

THE EFFICIENCY OF PEA SEED STIMULATION WITH COMPLEX PREPARATIONS

Neverov A. A., Vereshchagina A. S.

Federal State Budgetary Scientific Institution Federal scientific Center for biological Systems and agricultural Technologies RAS
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: nevalex2008@yandex.ru

Received 05.10.2023

Submitted 25.12.2023

The research was carried out as part of the implementation of research for 2021-2030. FSBI FNC BST RAS on the topic (FNWZ-2022-0014)

Summary

The article presents the results of laboratory studies on the stimulation of pea seeds with sulfuric acid salts of iron and magnesium, as well as in combination with a humate-containing complex preparation. The synergistic effect of the combination of drugs on the growth activity of pea seedlings was obtained. New knowledge has been obtained on the processing of pea seeds with growth-stimulating preparations for use in crop production in the Russian Federation.

Abstract

Introduction. Unlike the seeds of grain crops, a much larger amount of productive moisture is required to obtain friendly pea shoots, approximately 150% of the seed weight. The steppe zone of Orenburg region in 80% of cases is characterized by insufficient moistening of the upper sown soil layer. In such conditions, agricultural practices that accelerate the processes of swelling and germination of seeds are very relevant. **Object.** The object of the study is: seeds of Vortan peas and preparations for seed treatment: Borogum – M molybdenum, crystallohydrates of magnesium and iron sulfates. **Materials and methods.** The treatment of pea seeds with preparations was carried out in plastic bags at the rate of consumption of 10 liters of working solution per 1 ton of seeds. The exposure of the treated seeds was 24 hours. Germination was carried out in a thermostat in the sand at a constant temperature of 20°C for 6 days. The laboratory experiment was based on a 4-fold repetition of 50 seeds in each repetition with subsequent processing of the experimental results. The smallest significant difference was calculated in the author's variance analysis program by B. A. Dospekhov. **Results and conclusions.** Treatment of pea seeds with Borogum – M molybdenum biological preparation in combination with trace elements: iron and magnesium increases seed germination by 3% and 4% respectively. Separate use of single-component drugs does not give a positive result. Of the single-component preparations, only a 1% solution of magnesium sulfate (Epsomite) showed a significant result on the formation of sprouts in peas (an increase of 12.8%). Complex preparations in various combinations showed the best results on growth activity, the processes of formation of sprouts and roots in peas. The formation of the aboveground part of the seedling is more influenced by the combination of Borogum with magnesium (Mg): an increase of 28.3% relative to the control, and the roots – Borogum + Mg + Fe – 13.6% of the control. There is an obvious synergistic effect of enhancing the growth and development of peas at the seed germination stage from the addition of iron and magnesium sulfates to Borogum-M preparation, in which these trace elements were absent.

Keywords: peas, germination of pea seeds, stimulation of pea seeds, ferrous sulphate, magnesium sulphate, borogum.

Citation. Neverov A. A., Vereshchagina A. S. The Efficiency of Pea Seed Stimulation with Complex Preparations. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 1(73). 108-115 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-01-11.

Author's contribution. The author of the article provided was directly involved in the research. The obtained results were subjected to a comprehensive analysis.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.31/37:631.8

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТИМУЛЯЦИИ СЕМЯН ГОРОХА КОМПЛЕКСНЫМИ ПРЕПАРАТАМИ

Неверов А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Верещагина А. С., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр
биологических систем и агротехнологий РАН
г. Оренбурге, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения НИР на 2021-2030 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН по теме (FNWZ-2022-0014)

Актуальность. В отличие от семян зерновых культур для получения дружных всходов гороха требуется значительно большее количество продуктивной влаги, примерно 150% от массы семян. Степная зона Оренбуржья в 80% случаев характеризуется недостаточным увлажнением верхнего

