

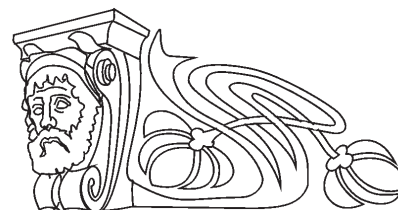


Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 205–214
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2022, vol. 22, iss. 2, pp. 205–214
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-2-205-214>

Научная статья
УДК 581.144+547.786.1

Влияние гетероциклических соединений ряда изоксазолон на рост и развитие проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.)



А. К. Смирнов, Н. В. Пчелинцева, В. В. Коробко ✉, Я. Г. Крылатова, Э. Г. Хачатуров

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Смирнов Антон Константинович, магистрант 2-го года обучения Института химии, anton.smirnov.98@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4759-3432>

Пчелинцева Нина Васильевна, доктор химических наук, профессор кафедры органической и биоорганической химии Института химии, pchelinzevanv555@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5830-9807>

Коробко Валерия Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, v.v.korobko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>

Крылатова Яна Георгиевна, кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биоорганической химии Института химии, yana.krylatova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9486-6774>

Хачатуров Эдуард Гариевич, инженер кафедры микробиологии и физиологии растений, sitnikov.edick@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4391-8909>

Аннотация. Арилиденизоксазолонны известны со второй половины XX в. и до сих пор сохраняют свою актуальность как биологически активные соединения и основа для дальнейших преобразований. Проведено биологическое тестирование синтетических гетероциклических соединений – 4-арилиден-3-метилизоксазол-5-онов, которые отличаются по природе, положению и количеству заместителей в арильном фрагменте: 4-(4-метоксибензилиден)-3-метилизоксазол-5-он, 4-(4-хлорбензилиден)-3-метилизоксазол-5-он, 4-(4-диметиламинобензилиден)-3-метилизоксазол-5-он, 4-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-3-метилизоксазол-5-он, 4-(3,4-диметоксибензилиден)-3-метилизоксазол-5-он. Соединения получены на кафедре органической и биоорганической химии Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского с целью выявления взаимосвязи строения – биологическое действие. В работе представлены характеристики испытуемых соединений и модифицированная методика синтеза арилиденизоксазолонов. Тест-объектом служили проростки яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Саратовская 36. Для оценки физиологической активности испытуемых соединений использовали показатель всхожести семян, анализ морфометрических данных проростка, значение корневого индекса и показателя корнеобеспеченности проростка. Установлено ингибирующее действие некоторых соединений на всхожесть семян. Максимально выраженный эффект проявился при проращивании семян на растворе 4-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-3-метилизоксазол-5-она в концентрации 10^{-7} М. Существенного влияния производных изоксазолон на рост первого листа тест-объекта не выявлено. Все испытуемые 4-арилиден-3-метилизоксазол-5-оны оказали стимулирующее действие на рост корневой системы в длину. Определен прямой характер зависимости данного эффекта от концентрации раствора 4-(4-хлорбензилиден)-3-метилизоксазол-5-она и 4-(3,4-диметоксибензилиден)-3-метилизоксазол-5-она. Выявлено положительное влияние испытуемых соединений на показатель корнеобеспеченности проростков (за исключением 4-(4-диметиламинобензилиден)-3-метилизоксазол-5-она). Определен корневой индекс проростков и установлено, что наличие метоксильных групп оказывает ингибирующее действие на значение данного показателя. На основании полученных данных можно заключить, что 4-(4-диметиламинобензилиден)-3-метилизоксазол-5-он и 4-(4-хлорбензилиден)-3-метилизоксазол-5-он являются перспективными соединениями для дальнейших исследований.

Ключевые слова: фитотестирование, гетероциклические соединения, производные изоксазола, арилиденизоксазолонны, *Triticum aestivum* L.

Для цитирования: Смирнов А. К., Пчелинцева Н. В., Коробко В. В., Крылатова Я. Г., Хачатуров Э. Г. Влияние гетероциклических соединений ряда изоксазолон на рост и развитие проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 205–214. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-2-205-214>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

The effect of heterocyclic compounds of isoxazolone series on the growth and development of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.)

A. K. Smirnov, N. V. Pchelintseva, V. V. Korobko ✉, Ya. G. Krylatova, E. G. Hachaturov

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia



Anton K. Smirnov, anton.smirnov.98@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4759-3432>

Nina V. Pchelintseva, pchelinzevanv555@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5830-9807>

Valeria V. Korobko, v.v.korobko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>

Yana G. Krylatova, yana.krylatova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9486-6774>

Eduard G. Hachaturov, sitnikov.edick@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4391-8909>

