Аграрный научный журнал. 2024. № 11. С. 49–55
Agrarian Scientific Journal. 2024;(11):49–55

АГРОНОМИЯ

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Научная статья
УДК 633:631.81.095.337
doi:10.28983/asj.y2024i11pp49-55

# Моделирование влияния селенсодержащих биологически активных веществ на урожайность яровой пшеницы при «медном» загрязнении почв

**Ирина Вячеславовна Сергеева, Юлия Михайловна Мохонько, Юлия Михайловна Андриянова, Наталия Николаевна Гусакова**
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия, e-mail: ivsergeeva@mail.ru

***Аннотация.*** Представлены результаты исследования влияния на урожайность селенсодержащих биологически активных веществ как антистрессовых адаптогенов яровой пшеницы по отношению к ионам меди (+2). Экспериментальные исследования проводили в 2021–2023 гг. на полях ООО «ФХ «Деметра» Батраева Ю.И.», которое находится в зоне чернозема обыкновенного Поволжского региона. Использовали растворы медного купороса, где содержание ионов меди (+2) варьировало от $10^{-5}$ % (0,01 ПДК $Cu^{+2}$) до$10^{-2}$ % (10 ПДК $Cu^{+2}$), а также селенсодержащие БАВ: перхлорат 2-фенил-4-(2,4-диметоксифенил)-7,8-бензо-5,6-дигидроселенохромилия (перхлорат селено-хромилия – ПСХ) и 2-(п-хлорфенил)-4-фенил-7,8-бензо-5,6-дигидро-селено-хромен (селенохромен – СХ) при оптимальной концентрации растворов $10^{-4}$ %. Моделирование влияния инокуляции семян яровой пшеницы композиционными растворами селенсодержащих препаратов и ионов меди (+2) на урожайность яровой пшеницы показало, что в годы исследования во всем интервале варьирования концентраций меди получены положительные результаты. Даже при высоких концентрациях ионов меди (+2) (С = $10^{-2}$ %) в растворах с ПСХ урожайность выросла на 12,4–14,9 %, в композициях с СХ на 10,8–15,6 %. При низких концентрациях ионов меди (+2) (С = $10^{-5}$ %) в композициях с ПСХ урожайность выросла на 11,6–17,7 %, в присутствии препарата СХ на 7,4–16,8 %. Наиболее значительные результаты получены при содержании ионов меди (+2) в композициях в интервале $10^{-3}$–$10^{-4}$ %. Присутствие ПСХ в композиции привело к росту урожайности на 25,5–30,4 %. Наличие СХ дало еще более существенную прибавку показателя – на 32,7–44,8 %. В ходе трехлетнего полевого эксперимента получен результат, свидетельствующий о способности новых селенсодержащих БАВ не просто снизить, а полностью ликвидировать токсическое действие ионов меди (+2) в диапазоне 0,01–10 ПДК.

***Ключевые слова:*** мягкая яровая пшеница Фаворит; предпосевная обработка семян; селенсодержащие биологически активные вещества; лабораторная и полевая всхожесть; урожайность

***Для цитирования:*** Сергеева И. В., Мохонько Ю. М., Андриянова Ю. М., Гусакова Н. Н. Моделирование влияния селенсодержащих биологически активных веществ на урожайность яровой пшеницы при «медном» загрязнении почв // Аграрный научный журнал. 2024. № 11. С. 49–55. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp49-55.

AGRONOMY

Original article

# Modeling the influence of selenium-containing biologically active substances on the yield of spring wheat with "copper" contamination of soils

**Irina V. Sergeeva, Yulia M. Mokhonko, Yulia M. Andriyanova, Natalia N. Gusakova**
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia
e-mail: ivsergeeva@mail.ru