посевного слоя почвы. В таких условиях агроприёмы, способствующие ускорению процессов набухания и прорастания семян, весьма актуальны. **Объект.** Объектом исследования являются: семена гороха сорта Вортан и препараты для обработки семян: Борогум-М молибденовый, кристаллогидраты сульфатов магния и железа. **Материалы и методы.** Обработка семян гороха препаратами проводилась в полиэтиленовых пакетах из расчёта расхода 10 л рабочего раствора на 1 т семян. Экспозиция обработанных семян составила 24 часа. Проращивание осуществлялось в термостате в песке при постоянной температуре 20°C в течение 6 дней. Лабораторный опыт закладывался в 4-х кратном повторении по 50 семян в каждом повторении с последующей обработкой результатов эксперимента. Наименьшая существенная разность вычислялась в авторской программе дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову. **Результаты и выводы.** Обработка семян гороха биопрепаратом Борогум-М молибденовый в сочетании с микроэлементами: железом и магнием повышает всхожесть семян на 3% и 4% соответственно. Раздельное применение однокомпонентных препаратов положительного результата не даёт. Из однокомпонентных препаратов существенный результат показал только 1%-ный раствор сульфата магния (Эпсомит) на формирование ростков у гороха (прирост 12,8%). На ростовую активность, процессы формирования ростков и корешков у гороха лучшие результаты показали комплексные препараты в различных сочетаниях. На формирование надземной части проростка большее влияние оказывает сочетание Борогума с магнием (Mg): прирост 28,3% относительно контроля, а корешков – Борогум +Mg + Fe – 13,6% от контроля. Очевиден синергетический эффект усиления роста и развития гороха на стадии прорастания семян от добавления к препарату Борогум-М молибденовый сульфатов железа и магния, в котором эти микроэлементы отсутствовали.

Ключевые слова: горох, всхожесть семян гороха, стимуляция семян гороха, сульфат железа, сульфат магния, борогум.

Цитирование. Неверов А. А., Верещагина А. С. Эффективность стимуляции семян гороха комплексными препаратами. *Известия НВ АУК.* 2024. 1(73). 108-115. DOI:10.32786/2071-9485-2024-01-11.

Авторский вклад. Авторы предоставленной статьи принимали непосредственное участие в проведении исследований. Полученные результаты подвергались всестороннему анализу.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Микроэлементы играют центральную роль в поддержании метаболизма, росте и развитии растений, устойчивости к стрессам и болезням [1].

В последние годы большое количество исследований [2, 3, 4] продемонстрировало, что применение экзогенных регуляторов роста путем обработки семян, полива или внекорневого опрыскивания является эффективной стратегией повышения засухоустойчивости путем улучшения антиоксидантной способности растений, повышения способности растений к осмотическому регулированию, защиты фотосинтетической системы и поддержание эффективного фотосинтеза, изменения внешней и внутренней структуры корней и листьев для улучшения поглощения и переноса воды, регулирования процессов метаболизма питательных веществ и энергии и регулирования экспрессии функциональных генов и активности функциональных белков.

Магний (Mg) – одно из 17 питательных веществ, необходимых для растений. Хорошо известно, что он играет важную роль во многих процессах метаболизма растений. В частности, в фотосинтезе и связанных с ним процессах Mg имеет большое значение. Концентрации Mg в клетках растений самые высокие в хлоропластах, доля Mg может составлять до 35%, связанного с молекулами хлорофилла, в зависимости от Mg-статуса растения [5].

Ион магния (Mg^{2+}) является одним из наиболее распространенных катионов в живых клетках растений, которым обычно требуется $1,5-3,5 \text{ г кг}^{-1}$ для оптимального роста растений [6]. Магний жизненно важен для нескольких физиологических и биохимических процессов в растениях, включая фотосинтез, разделение углеводов и синтез белка, которые влияют на рост растений и формирование урожая [6, 7]. Помимо того, что Mg является центрально связанным ионом молекулы хлорофилла, он является активатором более 300 ферментов. Существуют взаимодействия между Mg^{2+} и другими ионами. Высокие уровни K^{+} и Ca^{2+} приводят к снижению доступности Mg для корней растений, что особенно актуально в условиях степного Оренбуржья из-за избытка этих ионов в почве.

