксина (фитогормон, природный стимулятор роста), которая выражается в повышении всхожести семян [8].

В соединениях с серой (сульфат меди CuSO_4 или медный купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и хлором (хлорид меди CuCl_2 или хлорокись меди $\text{Cu}_2\text{OCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) медь способствует повышению устойчивости растений к грибковым и бактериальным заболеваниям [3, 4]. Данные соединения широко используются при обработке семян зерновых, бобовых и прочих культур.

В работе [9] положительное действие препарата Italmas Helat на проращивание семян яровой пшеницы и подсолнечника было выявлено для раствора с концентрацией Cu 3-10 мг/л (в комплексе с Zn, Mn и B). При большей концентрации наблюдалось негативное воздействие вплоть до полного подавления прорастания семян. Есть также данные

[10], что растворы сульфата меди с концентрацией Cu^{2+} 0,1-0,2 мМ (что соответствует 6,4-12,8 мг/л) сильно подавляли прорастание семян клевера. Промышленно для предпосевной обработки семян используются 0,02-0,1%-ные растворы медного купороса [11]. Это соответствует концентрации ионов меди 0,8-4 ммоль/л или порядка 50-250 мг/л, что не согласуется с приведенными выше литературными данными.

Задачей нашей работы было подобрать экспериментально оптимальную концентрацию меди для предпосевной обработки семян бобовых культур и сравнить эффективность сульфата и хлорида меди.

Объекты и методы исследования

Объект исследований – сельскохозяйственные культуры семейства Бобовые (Fabaceae): горох посевной (*Pisum sativum* L.), сорт Джокер; чечевица (*Lens* L.) сорт Рэдклифф; бобы пищевые Русские черные (*Vicia Faba* L. var. major Harz).

Препараты: хлорид меди безводный CuCl_2 (хлористая медь); сульфат меди 5-водный $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (медный купорос). Страна-производитель химических препаратов Китай, поставщик ООО «СЛР Кемикал».

Лабораторный опыт. Лабораторное проращивание семян проводили по стандартной методике ГОСТ 12038-84 между слоями бумаги (МБ) в растильнях при постоянной температуре 25 °С в термостате в трех повторностях. Семена смачивали достаточным количеством водного раствора (расход 30 мл на 100 шт семян) хлорида или сульфата меди в концентрации, выраженной в мг/л на ионы Cu^{2+} . Определяли энергию прорастания, лабораторную всхожесть семян, длину и биомассу ростков и корешков.

Схема опыта (горох):

контроль (К) – дистиллированная вода
 раствор CuSO_4 – 1 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuSO_4 – 2,5 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuSO_4 – 5 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuSO_4 – 7,5 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuSO_4 – 10 мг/л Cu^{2+}

Схема опыта (чечевица):

контроль (К) – дистиллированная вода
 раствор CuCl_2 – 5 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuCl_2 – 10 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuCl_2 – 15 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuSO_4 – 5 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuSO_4 – 10 мг/л Cu^{2+}
 раствор CuSO_4 – 15 мг/л Cu^{2+}

Вегетационный опыт. Для проращивания в почве семена высевали в лотки площадью 12×30 см, заполненные почвой (чернозем, с полей Пензенской области), с расстоянием между семенами 3 см, в 2 ряда, расстояние между рядами 5 см. Перед посевом семена замачивали на 2 часа в растворе CuCl_2 или CuSO_4 с концентрацией ионов меди

Таблица 1 - Показатели прорастания семян гороха при обработке CuSO₄

Показатель	Контроль	Опытные варианты: концентрация Cu ²⁺ , мг/л					НСР ₀₅	
		1	2,5	5	7,5	10		
Энергия прорастания, %	96	98	96	96	98	95	3	
Всхожесть, %	99	100	100	100	100	97	1,5	
Длина, мм	ростки	25,1	29,9	32,1	32,1	31,2	28,2	8,9
	корешки	56,6	69,9	64,1	69,1	68,7	65,6	18,9
K1=Дл Корешков/ Дл ростков	2,24	2,34	2	2,16	2,2	2,32	-	
Биомасса 100 сырая, г	ростки	6,9	8,5	8,5	8,4	9,1	7,2	2,6
	корешки	8,6	10,3	13,1	12,9	13,1	11,5	3,8
Биомасса 100 сухая, г	ростки	0,78	0,83	0,8	0,82	0,92	0,79	0,16
	корешки	0,94	1,02	1,06	1,07	1,2	1,15	0,19
K1= Масса корешков/ Масса ростков	1,2	1,24	1,33	1,31	1,32	1,46	-	