***Abstract.*** The article presents the results of a study of the effect of selenium-containing biologically active substances on the yield as anti-stress adaptogens of spring wheat in relation to copper ions (+2). Experimental studies were carried out in 2021–2023 in the fields of OOO "FH "Demetra" Batraev Yu.I.", which is located in the ordinary chernozem zone of the Volga region. Copper sulfate solutions were used, where the content of copper ions (+2) varied from $10^{-5}$ % (0.01 MAC $Cu^{+2}$) to $10^{-2}$ % (10 MAC $Cu^{+2}$), as well as selenium-containing biologically active substances: 2-phenyl-4-(2,4-dimethoxyphenyl)-7,8-benzo-5,6-dihydroselenochromylium perchlorate (selenochromylium perchlorate – PSC) and 2-(p-chlorophenyl)-4-phenyl-7,8-benzo-5,6-dihydro-selenochromene (selenochromene – SC) at an optimal solution concentration of $10^{-4}$ %. Modeling the effect of inoculation of spring wheat seeds with composite solutions of selenium-containing preparations and copper

ions (+2) on the yield of spring wheat showed that positive results were obtained in the entire range of copper concentration variations during the study years. Even at high concentrations of copper ions (+2) (C = $10^{-2}$ %) in solutions with PSC, the yield increased by 12.4–14.9 %, in compositions with SC by 10.8–15.6 %. At low concentrations of copper ions (+2) (C = $10^{-5}$ %) in compositions with PSC, the yield increased by 11.6–17.7 %, in the presence of SC by 7.4–16.8 %. The most significant results were obtained with the copper ions (+2) content in the compositions in the range of $10^{-3}$–$10^{-4}$ %. The presence of PSC in the composition led to an increase in yield by 25.5–30.4 %. The presence of SC gave an even more significant increase in the indicator – by 32.7–44.8 %. During a three-year field experiment, a result was obtained indicating the ability of new selenium-containing biologically active substances not only to reduce, but to completely eliminate the toxic effect of copper ions (+2) in the range of 0.01–10 MAC.

***Keywords:*** soft spring wheat Favorit; pre-sowing seed treatment; selenium-containing biologically active substances; laboratory and field germination; yield

***For citation:*** Sergeeva I. V., Mokhonko Yu. M., Andriyanova Yu. M., Gusakova N. N. Modeling the influence of selenium-containing biologically active substances on the yield of spring wheat with "copper" contamination of soils. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(11):49–55. (In Russ.). http: http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp49-55.

***Введение.*** Для получения высоких урожаев зерновых культур актуальны исследования по улучшению адаптивности растений к конкретным условиям агрофитоценозов. В научной литературе представлены материалы, касающиеся применения регуляторов роста растений при возделывании различных сельскохозяйственных культур [7, 12, 16]. Показаны перспективы увеличения продукционного и адаптационного потенциала сельскохозяйственных культур при использовании органических соединений селена [2, 14]. Нами ранее детально исследованы селенсодержащие биологически активные вещества для инокуляции семян яровой пшеницы, ячменя и овса, которые возделывали на антропогенно-депрессионных территориях, частично загрязненных ионами свинца и цинка. Установлено, что селенсодержащие БАВ способствуют не только оптимизации роста и развития зерновых культур, но и улучшают качество зерна, а также могут быть перспективными антистрессовыми адаптогенами по отношению к ионам свинца и цинка [8, 10, 13, 15, 18].

В литературе также обсуждаются проблемы экологической оценки влияния ионов меди на продукционный процесс зерновых культур. В частности, показано, что медь и цинк могут оказывать разнонаправленное действие на рост и развитие растений [1, 3, 6, 9, 11, 17]. Однако в Поволжском регионе систематические исследования по разработке агроприемов, позволяющих активизировать продукционный процесс зерновых культур на территориях, частично загрязненных ионами меди, не проводились.

Цель работы – исследование влияния селенсодержащих БАВ как антистрессовых адаптогенов по отношению к ионам меди на реализацию высокого продукционного потенциала яровой пшеницы.

***Материалы и методы.*** Полевые испытания проводили в 2021–2023 гг. на полях ООО «ФХ «Деметра» Батраева Ю.И.». Данная зона классифицируется как полузасушливая степь, термические ресурсы составляют 2400–2600 °С, гидротермический коэффициент больше 0,8, коэффициент увлажнения 0,25–0,30. Почва хозяйства представлена черноземом обыкновенным среднемощным малогумусированным тяжелосуглинистым. Содержание гумуса в почвах низкое (5,2–5,9 %), реакция среды нейтральная, обеспеченность фосфором низкая (7,3–7,6 мг-экв/100 г почвы), обменным калием повышенная (16,2–17,8 мг-экв/100 г почвы), микроэлементами низкая. Сумма поглощенных оснований пахотных горизонтов составляет 34,3–43,5 мг-экв/100 г почвы.