Железо (Fe) является одним из питательных веществ, необходимых для роста и развития растений. Fe принимает участие во многих химических реакциях, включая фотосинтез и дыхание, поскольку он обладает окислительно-восстановительной активностью благодаря своей способности легко принимать и отдавать электроны. Дефицит железа обычно приводит к снижению жизнеспособности растений. Растения в основном поглоща-

ют железо из почвы [8]. Из-за его высокой окислительно-восстановительной активности Fe легко окисляется в аэробных или щелочных почвах. Окисленное железо нерастворимо и, следовательно, недоступно для растений.

Авторы [9] сообщают: «...взаимодействие ионов способствует усилению продукционного процесса за счет повышения активности гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов и механизмов регуляции растений, происходит усиление аттрагирующих процессов, результатом которых является активное набухание семян и поглощение ими воды. На яровой пшенице установлено, что сочетанное действие при обработке семян повышает темп водоупотребления до 7 %, интенсивность дыхания увеличивается на 26,1-29,9 %, в результате усиливается активность фермента амилазы. Наиболее эффективными, на наш взгляд, являются предпосевная обработка семян и листовая подкормка двумя-тремя элементами или факторами».

Установлено [10], что обработка семян гороха однокомпонентным препаратом Гумат+7 повышала полевую всхожесть на 3-4%, урожайность на 0,12-0,17 т/га (5,6-7,9%). Полевая всхожесть семян, обработанных совместным применением препаратов (Гумат + 7 и полимером Эпок) превышала этот показатель в контроле – на 57%, а урожайность гороха – на 0,25-0,28 т/га или 11,7-13,1%.

В работе представлены результаты исследований по влиянию предпосевной обработки семян гороха биопрепаратами и микроэлементами на посевные показатели семян и урожайность гороха сортов Кадет и Фараон в условиях Курской области.

Установлено [11], что обработка семян гороха биопрепаратами совместно с комплексом микроэлементов Агромикс (200 г/т) способствовала повышению энергии прорастания семян гороха на 2-3 %, всхожести – на 2-4 %, силы роста – на 3-5 %. Масса проростков у обработанных семян увеличивалась: у сорта Кадет на 13,1-19,2 %, у сорта Фараон на 14,2-16,7 %.

В условиях полевого опыта [12] нами установлено положительное влияние обработки семян ячменя комплексными препаратами Борогум комплексный и Борогум молибденовый на улучшение усвоения элементов минерального питания: азота и калия из почвы и значительный прирост листостебельной массы относительно контроля.

В работе [13] показано, что ростки ячменя, выращенные из семян, обработанных микроэлементами, более жизнеспособны не только в условиях достаточного увлажнения, но и при значительном дефиците влаги.

Существенное влияние на формирование проростков нута оказали микроэлементы Mg и Fe. Экзогенная обработка семян этими микроэлементами значительно увеличила массу корешков у нута на 56% и 50,5%, ростков – на 82,9% и 57,7% соответственно [14].

Полученные результаты позволили предположить, что наибольший эффект от обработки семян гороха возможен при совместном применении биостимуляторов с микроэлементами.

Материалы и методы. Объектом исследования являются водные растворы солей серной кислоты 1,0%-ной концентрации и Борогум-М молибденовый в дозе 0,3 л на 1 т семян, которыми обрабатывались семена гороха Ватан.

1. Сульфат железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (железный купорос), неорганическое соединение, железная соль серной кислоты. Сульфат железа(II) хорошо растворим в воде (26,3 г при 20 °C). Из водных растворов кристаллизуется голубовато-зелёный гептагидрат $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

2. Сульфат магния $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Эпсомит) – порошок белого цвета, пакетированный по 20 г. (Производитель – Южно-Уральский завод магниевых соединений. г. Кувандык Оренбургской области), белый кристаллический порошок, растворимый в воде.

3. Борогум – М молибденовый – Комплексный препарат производства НВП БашИнком содержащий, споровые бактерии, гуматы и комплекс микроэлементов. Мо – 3%, В-7%; БМВ – гуматы калия – 3%; Фитоспорин-М – 1,5%; микроэлементный комплекс: Со – 0,002%, Cu – 0,01%, Zn – 0,01%, Mn – 0,04%, Ni – 0,002%, Li – 0,0004%, S – 0,05%, Se – 0,0001%, Cr – 0,0005%.

Расчёт количества препарата для обработки семян проводился по действующему веществу на примере Эпсомита. Действующее вещество – сульфат металла.