Abstract. Arylideneisoxazolones have been known since the second half of the 20th century and still retain their relevance as biologically active compounds and the basis for further transformations. Biological testing of synthetic heterocyclic compounds – 4-arylidene-3-methylisoxazol-5-ones, which differ in nature, position and number of substituents in the aryl fragment, was carried out: 4-(4-methoxybenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one, 4-(4-chlorobenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one, 4-(4-dimethylaminobenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one, 4-(4-hydroxy-3-methoxybenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one, 4-(3,4-dimethoxybenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one. The compounds were obtained at the Department of Organic and Bioorganic Chemistry of the Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky in order to identify the relationship between structure and biological action. The paper presents the characteristics of the tested compounds and a modified method for the synthesis of arylideneisoxazolones. Seedlings of spring soft wheat *Triticum aestivum* L. cv. Saratovskaya 36 served as test objects. To assess the physiological activity of the tested compounds, we used the seed germination index, analysis of the morphometric data of the seedling, the root-to-shoot ratio and the root index. The inhibitory effect of some compounds on seed germination has been established. The most pronounced effect was manifested during seed germination in a solution of 4-(4-hydroxy-3-methoxybenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one at a concentration of 10^{-7} M. No significant effect of isoxazolone derivatives on the growth of the first leaf of the test object was found. All tested 4-arylidene-3-methylisoxazol-5-ones had a stimulating effect on the growth of the root system in length. The direct nature of the dependence of this effect on the concentration of a solution of 4-(4-chlorobenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one and 4-(3,4-dimethoxybenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one was determined. A positive effect of the tested compounds on the root-to-shoot ratio of seedlings was revealed (with the exception of 4-(4-dimethylaminobenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one). The root index of seedlings was determined and it was found that the presence of methoxyl groups has an inhibitory effect on the value of this indicator. Based on the data obtained, it can be concluded that 4-(4-dimethylaminobenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one and 4-(4-chlorobenzylidene)-3-methylisoxazol-5-one are promising compounds for further research.

Keywords: phytotesting, heterocyclic compounds, isoxazole derivatives, arylideneisoxazolones, *Triticum aestivum* L.

For citation: Smirnov A. K., Pchelintseva N. V., Korobko V. V., Krylatova Ya. G., Hachaturov E. G. The effect of heterocyclic compounds of isoxazolone series on the growth and development of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 2, pp. 205–214 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-2-205-214>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Исследование свойств гетероциклических соединений как природного, так и синтетического происхождения, представляет научный и практический интерес [1–5], что связано не только с тем, что по разнообразию они занимают одно из первых мест среди органических соединений, но и с широким спектром биологических свойств этих веществ [3–6].

За последние десятилетия синтезировано много новых гетероциклических комплексов, характеризующихся высокой биологической активностью; на их основе созданы эффективные биопрепараты, обладающие свойством регуляции роста, иммуномодулирующими и антимикробными свойствами.

Изоксазольный цикл входит в состав природных соединений, таких как иботеновая кислота, некоторые антибиотики, а также лекарственных средств, включая ингибиторы ЦОГ-2, протеин-тирозинфосфатазы, антибиотики, устойчивые к бета-лактамазе. Замещенные изоксазолы часто используют в различных синтетических схемах получения биологически активных веществ в качестве интермедиатов из-за возможности раскрытия изоксазольного цикла в мягких условиях. Известно [7–9], что замещенные изоксазолы об-

ладают широким спектром биологической активности: противогрибковой [7], противоопухолевой [8], противомикробной [9].

Так, изоксазол-5-оны – это пятичленные гетероциклы, способные принимать участие в различных превращениях вследствие высокой реакционной способности:

- представляют собой метилен-активные формы с сильно кислым C4-H;

- имеют 3 потенциальных нуклеофильных центра N2, C4 и экзоциклический атом карбонила O, но обычно наиболее реакционноспособны при N2 или C4, поэтому их иногда называют амбидентными нуклеофилами;

- имеют слабую связь N-O, которая при расщеплении служит внутренним окислителем;

- они могут легко исключить молекулу CO₂ из своей структуры, что может стать причиной дальнейших преобразований.

Широкий спектр потенциальных возможностей гетероциклических соединений, перспектива их использования в разных отраслях деятельности человека требуют всестороннего изучения их биологических свойств [10], включая влияние на растительные организмы, как в целях установления их влияния на процессы роста и развития растений, так и в целях экологической безопасности окружающей среды [11].



Цель работы – фитотестирование 4-арилден-3-метилизоксазол-5-онов, которые отличаются по природе, положению и количеству заместителей в арильном фрагменте.

Материалы и методы

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений, объекты исследования получены на кафедре органической и биоорганической химии Саратовского национального исследовательского государст-

венного университета им. Н. Г. Чернышевского.