Агротехника – общепринятая для данной климатической зоны, предшественник – пар. Минеральные удобрения вносили частями под основную обработку почвы ($P_{30}$) и предпосевную культивацию ($N_{30}$). Весеннее закрытие влаги выполняли агрегатом ВТ-150+БЗСС-1,0 в два следа. При прогревании верхнего посевного слоя почвы до +5…6 °С проводили предпосевную культивацию агрегатом ВТ-150+КПС-4 на глубину 6–8 см, затем посев яровой мягкой пшеницы агрегатом ВТ-150+СЗ-3,6. В исследования был включен сорт мягкой яровой пшеницы Фаворит. При подготовке к посеву семена пшеницы обрабатывали препаратом Бункер (применяли ма-

шину ПС-10) и растворами селенсодержащих БАВ. Все опыты закладывали в 4-кратной повторности, рендомизированным методом. Учетная площадь делянки составляла 100 м$^2$.

Полевые опыты проводили в соответствии с общепринятыми методиками [5]. Использовали растворы медного купороса, содержания ионов меди (+2) варьировало от $10^{-5}$ % (0,01 ПДК $Cu^{+2}$) до $10^{-2}$ % (10 ПДК $Cu^{+2}$). Для инокуляции семян яровой пшеницы сорта Фаворит выбрали такие селенсодержащие БАВ, как перхлорат 2-фенил-4-(2,4-ди-метоксифенил)-7,8-бензо-5,6-дигидроселенохромилия (перхлорат селено-хромилия – ПСХ) и 2-(п-хлорфенил)-4-фенил-7,8-бензо-5,6-дигидроселенохромен (селенохромен – СХ) при оптимальной концентрации $10^{-4}$ %. Ранее они были исследованы нами как антистрессовые адаптогены по отношению к ионам свинца и цинка [8, 10, 13, 15, 18].

***Результаты исследований.*** Выявлено влияние ионов меди (+2) на силу роста проростков пшеницы в лабораторных условиях. По аналогии с проведенными нами ранее исследованиями влияния ионов свинца (+2) и цинка (+2) [8, 10, 13, 15, 18] изученный диапазон концентраций иона меди (+2) составил $10^{-5}$ % (0,01 ПДК $Cu^{+2}$) – $10^{-2}$ % (10 ПДК $Cu^{+2}$). Полученные данные представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Влияние ионов меди (+2) на силу роста проростков яровой пшеницы сорта Фаворит**

**Table 1 – Effect of copper ions (+2) on the growth force of spring wheat seedlings of the Favorit variety of cereals)**

| № | Вариант | Энергия прорастания (показатель 1) | Масса проростков (показатель 2) | | Активность фермента пероксидазы (показатель 3) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | г | % к контролю | уд. ед./100 г сырого вещества | % к контролю |
| 1 | Контроль | 90,0 | 1,3 | 100,0 | 308 ,0 | 100,0 |
| 2 | Бункер | 92,8 | 1,4 | 107,7 | 317,0 | 102,9 |
| 3 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 61,3 | 0,6 | 46,2 | 164,0 | 53,2 |
| 4 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 93,6 | 1,5 | 115,4 | 369,0 | 119,8 |
| 5 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 90,3 | 1,4 | 107,7 | 329,0 | 106,8 |
| 6 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 83,9 | 0,9 | 69,9 | 207,0 | 67,2 |
| 7 | $НСР_{05}$ | 0,011 | 0,020 | | 11,9 | |

По данным таблицы 1, в контрольном варианте показатели 1, 2, 3 составили 90,0 %; 1,3 г; 308,0 уд. ед./100 г сырого вещества. Использование препарата Бункер привело к некоторому увеличению показателей 1, 2 и 3 на 3,1; 7,7 и 2,9 % соответственно.