Молярная масса $24+32+16 \cdot 4+7 \cdot (2 \cdot 1+16) = 246$ г/моль. Содержание сульфата магния (120 г моль^{-1}) или 48,8%.

Расход рабочего раствора для обработки 1 т семян сельскохозяйственных культур – 10 л. Расход сульфата магния семиводного (препарата) на 1 т семян при 1%-ной концентрации водного раствора – 205 г.

Для приготовления 100 мл: 1%-ного раствора сульфата магния требуется 2,05 г семиводного сульфата магния.

Для обработки 1 кг семян использовалось 10 мл водного раствора препарата с экспозицией 1 сутки.

Обработка семян проводилась в полиэтиленовых пакетах. Проращивание – в песке, в темноте при постоянной температуре 20° С в четырёх-кратном повторении, по 50 шт семян в каждом повторении. День закладки семян на проращивание и день съёма семян считался за одни сутки. Проращивание проводилось в течение 6-суток. Для контроля использовались семена, обработанные водой из расчёта 10 л воды на 1 т семян.

Схема эксперимента. Обработка семян гороха в лабораторных условиях проводилась из расчёта 10 л рабочего раствора на 1 т семян. Количество вариантов – 7.

1. Контроль
2. FeSO₄ (Fe)
3. MgSO₄ (Mg)
4. Борогум-М (Борогум)
5. Борогум + Fe
6. Борогум +Mg
7. Борогум + Fe + Mg

Дисперсионный анализ с вычислением наименьшей существенной разности (НСР₀₅) проводился в авторской программе по методике Б. А. Доспехова, 2011.

Результаты и обсуждение. Лабораторная всхожесть семян гороха в опыте изменялась от 76% до 85% при среднем значении данного параметра по опыту и на контроле – 81% (таблица 1).

Таблица 1 – Лабораторная всхожесть семян гороха
Table 1 – Laboratory germination of pea seeds

№ п/п / serial number	Варианты опыта / Experience Options	Всхожесть, % / Germination rate, %	Отклонения от контроля, % / Deviations from control, %
1	Контроль / Control	81	-
2	Fe	79	-2
3	Mg	76	-5
4	Борогум / Bogorum	81	0
5	Борогум + Fe / Bogorum+ Fe	84	3
6	Борогум + Mg / Bogorum+ Mg	85	4
7	Борогум +Fe + Mg / Bogorum+Fe + Mg	82	1
Среднее по опыту / Average Experience		81	0
НСР ₀₅		-	2

Не оказали существенного влияния на всхожесть семян препараты железа, Борогум и смесь препаратов Борогум +Fe + Mg, отклонения по всхожести в данных вариантах не превысили наименьшую существенную разность (НСР₀₅), равную 2%.

Обработка семян Эпсомитом (Mg) отрицательно повлияла на всхожесть семян (-5%). Однако комбинации препаратов: Борогум + Fe и Борогум + Mg повысили всхожесть на 3% и 4% соответственно.

В целом сочетание препарата Борогум с металлами оказало положительное действие на всхожесть семян гороха в отличие от однокомпонентных вариантов.

В наших ранних исследованиях [13, 14] сульфатные формы железа и магния в 1%-ной концентрации также снижали лабораторную всхожесть семян нута до 5% и не оказывали существенного влияния на семена ячменя.

Стимулирующий эффект от обработки семян препаратами был иным (таблицы 2, 3).

Измерения ростков гороха показали, что их длина и масса, выраженные в миллиметрах и миллиграммах, практически совпадают в абсолютном значении. Аналогичная связь обнаружена по размеру и весу корешков. Таким образом, достаточно было бы проводить анализ стимулирующего эффекта путём взвешивания общего количества ростков и корешков.