Проведено тестирование следующих соединений: 4-(4-метоксибензилиден)-3-метилизоксазол-5-он (МБИ), 4-(4-хлорбензилиден)-3-метилизоксазол-5-он (ХБИ), 4-(4-диметиламинобензилиден)-3-метилизоксазол-5-он (ДАБИ), 4-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-3-метилизоксазол-5-он (ГМБИ), 4-(3,4-диметоксибензилиден)-3-метилизоксазол-5-он (ДМБИ). Характеристики испытуемых соединений представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Характеристика арилиденизоксазолонов 4а–е
Characterization of arylideneisoxazolones 4a–e

| № | Обозначение / The designation | Структура / The structure | Молекулярная масса, г/моль / The molecular mass, g/mol | T пл., °C / T mel., °C | Цвет / The color |
|----|----------------------------------|------------------------------|---|---------------------------|-----------------------------------|
| 4a | МБИ / MBI | | 217 | 179–181 | Ярко-жёлтый / Bright yellow |
| 4b | ХБИ / CBI | | 222 | 126–127 | Бледно-жёлтый / Pale yellow |
| 4c | ДАБИ / DAVI | | 230 | 207–208 | Тёмно-бардовый / Dark burgundy |
| 4d | ГМБИ / HMBI | | 233 | 210–212 | Оранжевый / Orange |
| 4e | ДМБИ / DMBI | | 247 | 162–164 | Оранжевый / Orange |

Синтезированные 4-арилден-3-метилизоксазол-5-оны 4а–е представляют собой кристаллические вещества, с четкими темпера-

турами плавления, хорошо растворимые в ацетоне, диметилсульфоксиде (ДМСО), хлороформе, плохо растворимые в воде и спиртах.



образным является использование комплекса морфометрических показателей, сопоставление которых позволит выявить различные аспекты роста и развития проростка [16–18].

Всхожесть семян в контроле составила 98%. Некоторые из веществ оказали подавляющее действие на всхожесть семян. Наименьший показатель всхожести – $67 \pm 3\%$ – выявлен при культивировании объектов на растворе ГМБИ в наибольшей из опытных концентраций. Негативное влияние на всхожесть также оказали растворы ДМБИ и МБИ в концентрации 10^{-10}M (всхожесть составила $85 \pm 4\%$), ХБИ в концентрации 10^{-7}M (всхожесть составила $86 \pm 4\%$). В остальных вариантах опыта статистически значимых различий с контрольным значением не выявлено.

Определен показатель корнеобеспеченности контрольных и опытных растений. Относительное массовое соотношение корней и побега, называемое корнеобеспеченностью и используемое в качестве показателя стратегии адаптации к условиям роста и развития [17], в условиях эксперимента демонстрирует способность растений регулировать соотношение корень/побег в стрессовых условиях за счет перераспределения пластических веществ между надземными и подземными органами. Корнеобеспеченность проростков контрольных растений составила 0,94 отн.ед, тогда как у растений, культивированных на испытываемых растворах, значение этого показателя варьирует от 0,84 до 1,17 отн. ед. (рис. 1).

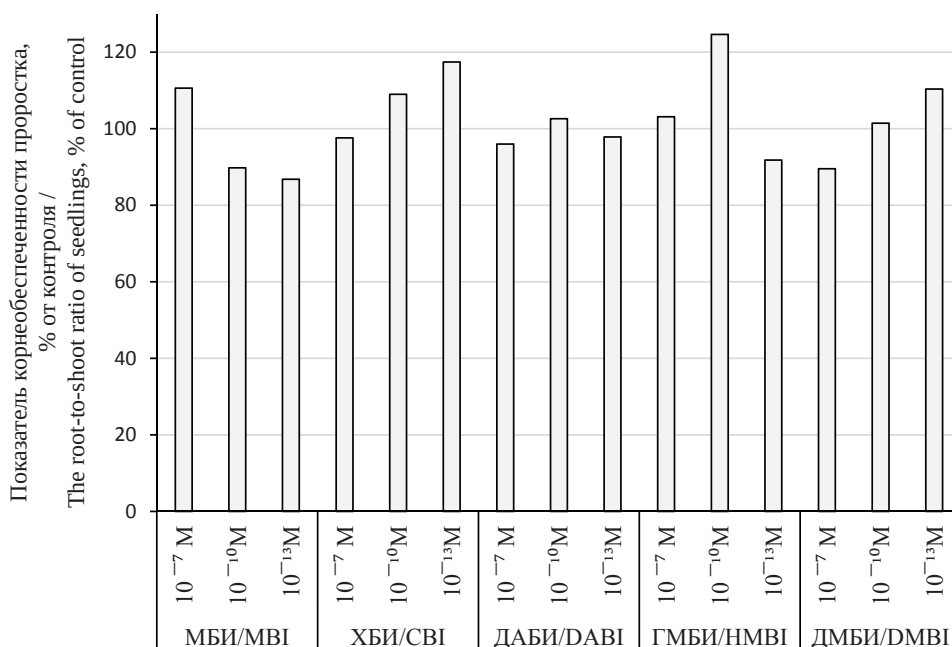


Рис. 1. Влияние производных изоксазолон на показатель корнеобеспеченности проростков яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 36

Fig. 1. Influence of isoxazolone derivatives on the root-to-shoot ratio of seedlings of spring soft wheat Saratovskaya 36

Установлено, что использование раствора ДАБИ не оказывает статистически значимого влияния на корнеобеспеченность проростков (0,9–0,97 отн. ед.). Другие испытываемые вещества в некоторых из использованных концентраций способствуют повышению корнеобеспеченности проростков, а именно: МБИ в наибольшей концентрации (1,11 отн. ед.), ХБИ в концентрациях 10^{-10}M и 10^{-13}M (1,03 и 1,11 отн. ед. соответственно), ДМБИ – в наименьшей (1,11 отн. ед.), ГМБИ в концентрации 10^{-10}M (1,17 отн. ед.).