При инокуляции семян пшеницы растворами медного купороса получили различные результаты. При концентрации ионов меди (+2) $10^{-2}$ % все показатели 1, 2 и 3 снизились на 28,7; 53,8 и 47,8 % соответственно. Следовательно, эта концентрация является токсичной. Другой эффект зафиксировали при замачивании семян пшеницы в растворе $CuSO_4$ в концентрациях $10^{-3}$ и $10^{-4}$ %: показатели 1, 2 и 3 возросли на 1–3, 7–15 и 8–19 % соответственно. Полученные данные свидетельствуют о том, что медь в данном интервале концентраций «работает» как микроэлемент. Уменьшение концентрации ионов меди (+2) до $10^{-5}$ % позволило выявить тенденцию к снижению показателей 1, 2 и 3 на 7, 31 и 33 % соответственно.

В течение трех лет (2021–2023 гг.) изучали влияние БАВ, ионов меди (+2) и их композиций на полевую всхожесть яровой пшеницы Фаворит. Исследовали влияние «чистых» БАВ на полевую всхожесть данного сорта пшеницы, трансформацию ее под действием «чистых» растворов ионов меди и аддитивного влияния композиционных растворов БАВ – $Cu^{+2}$ в вариантах, указанных в таблице 2.

Анализ данных полевой всхожести показал, что инокуляция семян растворами Бункер повышала полевую всхожесть в среднем на 3 %, растворами ПСХ и СХ приводила к росту всхожести в 2021–2023 гг. на 5–7 % по сравнению с контролем (см. таблицу 2). Обработка семян растворами $Cu^{+2}$ различных концентраций показала неодинаковые результаты. Так, полевая

**Таблица 2 – Влияние БАВ, ионов меди (+2) и их композиций на полевую всхожесть яровой пшеницы сорта Фаворит**

**Table 2 – Effect of biologically active substances, copper ions (+2) and their compositions on the field germination of spring wheat of the Favorit variety**

| № | Вариант | Полевая всхожесть, % | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. |
| 1 | Контроль | 87,2 | 86,8 | 88,1 |
| 2 | Бункер (Б) | 90,3 | 90,9 | 91,2 |
| 3 | ПСХ | 92,9 | 93,1 | 94,5 |
| 4 | СХ | 93,8 | 92,8 | 95,4 |
| 5 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 73,8 | 72,01 | 75,6 |
| 6 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 88,3 | 89,4 | 90,1 |
| 7 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 87,9 | 89,3 | 91,3 |
| 8 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 81,9 | 80,6 | 81,2 |
| 9 | Б + $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 74,3 | 73,1 | 74,0 |
| 10 | Б + $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 89,4 | 88,7 | 89,5 |
| 11 | Б + $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 90,4 | 90,2 | 92,3 |
| 12 | Б + $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 89,3 | 88,9 | 91,5 |
| 13 | ПСХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 87,9 | 88,4 | 88,7 |
| 14 | ПСХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 93,4 | 92,8 | 95,5 |
| 15 | ПСХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 93,8 | 92,9 | 94,2 |
| 16 | ПСХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 91,7 | 92,1 | 93,9 |
| 17 | СХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 88,4 | 87,9 | 87,5 |
| 18 | СХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 94,3 | 93,8 | 95,4 |
| 19 | СХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 95,1 | 94,7 | 95,3 |
| 20 | СХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 90,5 | 98,6 | 90,8 |
| $НСР_{05}$ | | 0,019 | 0,133 | 0,182 |

всхожесть семян при использовании растворов $Cu^{+2}$ (С = $10^{-2}$ и $10^{-5}$) снизилась на 4–7 %, а при С = $10^{-3}$ и $10^{-4}$, наоборот, повысилась на 2–3 %.