Таблица 2 - Показатели прорастания семян чечевицы при обработке Cu²⁺

Показатель	Тип соли	К	Опытные варианты: концентрация Cu ²⁺ , мг/л			НСР ₀₅	
			5	10	15		
Энергия прорастания, %	CuCl ₂	98	98	98	98	2,5	
	CuSO ₄		99	99	97	2	
Всхожесть, %	CuCl ₂	99	98	99	99	2,5	
	CuSO ₄		100	100	99	1	
Длина, мм	ростки	CuCl ₂	59,7	70,1	63,6	71	11,1
		CuSO ₄		61,7	56,4	60,9	19,3
	корешки	CuCl ₂	95,8	89,5	90,1	77	9,3
		CuSO ₄		82,2	82,8	67,9	8,6
Биомасса 50 сырая, г	ростки	CuCl ₂	2,4	2,9	2,6	2,9	0,4
		CuSO ₄		2,9	2,6	2,6	1
	корешки	CuCl ₂	3,4	4,3	4	3,1	0,4
		CuSO ₄		2,9	3	2,6	0,8
Биомасса 50 сухая, г	ростки	CuCl ₂	0,206	0,23	0,244	0,289	0,049
		CuSO ₄		0,209	0,206	0,248	0,079
	корешки	CuCl ₂	0,341	0,333	0,313	0,286	0,076
		CuSO ₄		0,32	0,273	0,303	0,102

5 мг/л (расход 30 мл раствора на 100 шт семян). Семена контрольного варианта смачивали таким же объемом дистиллированной воды. Почву перед посевом увлажняли дистиллированной водой до относительной влажности 40%. В дальнейшем поливали отстоянной водопроводной водой, поддерживая влажность почвы 40%. Определяли энергию прорастания, всхожесть, а также длину и биомассу побегов.

Схема вегетационного опыта (чечевица, бобы пищевые):

- контроль (К) – дистиллированная вода
- раствор CuCl₂ (5 мг/л Cu²⁺)
- раствор CuSO₄ (5 мг/л Cu²⁺)

Результаты и их обсуждение

Исследовалось влияние меди на развитие рас-

тений на фазе прорастания семян, начала роста и интенсивного роста.

По результатам лабораторного опыта (начальный период развития, таблицы 1, 2) положительное влияние ионов меди выявлено для концентрации Cu²⁺ 1-10 мг/л. Несколько увеличивалась лабораторная всхожесть семян гороха и чечевицы (до 100%) при 99% на контроле. Заметного влияния на энергию прорастания не выявлено. Но и подавление всхожести семян ионами меди в области исследованных концентраций не наблюдалось.

Длина ростков и корешков гороха после обработки семян CuSO₄ изменялась слабо, не превышая НСР₀₅. Максимальное значение средней длины (на 23-28 % выше контроля) соответствовало концентрации Cu²⁺ 2,5-5 мг/л по росткам и 1-5 мг/л по корешкам. Биомасса сырая 100 корешков и ростков гороха увеличивалась в области концентраций 2,5-7,5 мг/л Cu²⁺ в среднем на 52 % и 23%, соот-