Следует отметить наличие обратной зависимости между концентрацией растворов ХБИ и

ДМБИ и величиной показателя корнеобеспеченности, тогда как при культивировании проростков на растворах МБИ и ГМБИ минимальное значение корнеобеспеченности характерно в варианте с использованием наименьшей концентрации, а максимального значения показатель корнеобеспеченности достигает при концентрации 10^{-10}M .

Длина первого листа семидневных проростков варьирует от 48 ± 15 мм (контроль) до 74 ± 13 мм (ГМБИ в наименьшей концентрации), при этом статистически значимых различий по длине первого листа проростков в контроле и вариантах эксперимента, не обнаружено (табл. 2).



Таблица 2 / Table 2

Влияние производных изоксазолон на рост проростка яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 36
The effect of isoxazolona derivatives on the growth of a seedling of spring soft wheat variety Saratovskaya 36

| Вариант опыта / The option experience | | Длина первого листа, мм / The length of the first leaf, mm | Длина корневой системы, мм / The root length system, mm | Количество зародышевых корней, шт. / Quantity germinal roots, pcs. |
|--|---------------------|--|---|--|
| Контроль / Control | | 48±15 | 141±46 | 5±0,1 |
| МБИ / MBI | 10 ⁻⁷ М | 50±11 | 199±46 | 4,6±0,4 |
| | 10 ⁻¹⁰ М | 64±12 | 302±47* | 5,1±0,2 |
| | 10 ⁻¹³ М | 63±10 | 272±41* | 4,4±0,2* |
| ХБИ / CBI | 10 ⁻⁷ М | 66±13 | 273±57* | 4,9±0,2 |
| | 10 ⁻¹⁰ М | 70±12 | 232±50 | 4,8±0,2 |
| | 10 ⁻¹³ М | 53±10 | 209±42 | 4,7±0,3 |
| ДАБИ / DAVI | 10 ⁻⁷ М | 64±6 | 234±33* | 4,4±0,2* |
| | 10 ⁻¹⁰ М | 68±6 | 275±27* | 4,9±0,3 |
| | 10 ⁻¹³ М | 70±12 | 249±45* | 4,4±0,2* |
| ГМБИ / HMBI | 10 ⁻⁷ М | 48±15 | 176±64 | 4,3±0,3* |
| | 10 ⁻¹⁰ М | 73±10 | 284±53* | 4,1±0,8 |
| | 10 ⁻¹³ М | 74±13 | 266±50* | 4,6±0,2* |
| ДМБИ / DMBI | 10 ⁻⁷ М | 63±9 | 212±34 | 4,9±0,1 |
| | 10 ⁻¹⁰ М | 63±8 | 243±36* | 4,2±0,6* |
| | 10 ⁻¹³ М | 66±12 | 196±51 | 4,9±0,1 |

Примечание. * – различия между контрольными и опытными значениями достоверны при $p \leq 0,05$.

Note. * – differences between control and experimental values are unreliable at $p \leq 0,05$.

Морфометрический анализ проростков показал, что испытуемые вещества оказывают стимулирующее действие на рост корневой системы в длину. Максимальной длины достигла корневая система проростков, культивируемых на растворах ГМБИ и МБИ в концентрации 10⁻¹⁰ М – 284–302 мм, что в 2 раза больше, чем в контроле.

Выявлена зависимость между ростом побега и концентрацией ХБИ и ДМБИ: зависимость между длиной корневой системы опытных растений и концентрацией раствора имеет прямой характер. В других вариантах опыта корневая система проростков имеет максимальное значение при концентрации 10⁻¹⁰М, минимальное – при концентрации 10⁻⁷М.

Определен корневой индекс проростков: максимальное значение данного показателя выявлено у проростков, культивируемых на растворе ГМБИ в концентрации 10⁻¹⁰ М – 1,54 отн. ед. (рис. 2). Несмотря на существенные различия по длине корневой системы у проростков, культивируемых при разных концентрациях производных изоксазолон (см. табл. 2),

корневой индекс проростков, культивируемых при различных концентрациях одноименных растворов, варьирует незначительно; коэффициент варьирования 1–7%. Исключение составили проростки, культивируемые на растворах ГМБИ: корневой индекс которых варьировал от 0,9 при наибольшей концентрации раствора до 1,5 при концентрации 10⁻¹⁰ М; коэффициент варьирования 24%, что соответствует слабой степени варьирования признака.

Учет количества корней, сформированных в контроле и при культивировании на испытуемых растворах, показал, что у контрольных растений зародышевая корневая система представлена главным корнем, парой нижних придаточных корней и парой верхних придаточных корней. В некоторых вариантах опыта у ряда проростков в выборке отмечено отсутствие одного или двух корней верхнего яруса, одного или двух корней нижнего яруса, формирование дополнительного придаточного корня. Средние значения количества корней представлены в табл. 2.