При использовании композиционных растворов БАВ и сульфата меди для инокуляции семян яровой пшеницы сорта Фаворит были получены следующие результаты:

– сочетание в композициях Бункера и растворов меди (+2) при С = $10^{-2}$ и $10^{-5}$ привело к снижению полевой всхожести пшеницы на 6–7 %, а при концентрациях растворов меди (+2) в интервале С = $10^{-3}$–$10^{-4}$ значения полевой всхожести увеличились примерно на 1 %;

– инокуляция семян композиционными растворами меди (+2) при одновременном присутствии селенсодержащих БАВ показала, что оба препарата в интервале всех исследуемых концентраций меди повышали полевую всхожесть яровой пшеницы на 2–3 % при $С_{Cu}$ = $10^{-2}$ и $10^{-5}$. Максимальный эффект получили в интервале концентраций растворов меди (+2) С = $10^{-3}$ и $10^{-4}$, когда полевая всхожесть повысилась на 6–8 %.

Таким образом, по результатам трехлетнего полевого эксперимента мы получили результат, свидетельствующий о способности новых селенсодержащих БАВ не просто снизить, а полностью ликвидировать токсическое действие ионов меди в высоких и низких концентрациях.

Полученные данные коррелируют с результатами наших исследований антистрессового действия селенсодержащих БАВ по отношению к ионам свинца (+2) и цинка (+2) при выращивании яровой пшеницы, овса и ячменя на антропогенно-депрессионных территориях [8, 10, 13, 15, 18].

В полевых условиях нами изучено влияние селенсодержащих БАВ, ионов меди (+2) и композиционных растворов на все стадии продукционного процесса яровой пшеницы. В настоящей статье приводим данные только по урожайности (таблица 3). Этот показатель

на контроле составил 2,43–2,50 т/га. Инокуляция семян препаратом Бункер повысила урожайность на 0,4–1,2 %. Предпосевная обработка семян растворами «чистых» селенсодержащих БАВ привела к росту данного показателя на 32–45 %. Обработка семян растворами сульфата меди высоких ($10^{-2}$ %) и низких ($10^{-5}$ %) концентраций отрицательно сказалась на урожайности, которая уменьшилась на 24–32 %. Растворы ионов меди (+2) в интервале концентраций $10^{-3}$–$10^{-4}$ %, наоборот, немного повысили урожайность (на 0,5–2,1 %), т.е. подействовали как стимуляторы.

**Таблица 3 – Влияние БАВ, ионов меди (+2) и их композиций на урожайность яровой пшеницы сорта Фаворит**

**Table 3 – Effect of biologically active substances, copper ions (+2) and their compositions on the yield of spring wheat of the Favorit variety**

| № | Вариант | Урожайность т/га | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2021 г. | | 2022 г. | | 2023 г. | |
| 1 | Контроль | 2,43 | % к контролю | 2,48 | % к контролю | 2,50 | % к контролю |
| 2 | Бункер (Б) | 2,46 | +1,2 | 2,49 | +0,4 | 2,52 | +1,0 |
| 3 | ПСХ | 3,23 | +32,9 | 3,49 | +40,7 | 3,52 | +40,8 |
| 4 | СХ | 3,47 | +42,8 | 3,51 | +41,5 | 3,64 | +45,6 |
| 5 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 1,72 | -29,2 | 1,78 | -28,2 | 1,69 | –32,4 |
| 6 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 2,44 | +0,5 | 2,52 | +1,6 | 2,51 | +0,4 |
| 7 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 2,45 | +0,8 | 2,49 | +0,4 | 2,57 | +2,1 |
| 8 | $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 1,84 | –24,3 | 1,86 | –25,0 | 1,79 | –28,9 |
| 9 | Б + $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 1,83 | –24,7 | 1,79 | –27,3 | 1,84 | –26,4 |
| 10 | Б + $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 2,43 | +0,0 | 2,51 | +1,2 | 2,53 | +1,0 |
| 11 | Б + $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 2,45 | +0,8 | 2,58 | +4,0 | 2,53 | +1,2 |
| 12 | Б + $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 2,09 | –14,0 | 2,11 | –15,0 | 2,18 | –12,8 |
| 13 | ПСХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 2,78 | +14,4 | 2,85 | +14,9 | 2,81 | +12,4 |
| 14 | ПСХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 3,05 | +25,5 | 3,17 | +27,8 | 3,19 | +27,6 |
| 15 | ПСХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 3,11 | +27,9 | 3,22 | +29,8 | 3,26 | +30,4 |
| 16 | ПСХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 2,86 | +17,7 | 2,91 | +17,3 | 2,79 | +11,6 |
| 17 | СХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-2}$ % | 2,81 | +15,6 | 2,79 | +12,5 | 2,77 | +10,8 |
| 18 | СХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-3}$ % | 3,28 | +34,9 | 3,31 | +33,5 | 3,38 | +35,2 |
| 19 | СХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-4}$ % | 3,52 | +44,8 | 3,29 | +32,7 | 3,56 | +42,4 |
| 20 | СХ + $Cu^{+2} \cdot 10^{-5}$ % | 2,61 | +7,4 | 2,78 | +12,1 | 2,92 | +16,8 |
| $НСР_{05}$ | | 0,018 | | 0,126 | | 0,168 | |