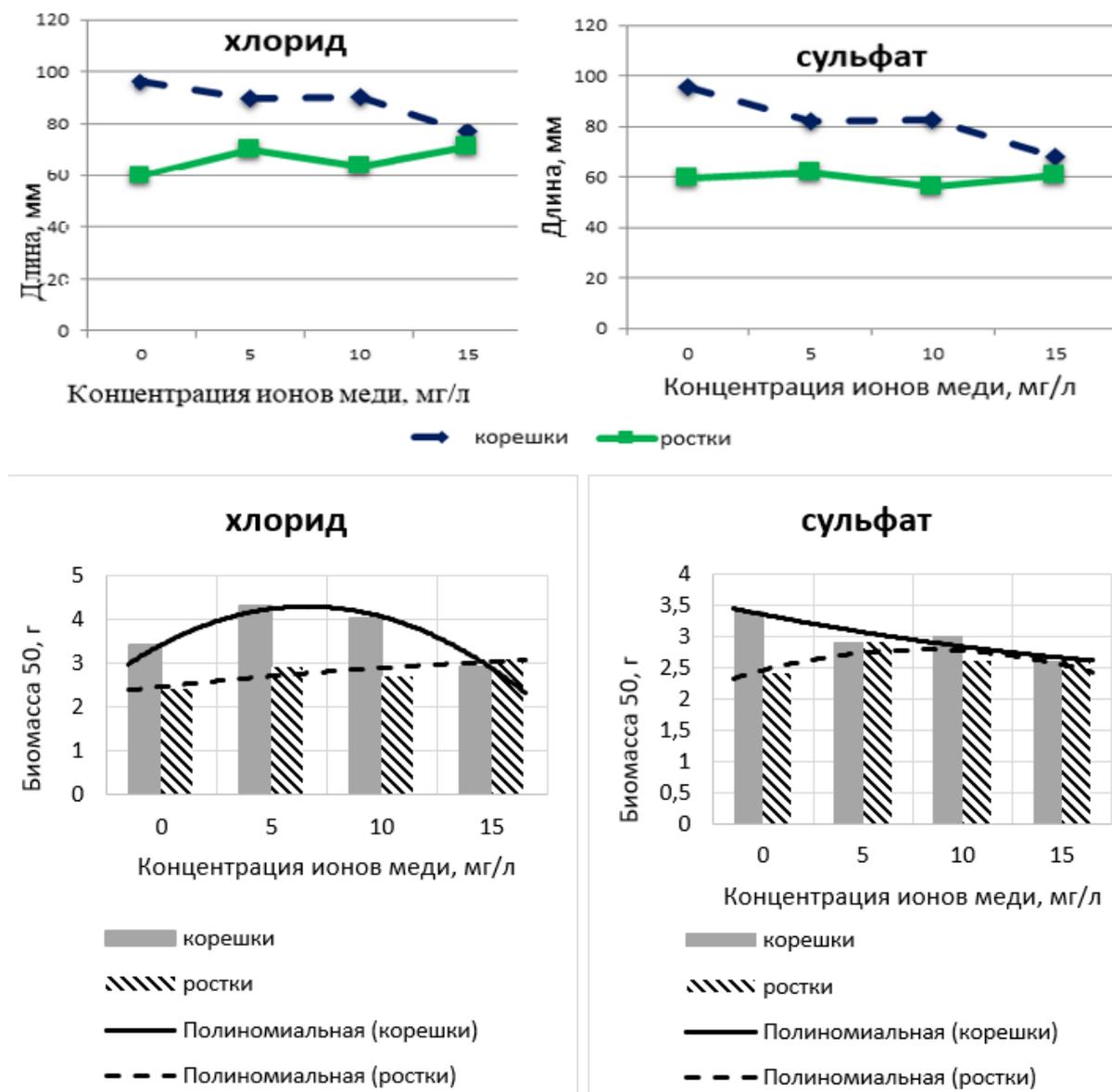


Рис. 1. Длина и биомасса (сырая) 100 корешков и ростков чечевицы в зависимости от концентрации меди

ветственно. Максимум сухой массы 100 корешков и ростков гороха соответствовал концентрации 7,5 мг/л Cu^{2+} и превышал контрольные значения на 17%. При содержании ионов меди 10 мг/л все ростовые показатели снижались, но тем не менее оставались выше контрольных значений. Таким образом, оптимальная концентрация ионов меди Cu^{2+} в форме сульфата по разным показателям составила 5-8 мг/л (или 0,078-0,125 ммоль/л Cu^{2+}) для гороха.

В параллельных испытаниях влияния $CuCl_2$ и $CuSO_4$ на чечевицу отмечено заметное увеличение длины и массы ростков примерно на 20% при 5-15 мг/л ионов Cu^{2+} в большей степени для хлорида меди. Масса корешков увеличивалась на 20-25% при концентрации 5-10 мг/л ионов Cu^{2+} в форме хлорида, и резко уменьшалась при дальнейшем возрастании концентрации соли. Однако, длина корешков была меньше контрольного значения (рис. 1). Оптимальная концентрация хлорида меди в наших опытах с чечевицей соответствовала порядка 5 мг/л Cu^{2+} .

В случае сульфата меди концентрация 5-15 мг/л Cu^{2+} не оказывала существенного влияния на длину ростков, но приводила к увеличению накопленной биомассы ростков на 8-20% по причине увеличения их толщины. В то же время значения длины и массы корешков были ниже контрольных. Вероятно, оптимальная для чечевицы концентрация сульфата меди должна быть не более 5 мг/л Cu^{2+} (что соответствует 0,078 ммоль/л), что согласуется с данными работы [10], в которой концентрация сульфата меди 0,1-0,2 ммоль/л Cu^{2+} значительно подавляла развитие проростков клевера. Как видно из рисунка 1, с хлоридом меди получены лучшие показатели, чем с сульфатом меди на первых этапах развития растения, причем особенно это заметно по корешкам.