При культивировании проростков на растворах МБИ, ХБИ, ДАБИ отмечена прямая за-

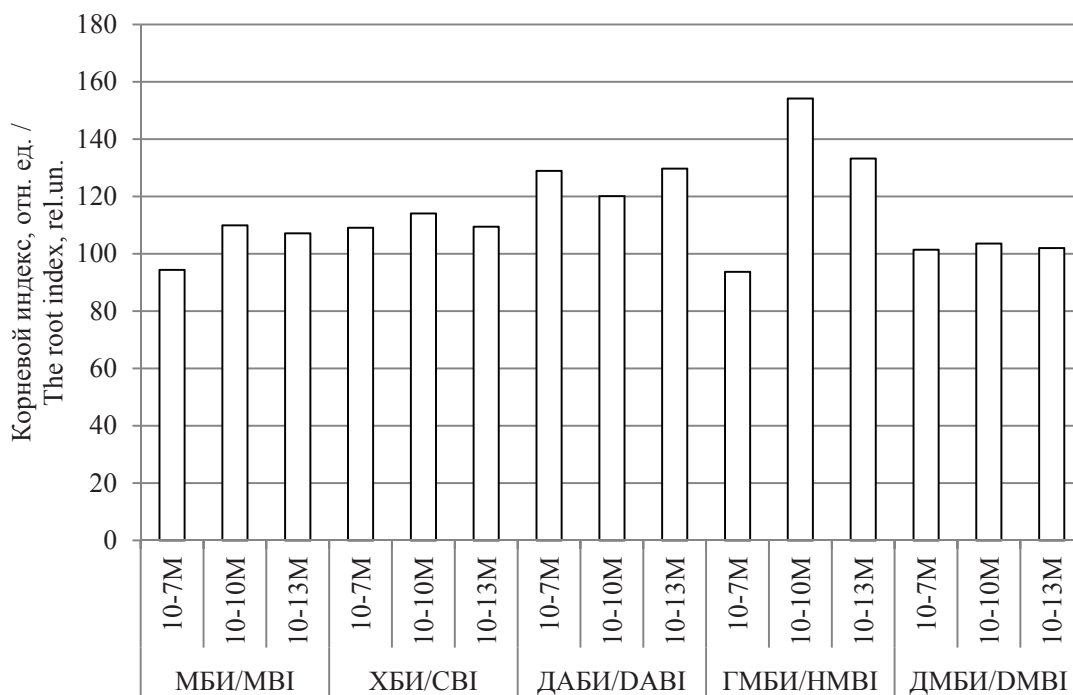


Рис. 2. Влияние производных изоксазолона на корневой индекс проростков яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 36

Fig. 2. The effect of isoxazolona derivatives on the root index of seedlings of spring soft wheat variety Saratovskaya 36

висимость между количеством корней и длиной корневой системы. У проростков, выращенных на растворах ДМБИ при наибольшей концентрации раствора, длина корневой системы увеличивается в 1,6 раз по сравнению с контролем, при этом по количеству корней существенных отличий от контрольных значений не наблюдается. При уменьшении концентрации раствора ДМБИ до 10^{-10} М наблюдается снижение суммарной длины корней, связанное с уменьшением их количества. Наименьшая длина корневой системы при культивировании растений на растворе ДМБИ отмечена при наименьшей из используемых в опыте концентраций, при этом количество корней проростка не имеет существенных отличий от контрольных значений.

На основании сопоставления данных морфометрического анализа проростков и того факта, что при существенном (в 1,3–2,1 раза) увеличении длины корневой системы количество придаточных корней во всех вариантах опыта (за исключением 10^{-10} М МБИ) не изменяется или уменьшается, можно предположить, что стимулирующее действие на рост корневой системы испытываемых веществ связано с влиянием на митотическую активность клеток в зоне деления точки роста корней или(и) процессом растяжения клеток.

Заключение

На основании анализа данных, полученных при проведении фитотестирования 4-арилден-3-метилизоксазол-5-онов, сделаны следующие выводы.

Некоторые испытываемые вещества оказали подавляющее действие на всхожесть семян: наибольший ингибирующий эффект выявлен при культивировании объектов на растворе ГМБИ в концентрации 10^{-7} М, негативное влияние на всхожесть также оказали растворы ДМБИ и МБИ в концентрации 10^{-10} М, ХБИ – концентрации 10^{-7} М.

Существенного влияния производных изоксазолона на рост первого листа проростка не выявлено.

Все испытываемые растворы оказывают стимулирующее действие на рост корневой системы в длину, при этом выявлена прямая зависимость между ростом корневой системы и концентрацией ХБИ и ДМБИ, тогда как при культивировании проростков на других производных изоксазолона длина корневой системы минимальна при концентрации 10^{-10} М, минимальна – при концентрации 10^{-7} М.