Инокуляция семенного материала в композиционных растворах Бункер + $Cu^{+2}$ привела к различным результатам. Ионы меди (+2) при С = $10^{-2}$ % во все годы исследования снижали урожайность на 24,7–27,3 %, при С = $10^{-5}$ % – на 12,8–15,0 %. В интервале концентраций иона меди (+2) $10^{-3}$–$10^{-4}$ % отмечали небольшое повышение урожайности на 0,8–4,0 %. В целом, не представляется возможным считать, что Бункер способен снять стрессирующее действие ионов меди (+2) на урожайность яровой пшеницы.

Моделирование инокуляции семян яровой пшеницы композиционными растворами селенсодержащих препаратов и ионов меди (+2) показало их положительное влияние на урожайность во все годы исследования. Даже при высоких концентрациях ионов меди (+2) (С = $10^{-2}$ %) в растворах с ПСХ она выросла на 12,4–14,9 %, в композициях с СХ – на 10,8–15,6 %; при низких концентрациях ионов меди (+2) (С = $10^{-5}$ %) в композициях с ПСХ на 11,6–17,7 %, в присутствии препарата СХ на 7,4–16,8 %.

Наиболее существенные положительные результаты получили при содержании ионов меди (+2) в композициях в интервале $10^{-3}$–$10^{-4}$ %: присутствие ПСХ привело к росту урожайности на 25,5–30,4 %, наличие СХ в композиции дало еще более существенную прибавку показателя на 32,7–44,8 %.

Нами изучено влияние инокуляции семян яровой пшеницы растворами селенсодержащих БАВ, ионов меди (+2) и их композиций на качество урожая, в частности на содержание белка в зерне. Анализ трехлетних результатов показал, что на контроле показатель составил в среднем 10,4 %, инокуляция растворами селенсодержащих БАВ повышала содержание белка до 12,8–13,6 %, использование «медных» растворов способствовало снижению данного показателя до 6,9–8,2 %. Применение композиционных растворов во всем интервале содержаний меди (+2) оказывало антистрессовое влияние. Это выражалось в увеличении содержания белка до 11,6–13,4 %, что свидетельствовало о высоком качестве зерна пшеницы.

Механизм выявления действия селенсодержащих препаратов как антистрессовых адаптогенов по отношению к ионам меди для обеспечения высокого продукционного потенциала яровой пшеницы является, безусловно, сложной задачей. Можно предположить, что при взаимодействии селенсодержащих БАВ и ионов меди (+2) образуется труднорастворимый селенид меди, выводящий токсикант из микроокружения семян пшеницы и уменьшающий окислительный стресс, что обеспечивает активацию ростовых процессов и усиливает продукционный потенциал культуры.

***Заключение.*** Ранее было установлено, что инокуляция семян яровой пшеницы, ячменя и овса новыми селенсодержащими препаратами позволяет получать высокие устойчивые урожаи на территориях, частично загрязненных ионами свинца, цинка [8, 10, 13, 15, 18]. Полученные результаты подтверждают, что инокуляция семян яровой пшеницы сорта Фаворит перед посевом растворами селенсодержащих биологически активных веществ оказывает антистрессовое действие также по отношению к ионам меди (+2) и позволяет в интервале концентраций 0,01–10 ПДК Cu (+2) увеличивать урожайность яровой пшеницы.