Следует отметить, что в опытах с чечевицей тем не менее наблюдалось развитие плесневых грибов, несмотря на обработку ионами меди. Вероятно, концентрация меди, оптимальная для роста и развития проростков, оказалась меньше, чем

Таблица 3 – Показатели силы роста и при обработке 5 мг/л Cu

Показатель	Время, сутки	K	CuCl ₂	CuSO ₄	HCP ₀₅
чечевица					
Энергия прорастания, %	3	20	20	35	1,7
Всхожесть, %	7	20	25	50	1,5
Длина, мм	10	133	144	144	25
	20	245	237	229	49
	30	330	321	342	65
	40	355	370	315	59
Биомасса, г	40	0,715	0,693	0,748	0,18
бобы пищевые					
Энергия прорастания, %	5	60	50	55	1,3
Всхожесть, %	10	85	85	80	2,4
Длина, мм	10	76	87	102	27
	20	319	318	339	58
	30	406	408	446	47
	40	476	505	496	65
Биомасса, г	40	4,27	4,51	4,5	0,8
Количество цветов (ц) и бутонов (б) общее	40	0(ц)	12(ц)	8(ц)	-
		11(б)	15(б)	20(б)	-

концентрация, обеспечивающая фунгицидное действие меди.

По данным лабораторного опыта можно заключить: 1) при проращивании семян в лабораторных условиях хлорид меди оказался более эффективен, в качестве стимулятора развития проростков; 2) обе соли подавляли рост корешков в исследованной области концентраций.

Результаты вегетационного опыта (период интенсивного роста) по проращиванию в почве семян, после замачивания в растворе медьсодержащих веществ, представлены в таблице 3. В период роста средняя температура была 20°C, при этом минимальная и максимальная температуры были 18 и 23°C. Относительная влажность воздуха колебалась от 15% до 55%.

Интенсивность роста побегов чечевицы была примерно одинаковой как при обработке CuCl₂ или CuSO₄, так и без обработки (контроль). Средняя длина побегов бобов пищевых при обработке CuSO₄ была больше, чем при CuCl₂ и контроль, однако, различие не превышало HCP₀₅.

Литература

- [1] Шеуджен, А.Х. Микроудобрения и регуляторы роста растений на посевах риса / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек, А.П. Науменко, Шпанцев А.К. - Майкоп: ОАО Полиграф-Юг, 2010. - 292 с.
- [2] Шеуджен, А.Х. Удобрения, почвенные грунты и регуляторы роста растений / А.Х. Шеуджен,

Опытные варианты с бобами пищевыми отличались более интенсивным цветением: 27-28 цветов и бутонов в вариантах с CuCl₂ или CuSO₄ против 11 бутонов в контрольном варианте.

По данным вегетационного опыта можно сделать вывод, что в период интенсивного роста эффективность сульфата и хлорида меди одинакова и проявляется в ускорении цветения.

Выводы

Обработка семян зернобобовых культур (гороха, чечевицы, бобов пищевых) препаратами меди несколько повышала всхожесть семян (особенно CuSO₄ для чечевицы), а также стимулировала рост и развитие ростков (CuCl₂), при этом наблюдалось подавление роста корешков обеими солями. На этапе проращивания семян гороха и чечевицы более эффективным проявил себя CuCl₂, а в период интенсивного роста - CuSO₄. Оптимальная концентрация Cu составила 5-8 ppm для гороха (или 8-13 г/т семян), порядка 5 ppm для чечевицы (или 43 г/т семян).

References

- [1] Sheudzhen, A.Kh. Microfertilizers and plant growth regulators for rice crops / A.Kh. Sheudzhen, T.N. Bondareva, S.V. Kizinek, A.P. Naumenko, Shpantsev A.K. - Maykop: OJSC Polygraph-Yug, 2010. - 292 p.
- [2] Sheudzhen, A.Kh. Fertilizers, soils and plant growth regulators / A.Kh. Sheudzhen, L.M. Onishchenko, V.V. Prokopenko. - Adygea, 2005. - 404 p.