Установлено влияние производных изоксазолона на показатель корнеобеспеченности проростков: ДАБИ не оказывает статистически



значимого влияния на корнеобеспеченность проростков, тогда как другие испытываемые вещества в некоторых из использованных концентраций способствуют повышению корнеобеспеченности проростков (МБИ в наибольшей концентрации, ХБИ в концентрациях 10^{-10} М и 10^{-13} М, ДМБИ – в наименьшей, ГМБИ в концентрации 10^{-10} М. Следует отметить наличие обратной зависимости между концентрацией растворов ХБИ и ДМБИ и величиной показателя корнеобеспеченности.

Максимальным значением корневого индекса характеризуются проростки, культивированные на растворе ГМБИ в концентрации 10^{-10} М. Наличие метоксильных групп снижает корневой индекс.

ДАБИ и ХБИ являются перспективными гетероциклическими соединениями для дальнейших исследований.

Список литературы

1. Sady M. A., Lagunin A. A., Filimonov D. A., Poroikov V. V. Internet system predicting the spectrum of biological activity of chemical compounds // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2002. Vol. 36, № 10. P. 538–543. <https://doi.org/10.1023/A:1022402425883>
2. Курлан С. А., Кантор Е. А., Соломинова Т. С., Колбин А. М. Молекулярный дизайн гетероциклических соединений на основе закономерностей типа «структура–фармакоактивность–токсичность» // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2010. Т. 53, № 5. С. 3–8.
3. Коробко В. В., Пчелинцева Н. В., Лунева М. А., Самсонова Е. А. Влияние 2,6-дифенил-3-хлорпиридина и 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридина на рост первичной корневой системы пшеницы // *Актуальные исследования в области биологии и смежных наук: материалы Всерос. науч. конф. (Саранск, 26–27 октября 2017 г.)*. Саранск: Мордовский государственный педагогический институт имени М. Е. Евсевьева, 2018. С. 86–91.
4. Пчелинцева Н. В., Крылатова Я. Г., Баталин С. Д., Коробко В. В., Миронова В. В. Химическое строение-биологическая активность: биотестирование карбо- и N-гетероциклических соединений // *Химия биологически активных веществ: межвузовский сборник научных трудов II Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 110-летию Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, 90-летию Института Химии (химический факультет), 150-летию Периодического закона и Периодической таблицы химических элементов Д. И. Менделеева, Саратов, 21–25 октября 2019 г.* Саратов: Саратовский источник, 2019. С. 144–146.
5. Raskil'dina G. Z., Borisova Y. G., Zlotskii S. S., Kuz'mina U. S., Vakhitova Y. V. Biological activity of some heterocyclic compounds based on polyol acetals and their derivatives // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2020. Vol. 54, № 9. P. 909–913. <https://doi.org/10.1007/s11094-020-02295-8>
6. Галкина И. В., Тахаутдинова Г. Л., Губайдуллин А. Т., Гнездилов О. И., Юсупова Л. М., Сахибуллина В. Г., Ильясов А. В., Галкин В. И. Синтез, строение и биологическая активность антимикробных соединений на основе дихлординитробензофураксана и ароматических аминов // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2014. Т. 156, № 2. С. 24–36.
7. Santos M. M., Faria N., Iley J., Coles S., Hursthouse M. B., Martins M. L., Moreira R. Reaction of Naphthoquinones with Substituted Nitromethanes, Facile Synthesis and antifungal activity of Naphtho[2,3-d]isoxazole-4,9-diones // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2010. Vol. 20. P. 193–195.
8. Patrizia D., Carbone A., Barraja P., Kelter G., Fiebig H. H., Cirrincione G. Synthesis and antitumor activity of 2,5-bis(3'-indolyl)-furans and 3,5-bis(3'-indolyl)-isoxazoles, nortopsentin analogues // *Bioorg. Med. Chem.* 2010. Vol. 18. P. 4524–4529.
9. Giovannoni M. P., Vergelli C., Ghelardini C., Galeotti N., Bartolini A., Piaz V. D. [(3-Chlorophenyl) piperazinylpropyl]-pyridazinones and analogues as potent antinociceptive agents // *J. Med. Chem.* 2003. Vol. 46. P. 1055–1059.
10. Курлан С. А., Рольник Л. З. Связь «структура – активность – токсичность» гетероциклических соединений с фунгицидными и инсектицидными свойствами // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2010. Т. 53, № 12. С. 112–116.
11. Губина Т. И., Ухова А. А., Исаева С. В., Тумский Р. С., Аниськов А. А., Ключкова И. Н. Определение характера биологического действия новых полигетероциклических соединений на растения и оценка экологической безопасности их применения // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. 2017. Т. 17, вып. 3. С. 267–273. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-3-267-273>
12. Cocivera M., Effio A., Chen H. E., Vaish S. Reaction of hydroxylamine with ethyl acetoacetate. Details of the addition and cyclization steps studied by flow nuclear magnetic resonance // *J. Am. Chem. Soc.* 1976. Vol. 98, iss. 23. P. 7362–7366.
13. Saini R. K., Joshi Y. C., Joshi P. Synthesis of novel isoxazole derivatives from 1,3-diketone derivatives // *Heterocyclic Communications*. 2007. Vol. 13, № 4. P. 219–222.
14. Fozooni S., Hosseinzadeh N. G., Hamidian H., Akhgar M. R. Nano Fe₂O₃, clinoptilolite and H₃PW₁₂O₄₀ as efficient catalysts for solvent-free synthesis of 5(4H)-isoxazolone under microwave irradiation conditions // *J. Braz. Chem. Soc.* 2013. Vol. 24, № 10. P. 1649–1655.
15. Khandebharad Amol U., Sarda Swapnil R., Gill Charansingh H., Agrawal Brijmohan R. Synthesis of 3-Methyl-4-arylmethylene-isoxazol-5(4H)-ones catalyzed by Tartaric acid in aqueous media // *Research Journal of Chemical Sciences*. 2015. Vol. 5, iss. 5. P. 27–32.