Таким образом, изучаемые селенсодержащие БАВ являются антистрессовыми адаптогенами по отношению к трем ионам тяжелых металлов – цинку, меди и свинцу, что позволяет получать высокие устойчивые урожаи на частично антропогенно-депрессионных территориях Поволжья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиева З. М., Юсуфов А. Г. Реакция изолированных органов растений на загрязнение среды медью // Агрохимия. 2010. № 10. С. 32–37.

2. Вихрева В. А., Балахнина Т. И., Гинс В. К. Влияние селена на интенсивность перекисных процессов и активность ферментов в листьях козлятника восточного при экстремальных условиях выращивания // Доклады РАСХН. 2002. № 1. С. 6–8.

3. Влияние неорганических и хелатных форм цинк- и медьсодержащих удобрений на продуктивность и качественные характеристики зерна пшеницы / Н. А. Кодочилова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2. С. 40–48. DOI:10.36718/1819-4036-2023-2-40-48.

4. Демиденко Г. А. Влияние препарата «Бункер» на рост и развитие семян пшеницы «Тулунская 12» // Вестник КрасГАУ. 2014. № 3. С. 69–77.

5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 315 с.

6. Кожевникова Н. М., Куликов А. И. Динамика содержания подвижных соединений меди и цинка в микрозонах прикорневого слоя почвы пастбищного ценоза в техногенных ландшафтах Джидинского вольфрам-молибденового комбината // Агрохимия. 2010. № 9. С. 88–92.

7. Костин В. И., Исайчев В. А., Костин О. В. Элементы минерального питания и росторегуляторы в онтогенезе сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 2006. 290 с.

8. Новые селенорганические соединения как биологически активные вещества для повышения стресс-устойчивости зерновых и цветочных культур к тяжелым металлам / О. В. Федотова [и др.] // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2012. № 12. С. 6–11.

9. Панин М. С., Койгельдинова М. Т. Накопление меди и цинка растениями клевера гибридного (Trifolium Hybridum L.) из искусственно загрязненной темно-каштановой почвы // Агрохимия. 2010. № 9. С. 77–87.

10. Получение экологически безопасной зерновой продукции на антропогенно-загрязненных территориях Саратовской области / Ю. М. Андриянова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2016. № 3. С. 8–13.

11. Пугаев С. В. Содержание тяжелых металлов в зерне озимой и яровой пшеницы, произрастающей в разных экологических условиях // Вестник Мордовского университета. Серия «Биологические науки». 2013. № 3–4. С. 89–92.

12. Регуляторы роста растений / К. З. Гамбург [и др.]. М.: Наука, 1979. 246 с.

13. Роль антистрессовых адаптогенов в повышении урожайности яровой пшеницы / Ю. М. Андрианова [и др.]. Саратов: Амирит, 2016. 114 с.

14. Селен в биосфере / А. Ф. Блинохватов [и др.]. Пенза: РИО ПГСХА, 2001. 324 с.

15. Совершенствование технологий возделывания яровой пшеницы для устойчивого развития сельского хозяйства Поволжского региона / И. В. Сергеева [и др.] // Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 59–65. DOI: 10.28983/asj.y2020i10pp59-65.

16. Участие микроэлементов в обмене веществ растений / П. А. Власюк [и др.] // Биологическая роль микроэлементов: сб. ст. М.: Наука, 1983. С. 97–105.

17. Цаповская О. Н., Козлов А. В., Пятова А. А. Экологическая оценка влияния меди на рост и развитие растений яровой пшеницы // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2022. № 3. С. 1–6.

18. Assessment of environmental value of specially protected natural territories of Saratov region / I. V. Sergeeva, I. M. Andriianova, I. M. Mokhonko, N. N. Gusakova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Moscow, March 10, 2020. Moscow, 2020. P. 012057. DOI: 10.1088/1755-1315/579/1/012057.