Таблица 2 – Биометрия ростка гороха

Table 2 – Biometrics of a pea sprout

№ п/п / serial number	Варианты опыта / Experience Options	Длина ростка, мм / Sprout length, mm	Отклонения от контроля / Deviations from control		Масса рост- ка, мг / Sprout weight, mg	Отклонения от кон- троля / Deviations from control	
			мм / mm	%		мг / mg	%
1	Контроль / Control	39	-	-	38,9	-	-
2	Fe	41	2	5,1	41,2	2,3	5,9
3	Mg	44	5	12,8	43,9	5,0	12,9
4	Борогум / Bogorum	37	-2	-5,1	37,0	-1,9	-4,9
5	Борогум + Fe / Bogorum+ Fe	40	1	2,6	39,9	1,0	2,6
6	Борогум + Mg / Bogorum+ Mg	50	11	28,3	50,2	11,3	29,1
7	Борогум +Fe + Mg / Bogorum +Fe + Mg	45	6	15,4	44,6	5,7	14,7
Среднее по опыту / Average by experience		42	3	7,7	42,2	3,3	8,5
HCP ₀₅		-	3	7,7	-	3	7,7

Обработка семян гороха препаратами оказала положительное влияние на увеличение размеров ростка за исключением Борогума. Лучшие результаты показали комплексные препараты: Борогум + Mg и Борогум +Fe + Mg. Прирост длины ростка составил соответственно 11 и 6 мм, что на 28,3 и 15,4% больше контроля (39 мм). Из однокомпонентных препаратов положительный эффект (прирост 5 мм или 12,8%) наблюдался в варианте с 1%-ном раствором сульфата магния (Mg).

Так же как и в случае с показателем всхожести, комплексные препараты показали лучшие результаты стимулирования ростовой активности, особенно в сочетании с Эпсомитом (Mg).

Влияние изучаемых препаратов на рост и развитие зародышевой корневой системы гороха отличалось от формирования ростков (таблица 3).

Таблица 3 – Биометрия зародышевого корешка гороха

Table 3 – Biometrics of the germ root of peas

№ п/п / serial number	Варианты опыта / Experience Options	Длина корешка, мм / Spine length, mm	Отклонения от контроля / Deviations from control		Масса ко- решка, мг / Root weight, mg	Отклонения от кон- троля / Deviations from control	
			мм / mm	%		мг / mg	%
1	Контроль / Control	66	-	-	66,4	-	-
2	Fe	68	2	3,0	68,8	2,4	3,6
3	Mg	66	0	0	66,0	-0,4	-0,6
4	Борогум / Borogum	56	-10	-15,0	56,5	-9,9	-14,9
5	Борогум + Fe / Borogum + Fe	71	5	7,5	70,8	4,8	7,2
6	Борогум + Mg / Borogum + Mg	69	3	4,5	69,4	3,0	4,5
7	Борогум +Fe + Mg / Borogum +Fe + Mg	75	9	13,6	75,2	8,8	13,3
Среднее по опыту / Aver- age Experience		68	2	3,0	67,6	1,3	1,9
HCP ₀₅		-	2	3,0	-	2,1	3,2

Длина зародышевого корешка варьировала от 56 до 71 мм, а по массе от 56,5 до 70,8 мг. Тормозящее действие на формирование корневой системы (-10 мм или 15%) показал Борогум. Лучшие результаты получены в варианте Борогум + Fe + Mg – прирост корешка составил 9 мм (13,6%) относительно контроля с длиной корешка 66 мм. Существенный положительный прирост корешка показали комплексные препараты: Борогум + Fe – 5 мм (7,5%) и Борогум + Mg – 3 мм (4,5%) и препарат железа (Fe) – 2 мм (3%).

Если сравнивать лучшие варианты по ускорению (стимуляции) ростовой активности проростков гороха, то очевидно наибольший эффект проявляется от обработки семян комплексными препаратами. В случае стимуляции роста – это Борогум-М молибденовый в сочетании с Эпсомитом (Mg). Для лучшей стимуляции корневой системы к данной смеси целесообразно добавить сульфат железа 1%-ной концентрации.

Таким образом, очевиден синергетический эффект усиления роста и развития гороха на стадии прорастания семян от добавления к препарату Борогум-М молибденовый сульфатов железа и магния, в котором эти микроэлементы отсутствовали. Если сопоставить роль железа и магния на раннем этапе прорастания семян, то очевидно магний в большей степени стимулирует рост надземной части растений, а железо корневой системы гороха. Эффективность совместного применения биопрепарата Борогум – М молибденовый и микроэлементов Mg и Fe для ускорения роста корешков наиболее высокая, а ростков – сочетание Борогума и Mg.