16. Коробко В. В., Пчелинцева Н. В., Миронова Н. В., Крылатова Я. Г., Жестовская Е. С. Влияние (тио)семикарбазонов 2,4-диарилбицикло[3.3.1]нон-2-ен-9-онов на рост проростков *Triticum aestivum* L. // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2019. Т. 17, № 1. С. 55–64. <https://doi.org/10.18500/1682-1637-2019-17-1-55-64>
17. Ledo A., Burslem D. F. R. P., Paul K. I., Battaglia M., England J. R., Pinkard E., Roxburgh S., Ewel J. J., Barton C., Brooksbank K., Carter J., Eid T. H., Fitzgerald A., Jonson J., Mencuccini M., Montagu K. D., Montero G., Ruizpeinado R., Mugasha W. A., Ryan C. M., Sochacki S., Specht A., Wildy D., Wirth C., Zerihun A., Chave J. Tree size and climatic water deficit control root to shoot ratio in individual trees globally // *New Phytologist*. 2018. Vol. 217, № 1. P. 8–11. <https://doi.org/10.1111/nph.14863>
18. Шапошников А. И., Моргунов А. И., Акин Б., Макарова Н. М., Белимов А. А., Тихонович И. А. Сравнительные характеристики корневых систем и корневой экссудации у синтетического, примитивного и современного сортов пшеницы // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51, № 1. С. 68–78. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.1.68rus>
1. Sadyam A. V., Lagunin A. A., Filimonov D. A., Porokov V. V. Internet system predicting the spectrum of biological activity of chemical compounds. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2002, vol. 36, no. 10, pp. 538–543. <https://doi.org/10.1023/A:1022402425883>
2. Kirlan S. A., Kantor E. A., Solominova T. S., Kolbin A. M. Molecular design of heterocyclic compounds on the basis of regularities such as “structure–pharmaceutical activity–toxicity”. *News of Higher Educational Institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*, 2010, vol. 53, no. 5, pp. 3–8 (in Russian).
3. Korobko V. V., Pchelintseva N. V., Luneva M. A., Samsonova E. A. Influence of 2,6-diphenyl-3-chloropyridine and 2,4,6-triphenyl-3,5-dichloropyridine on the growth of the primary root system of wheat. In: *Aktual'nyye issledovaniya v oblasti biologii i smezhnykh nauk: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, Saransk, 26–27 oktyabrya 2017 g.* [Actual research in the field of biology and related sciences: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference, Saransk, 26–27 October, 2017]. Saransk, Mordovia State Pedagogical Institute named after M. E. Evseyeva Publ., 2018, pp. 86–91 (in Russian).
4. Pchelintseva N. V., Krylatova Ya. G., Batalin S. D., Korobko V. V., Mironova V. V. Chemical structure – biological activity: biotesting of carbo- and N-heterocyclic compounds. In: *Khimiya biologicheskii aktivnykh veshchestv: Mezhdvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov II Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 110-letiyu Saratovskogo natsional'nogo issledovatel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni N.G. Chernyshevskogo, 90-letiyu Instituta Khimii (khimicheskii fakul'tet), 150-letiyu Periodicheskogo zakona i Periodicheskoy tablitsy khimicheskikh elementov D. I. Mendeleeva, Saratov, 21–25 oktyabrya 2019 g.* [Chemistry of biologically active substances: Interuniversity collection of scientific papers of the II All-Russian conference with international participation, dedicated to the 110th anniversary of the Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, the 90th anniversary of the Institute of Chemistry (Department of Chemistry), the 150th anniversary of the Periodic Law and the Periodic Table of Chemical Elements of D. I. Mendeleev, Saratov, October 21–25, 2019]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2019, pp. 144–146 (in Russian).
5. Raskil'dina G. Z., Borisova Y. G., Zlotskii S. S., Kuz'mina U. S., Vakhitova Y. V. Biological activity of some heterocyclic compounds based on polyol acetals and their derivatives. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2020, vol. 54, no. 9, pp. 909–913. <https://doi.org/10.1007/s11094-020-02295-8>
6. Galkina I. V., Takhautdinova G. L., Gubaidullin A. T., Gnezdilov O. I., Yusupova L. M., Sakhbullina V. G., Ilyasov A. V., Galkin V. I. Synthesis, structure and biological activity of antimicrobial compounds based on dichlorodinitrobenzofuroxan and aromatic amines. *Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta. Series: Natural Sciences*, 2014, vol. 156, no. 2, pp. 24–36 (in Russian).
7. Santos M. M., Faria N., Iley J., Coles S., Hursthouse M. B., Martins M. L., Moreira R. Reaction of Naphthoquinones with Substituted Nitromethanes, Facile Synthesis and antifungal activity of Naphtho[2,3-d]isoxazole-4,9-diones. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 2010, vol. 20, pp. 193–195.
8. Patrizia D., Carbone A., Barraja P., Kelter G., Fiebig H. H., Cirrincione G. Synthesis and antitumor activity of 2,5-bis(3'-indolyl)-furans and 3,5-bis(3'-indolyl)-isoxazoles, nortopsentin analogues. *Bioorg. Med. Chem.*, 2010, vol. 18, pp. 4524–4529.
9. Giovannoni M. P., Vergelli C., Ghelardini C., Galeotti N., Bartolini A., Piaz V. D. [(3-Chlorophenyl) piperazinypropyl]-pyridazinones and analogues as potent antinociceptive agents. *J. Med. Chem.*, 2003, vol. 46, pp. 1055–1059.
10. Kirlan S. A., Rolnik L. Z. Relationship “structure – activity – toxicity” of heterocyclic compounds with fungicidal and insecticidal properties. *News of Higher Educational Institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*, 2010, vol. 53, no. 12, pp. 112–116 (in Russian).
11. Gubina T. I., Ukhova A. A., Isaeva S. V., Tumskiy R. S., Aniskov A. A., Klochkova I. N. The Determination of Biological Effects of New Heterocyclic Compounds on Plants and the Evaluation of Environmental Safety of Their Application. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 3, pp. 267–273 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-3-267-273>
12. Cocivera M., Effio A., Chen H. E., Vaish S. Reaction of hydroxylamine with ethyl acetoacetate. Details of the addition and cyclization steps studied by flow nuclear magnetic resonance. *J. Am. Chem. Soc.*, 1976, vol. 98, iss. 23, pp. 7362–7366.