REFERENCES

1. Alieva Z. M., Yusufov A. G. Response of Isolated Plant Organs to Copper Pollution. Agrochemistry. 2010;(10):32–37. (In Russ.).

2. Vikhreva V. A., Balakhnina T. I., Gins V. K. Effect of Selenium on the Intensity of Peroxide Processes and Enzyme Activity in the Leaves of Eastern Galega under Extreme Growing Conditions. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2002;(1):6–8. (In Russ.).

3. Effect of Inorganic and Chelate Forms of Zinc- and Copper-Containing Fertilizers on the Productivity and Quality Characteristics of Wheat Grain / N. A. Kodochilova et al Bulletin of KrasSAU. 2023;(2):40–48. (In Russ.). DOI:10.36718/1819-4036-2023-2-40-48.

4. Demidenko G. A. Effect of the drug "Bunker" on the growth and development of wheat seeds "Tulunskaya 12". *Bulletin of KrasSAU*. 2014;(3):69–77. (In Russ.).

5. Dospekhov B. A. Methodology of field experiment. Moscow: Agropromizdat, 1985. 315 p. (In Russ.).

6. Kozhevnikova N. M., Kulikov A. I. Dynamics of the content of mobile compounds of copper and zinc in the microzones of the root layer of pasture cenosis soil in technogenic landscapes of the Dzhida tungsten-molybdenum plant. *Agrochemistry*. 2010;(9):88–92. (In Russ.).

7. Kostin V. I., Isaichev V. A., Kostin O. V. Mineral nutrition elements and growth regulators in the ontogenesis of agricultural crops. Moscow; 2006. 290 p. (In Russ.).

8. New organoselenium compounds as biologically active substances for increasing the stress resistance of grain and flower crops to heavy metals / O. V. Fedotova et al. *Bulletin of the Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology.* 2012;(12):6–11. (In Russ.).

9. Panin M. S., Koigeldinova M. T. Accumulation of copper and zinc by hybrid clover plants (Trifolium Hybridum L.) from artificially polluted dark chestnut soil. *Agrochemistry*. 2010;(9):77–87. (In Russ.).

10. Obtaining environmentally safe grain products in anthropogenically polluted areas of the Saratov region / Yu. M. Andrianova et al. *Agrarian Scientific Journal.* 2016;(3):8–13. (In Russ.).

11. Pugayev S. V. Content of heavy metals in the grain of winter and spring wheat growing in different environmental conditions. Bulletin of the Mordovia University. *Series "Biological Sciences"*. 2013;(3–4):89–92.

12. Plant growth regulators / K. Z. Hamburg et al. Moscow: Nauka; 1979. 246 p. (In Russ.).

13. The role of anti-stress adaptogens in increasing the yield of spring wheat / Yu. M. Andrianova et al. Saratov, 2016. 114 p. (In Russ.).

14. Selenium in the biosphere / A. F. Blinohvatov et al. Penza; 2001. 324 p. (In Russ.).

15. Improving spring wheat cultivation technologies for sustainable agricultural development in the Volga region / I. V. Sergeeva et al. *Agrarian Scientific Journal.* 2020;(10)59–65. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2020i10pp59-65.

16. Participation of trace elements in plant metabolism / P. A. Vlasyuk et al. Biological Role of Trace Elements. Moscow; 1983:97–105.

17. Tsapovskaya O. N., Kozlov A. V., Pyatova A. A. Ecological assessment of the influence of copper on the growth and development of spring wheat plants. *AgroEcoInfo: Electronic Scientific and Production Journal*. 2022;(3):1–6. (In Russ.).

18. Assessment of environmental value of specially protected natural territories of Saratov region / I. V. Sergeeva, I. M. Andriianova, I. M. Mokhonko, N. N. Gusakova. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, March 10, 2020. Moscow; 2020:012057. DOI: 10.1088/1755-1315/579/1/012057.

*Статья поступила в редакцию 23.05.2024; одобрена после рецензирования 19.06.2024; принята к публикации 24.06.2024.*
*The article was submitted 23.05.2024; approved after reviewing 19.06.2024; accepted for publication 24.06.2024.*