- Л.М. Онищенко, В.В. Прокопенко. - Адыгея, 2005. - 404 с.
- [3] Протасова, Н.А. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального / Н.А. Протасова. - Воронеж, 2003. - 368 с.
- [4] Ковалевский, А.Л. Биогеохимия растений / А.Л. Ковалевский. - Новосибирск: Наука, 1991. -294 с.
- [5] Kramer U., Clemens S. Functions and homeostasis of zinc, copper, and nickel in plants. Topics Current Genetics. 2005. Vol. 14. P. 215–271.
- [6] Битюцкий, Н. П. Микроэлементы высших растений: монография / Н. П. Битюцкий. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2020. – 368 с.
- [7] Агрохимия биогенных элементов: учеб. пособие / А.Х. Шейджен, Т.Н. Бондарева, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов – Краснодар: КубГАУ, 2020. – 223 с.
- [8] Михайлова, Л.А. Агрохимия: курс лекций. В 3 ч. Ч 1. Удобрения: виды, свойства, химический состав / Л.А. Михайлова; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. Бюджетноеобразоват. учреждение высшего образов. «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2015. – 426 с.
- [9] Нуштаева, А.В. Влияние микроудобрений на основе хелатных комплексов на всхожесть семян / А. В. Нуштаева, Ю. В. Блинохватова, Т. А. Власова, Н. П. Чекаев // Нива Поволжья. – 2021. – № 1(58). – С. 17-22.
- [10] Ермошин, А.А. Влияние ионов меди и алюминия на развитие проростков *Trifolium repens* L. / А.А. Ермошин, М.Н. Цибизова, И.С. Киселева // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. - №3(23). - С. 120-126.
- [11] Медный купорос для лечения и защиты растений. — URL: <https://botanichka-ru.turbopages.org/turbo/botanichka.ru/s/article/mednyiy-kuporos/>.
- [3] Protasova, N.A. Microelements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) in chernozems and gray forest soils of the Central / N.A. Protasova. - Voronezh, 2003. - 368 p.
- [4] Kovalevsky, A.L. Biogeochemistry of plants / A.L. Kovalevsky. - Novosibirsk: Nauka, 1991. -294 p.
- [5] Kramer U., Clemens S. Functions and homeostasis of zinc, copper, and nickel in plants. Topics Current Genetics. 2005. Vol. 14. P. 215–271.
- [6] Bitvutsky, N. P. Microelements of higher plants: monograph / N. P. Bitvutsky. - St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2020. – 368 p.
- [7] Agrochemistry of biogenic elements: textbook / A.Kh. Sheudzhen, T.N. Bondareva, I.A. Lebedovsky, M.A. Osipov - Krasnodar: KubSAU, 2020. - 223 p.
- [8] Mikhailova, L.A. Agrochemistry: a course of lectures. In 3 parts. Part 1. Fertilizers: types, properties, chemical composition / L.A. Mikhailova; Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education. «Perm State Agricultural Academy named after academician D.N. Pryanishnikov». - Perm: IPC «Prokrost», 2015. - 426 p.
- [9] Nushtaeva, A.V. Influence of microfertilizers based on chelate complexes on seed germination / A. V. Nushtaeva, Yu. V. Blinohvatova, T. A. Vlasova, N. P. Chekaev // Niva Povolzhya. – 2021. – No. 1(58). – P. 17-22.
- [10] Ermoshin, A.A. The effect of copper and aluminum ions on the development of *Trifolium repens* L. seedlings / A.A. Ermoshin, M.N. Tsibizova, I.S. Kiseleva // Bulletin of Tomsk State University. Biology. – 2013. - No. 3(23). - P. 120-126.
- [11] Copper sulfate for the treatment and protection of plants. — URL: <https://botanichka-ru.turbopages.org/turbo/botanichka.ru/s/article/mednyiy-kuporos/>.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Блинохватова Юлия Владимировна кандидат биологических наук доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и химия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет» 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30 Тел.: E-mail: julechka83@inbox.ru</p>	<p>Blinokhvatova Yulia Vladimirovna PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Soil science, agrochemistry and chemistry» Penza State Agrarian University Phone: E-mail: julechka83@inbox.ru</p>
<p>Нуштаева Алла Владимировна кандидат химических наук доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и химия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет» 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30 Тел.: E-mail: julechka83@inbox.ru</p>	<p>Nushtaeva Alla Vladimirovna PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Soil science, agrochemistry and chemistry» Penza State Agrarian University Phone: E-mail: julechka83@inbox.ru</p>