13. Saini R. K., Joshi Y. C., Joshi P. Synthesis of novel isoxazole derivatives from 1,3-diketone derivatives. *Heterocyclic Communications*, 2007, vol. 13, no. 4, pp. 219–222.
14. Fozooni S., Hosseinzadeh N. G., Hamidian H., Akhgar M. R. Nano Fe_2O_3 , clinoptilolite and $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ as efficient catalysts for solvent-free synthesis of 5(4H)-isoxazolone under microwave irradiation conditions. *J. Braz. Chem. Soc.*, 2013, vol. 24, no. 10, pp. 1649–1655.
15. Khandebharad Amol U., Sarda Swapnil R., Gill Chhansingh H., Agrawal Brijmohan R. Synthesis of 3-Methyl-4-arylmethylene-isoxazol-5(4H)-ones catalyzed by Tartaric acid in aqueous media. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2015, vol. 5, iss. 5, pp. 27–32.
16. Korobko V. V., Pchelintseva N. V., Mironova N. V., Krylatova Ya. G., Zhestovskaya E. S. Effect of (thio) semicarbazones 2,4-diarylbi-cyclo[3.3.1]non-2-en-9-ones on the growth of seedlings of *Triticum aestivum* L. *Bulletin of the Botanical Garden of the Saratov State University*, 2019, vol. 17, no. 1, pp. 55–64 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1682-1637-2019-17-1-55-64>
17. Ledo A., Burslem D. F. R. P., Paul K. I., Battaglia M., England J. R., Pinkard E., Roxburgh S., Ewel J. J., Barton C., Brooksbank K., Carter J., Eid T. H., Fitzgerald A., Jonson J., Mencuccini M., Montagu K. D., Montero G., Ruizpeinado R., Mugasha W. A., Ryan C. M., Sochacki S., Specht A., Wildy D., Wirth C., Zerihun A., Chave J. Tree size and climatic water deficit control root to shoot ratio in individual trees globally. *New Phytologist*, 2018, vol. 217, no. 1, pp. 8–11. <https://doi.org/10.1111/nph.14863>
18. Shaposhnikov A. I., Morgunov A. I., Akin B., Makarova N. M., Belimov A. A., Tikhonovich I. A. Comparative characteristics of root systems and root exudation in synthetic, primitive and modern wheat varieties. *Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 1, pp. 68–78 (in Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.1.68rus>

Поступила в редакцию 03.03.2022; одобрена после рецензирования 07.03.2022; принята к публикации 09.03.2022
The article was submitted 03.03.2022; approved after reviewing 07.03.2022; accepted for publication 09.03.2022