К аналогичному заключению о наибольшей эффективности комплексных препаратов против однокомпонентных – приходят многие исследователи [9, 10, 11].

Заключение. Обработка семян гороха биопрепаратом Борогум-М молибденовый в сочетании с микроэлементами: железом и магнием повышает всхожесть семян на 3% и 4% соответственно. Раздельное применение однокомпонентных препаратов положительного результата не даёт.

Из однокомпонентных препаратов существенный результат показал только 1%-ный раствор сульфата магния (Эпсомит) на формирование ростков у гороха (прирост 12,8%).

На ростовую активность, процессы формирования ростков и корешков у гороха лучшие результаты показали комплексные препараты в различных сочетаниях. На формирование надземной части проростка большее влияние оказывает сочетание Борогума с магнием: прирост 28,3% относительно контроля, а корешков – Борогум + Mg + Fe – 13,6% от контроля.

Очевиден синергетический эффект усиления роста и развития гороха на стадии прорастания семян от добавления к препарату Борогум-М молибденовый сульфатов железа и магния, в котором эти микроэлементы отсутствовали.

В условиях недостаточного увлажнения верхнего слоя почвы для ускорения появления всходов гороха целесообразно применять обработку семян комплексными препаратами в сочетании Борогум-М молибденовый и 1%-ные водные растворы сульфатов магния и железа.

Conclusions. Treatment of pea seeds with Borogum-M molybdenum biological preparation in combination with trace elements: iron and magnesium increases seed germination by 3% and 4%, respectively. The separate use of single-component drugs does not give a positive result.

Of the single-component preparations, only a 1% solution of magnesium sulfate (Epsomite) showed a significant result on the formation of sprouts in peas (an increase of 12.8%).

Complex preparations in various combinations showed the best results on growth activity, the processes of formation of sprouts and roots in pea. The formation of the aboveground part of the seedling is more influenced by the combination of Borogum with magnesium: an increase of 28.3% relative to the control, and the roots – Borogum + Mg + Fe – 13.6% of the control.

The synergistic effect of enhancing the growth and development of peas at the stage of seed germination from the addition of iron and magnesium sulfates to Borogum-M preparation, in which these trace elements were absent, is obvious.

In conditions of insufficient moistening of the topsoil to accelerate the emergence of pea seedlings, it is advisable to use seed treatment with complex preparations in combination with Borogum-M molybdenum and 1% aqueous solutions of magnesium and iron sulfates.

Библиографический список

1. Shahzad Zaigham, Amtmann A. Food for thought: how nutrients regulate root system architecture. Current Opinion in Plant Biology. 2017. No 39. Pp. 80-87.
2. Hassan Nemat, Heba Ebeed, Aljaarany A. Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. Physiology and Molecular Biology of Plants. 2020. No 26. Pp. 233-245.

3. Li H., Wang Jin-Qiang, Qing L. Photosynthesis product allocation and yield in sweet potato with spraying exogenous hormones under drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 2020. No 253. P. 153265.
4. Veroneze-Júnior V., et al. Leaf application of chitosan and physiological evaluation of maize hybrids contrasting for drought tolerance under water restriction. *Brazilian Journal of Biology*. 2019. No 80. Pp. 631-640.
5. Igamberdiev A. U., Kleczkowski L. A. Optimization of ATP synthase function in mitochondria and chloroplasts via the adenylate kinase equilibrium. *Frontiers in Plant Science*. 2015. No 6.
6. Nejia F., et al. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta physiologiae plantarum*. 2016. No 38.
7. Hawkesford M., et al. Marschner's mineral nutrition of higher plants. *Functions of macronutrients*. London, 2012. Pp. 135-189.
8. Zelazny En., Vert G. Plant nutrition: root transporters on the move. *Plant physiology*. 2014. No 166. Pp. 500-508.
9. Костин В. И., Дозоров А. В., Исайчев В. А. Взаимодействие микроэлементов – синергистов в различных сельскохозяйственных растениях при обработке семян и листовой подкормке. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 2 (46). С. 71-78.
10. Ерохин А. И., Цуканова З. Р., Латынцева Е. В. Эффективность применения экологически безопасных препаратов для предпосевной обработки семян гороха. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 3 (43). <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-ekologicheskii-bezopasnyh-preparatov-dlya-predposevnoy-obrabotki-semyan-goroha>.
11. Кривошеев С. И., Шумаков В. А., Гаврилова Т. В. Влияние предпосевной обработки семян биопрепаратами и микроудобрениями на посевные качества и урожайность различных сортов гороха. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 6. С. 40-44.
12. Неверов А. А., Верещагина А. С., Ураскулов Р. Ш. Влияние гуминовых препаратов на усвоение элементов минерального питания посевами ячменя. *Животноводство и кормопроизводство*. 2021. Т. 104 (№ 3). С. 115-126.
13. Неверов А. А., Верещагина А. С. Влияние микроэлементов на формирование проростков ячменя в условиях оптимального и недостаточного увлажнения. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2022. № 3 (67). С. 180-188.
14. Неверов А. А. Стимуляция семян нута растворами солей серной кислоты. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2022. № 2 (66). С. 126-134.

References

1. Shahzad Zaigham, Amtmann A. Food for thought: how nutrients regulate root system architecture. *Current Opinion in Plant Biology*. 2017. No 39. Pp. 80-87.
2. Hassan Nemat, Heba Ebeed, Aljaarany A. Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2020. No 26. Pp. 233-245.
3. Li H., Wang Jin-Qiang, Qing L. Photosynthesis product allocation and yield in sweet potato with spraying exogenous hormones under drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 2020. No 253. P. 153265.
4. Veroneze-Júnior V., et al. Leaf application of chitosan and physiological evaluation of maize hybrids contrasting for drought tolerance under water restriction. *Brazilian Journal of Biology*. 2019. No 80. Pp. 631-640.
5. Igamberdiev A. U., Kleczkowski L. A. Optimization of ATP synthase function in mitochondria and chloroplasts via the adenylate kinase equilibrium. *Frontiers in Plant Science*. 2015. No 6.
6. Nejia F., et al. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta physiologiae plantarum*. 2016. No 38.
7. Hawkesford M., et al. Marschner's mineral nutrition of higher plants. *Functions of macronutrients*. London, 2012. Pp. 135-189.
8. Zelazny En., Vert G. Plant nutrition: root transporters on the move. *Plant physiology*. 2014. No 166. Pp. 500-508.
9. Kostin V. I., Dozorov A. V., Isaychev V. A. Interaction of Microelements - Synergists in Various Agricultural Plants in Seed Treatment and Foliar Feeding. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019. № 2 (46). Pp. 71-78.
10. Erokhin A. I., Tsukanova Z. R., Latyntseva E. V. Efficacy of the Use of Ecologically Safe Preparations for Pre-Sowing Treatment of Pea Seeds. *Legumes and cereals*. 2022. № 3 (43). <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-ekologicheskii-bezopasnyh-preparatov-dlya-predposevnoy-obrabotki-semyan-goroha>.
11. Krivosheev S. I., Shumakov V. A., Gavrilova T. V. Influence of pre-sowing seed treatment with biological preparations and microfertilizers on sowing qualities and yield of various pea varieties. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018. № 6. Pp. 40-44.
12. Neverov A. A., Vereshchagina A. S., Uraskulov R. Sh. Influence of humic preparations on the assimilation of mineral nutrition elements by barley crops. *Animal husbandry and fodder production*. 2021. V. 104 (No. 3). Pp. 115-126.
13. Neverov A. A., Vereshchagina A. S. Influence of trace elements on the formation of barley sprouts under conditions of optimal and insufficient moistening. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex*. 2022. № 3 (67). Pp. 180-188.
14. Neverov A. A. Stimulation of chickpea seeds with solutions of sulfuric acid salts. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex*. 2022. No 2 (66). Pp. 126-134.

Информация об авторах

Неверов Александр Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур. «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, д. 27/1), ORCID: 0000-0001-5467-2476, e-mail: nevaalex2008@yandex.ru

Верещагина Антонина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур. «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, д. 27/1).