

БИОХИМИЯ / BIOCHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.52>

ВОЗМОЖНОСТЬ РАЗВИТИЯ АДАПТИВНОГО ОТВЕТА У РАСТЕНИЙ К ГЕНОТОКСИЧНОСТИ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Научная статья

Белоусова З.П.¹, Селезнева Е.С.², Ильина В.А.^{3,*}³ORCID : 0009-0000-6277-2290;¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация^{2,3} Самарский университет, Самара, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (veronikaoot[at]gmail.com)

Аннотация

Исследовали способность *Allium fistulosum* развивать адаптивный ответ при воздействии на растение спиртовыми растворами 1-(метилсульфонил)-1H-1,2,4-триазола, 2-(фенилсульфонил)-2H-бензотриазола, 2-(метилсульфонил)-2H-бензотриазола. Для этого семена в течение 1 суток проращивали в растворах низкой концентрации 0,0001 мг/мл, затем на 4 суток переносили в растворы с концентрацией 0,1 мг/мл. Одновременно семена проращивали в течение 5 суток в растворах исследуемых концентраций в течение 5 суток. Обнаружили что растения на организменном уровне демонстрировали адаптивный ответ, снижая ингибирующие действия соединений в высокой концентрации на рост корней и всхожесть семян. Независимо от типа воздействия на клеточном уровне соединения вызывали блок на стадии анафазы, а число индуцированных хромосомных aberrаций также не зависело ни от концентраций, ни от типов воздействия соединениями на клетки корневой меристемы. Все соединения не вызывали адаптивного ответа в клетках корневой меристемы.

Ключевые слова: *Allium fistulosum*, адаптивный ответ, генотоксичность, митотический индекс, ингибирование.

THE POSSIBILITY OF DEVELOPING AN ADAPTIVE RESPONSE IN PLANTS TO THE GENOTOXICITY OF NITROGEN-CONTAINING HETEROCYCLIC COMPOUNDS

Research article

Belousova Z.P.¹, Selezneva E.², Ilina V.A.^{3,*}³ORCID : 0009-0000-6277-2290;¹ Samara National Research University, Samara, Russian Federation^{2,3} Samara University, Samara, Russian Federation

* Corresponding author (veronikaoot[at]gmail.com)

Abstract

The ability of *Allium fistulosum* to develop an adaptive response when the plant was exposed to alcohol solutions of 1-(methylsulfonyl)-1H-1,2,4-triazole, 2-(phenylsulfonyl)-2H-benzotriazole, 2-(methylsulfonyl)-2H-benzotriazole was studied. For this purpose, seeds were germinated for 1 day in solutions of low concentration of 0.0001 mg/ml, then transferred to solutions with concentration of 0.1 mg/ml for 4 days. At the same time, the seeds were germinated for 5 days in the solutions of the tested concentrations for 5 days. The plants were found to show an adaptive response at the organismal level, reducing the inhibitory effects of the compounds in high concentration on root growth and seed germination. Regardless of the type of exposure at the cellular level, the compounds induced a block at the anaphase stage, and the number of induced chromosome aberrations was also not affected by either concentration or type of exposure to the compounds on root meristem cells. All compounds did not induce an adaptive response in root meristem cells.

Keywords: *Allium fistulosum*, adaptive response, genotoxicity, mitotic index, inhibition.

Введение

В настоящее время существует проблема соотношения роста населения и, как следствие этого, возрастание потребности в сельскохозяйственной продукции и возможности усиления продуктивности растений, используемых в пищевой промышленности, за счёт химических соединений. Исследование причин возникновения многочисленных аллергий указало на их связь со способностью растений аккумулировать эти соединения их не только в стеблях и корнях, но и в плодах. Это является причиной продолжения поиска препаратов, применяемых в сельском хозяйстве, с высокой избирательностью их действия. Среди таких препаратов все чаще применяются производные гетероциклических азотсодержащих соединений, уже продемонстрировавших свою эффективность [1, С. 464].

Однако их постоянное использование привело к появлению сорных растений и грибов-паразитов, устойчивых к ним [2, С. 39-40].

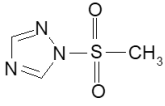
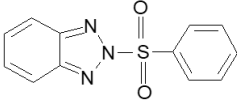
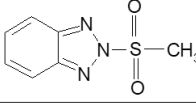
Выяснение механизмов избирательного возникновения устойчивости к определённым соединениям с целью разработки способов повышения адаптационных способностей только у культурных растений, не затрагивая механизмы адаптации у сорных растений и патогенных грибов, является первостепенной.

Целью данного исследования стало изучение способности растений адаптироваться к генотоксичности синтетических гетероциклических азолов в высокой дозе (0,1 мг/мл) при предварительном воздействии этими же соединениями в очень низких концентрациях (0,0001 мг/мл).

Методы и принципы исследования

В качестве тест-объекта использовался лук-батун *Allium fistulosum* сорта «Русский зимний». Мы исследовали гетероциклические азотсодержащие сульфонильные производные, различающиеся структурами гетероцикла и сульфокислоты (табл.1).

Таблица 1 - Соединения, использованные в эксперименте
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.52.1>

Нумерация веществ	Структурные формулы веществ	Названия веществ
I		1-(метилсульфонил)-1 <i>H</i> -1,2,4-триазол
II		2-(фенилсульфонил)-2 <i>H</i> -бензотриазол
III		2-(метилсульфонил)-2 <i>H</i> -бензотриазол

Соединения растворяли в 0,5 % изопропиловом спирте. Было поставлено три серии экспериментов.

Серия 1. Семена лука по 30 штук проращивали в чашках Петри в трех повторах в спиртовых растворах соединений в концентрации 0,0001 мг/мл в течение 5 суток.

Серия 2. Семена лука по 30 штук проращивали в чашках Петри в трех повторах в спиртовых растворах соединений в концентрации 0,1 мг/мл в течение 5 суток.

Серия 3. Семена лука по 30 штук проращивали в чашках Петри в трех повторах в спиртовых растворах соединений в концентрации 0,0001 мг/мл в течение суток, затем их переносили в чашки Пери с растворами в концентрации 0,1 мг/мл на четверо суток.

Контролем служили семена, пророщенные в растворителе в течение 5 суток.

Оценивали: токсичность по всхожести семян в процентах, длине корней на 5 день роста, в мм.; цитотоксичность – по величине митотического индекса, и митозомодифицирующее действие по изменению относительной продолжительности фаз митоза. Для этого готовили стандартные давленные препараты, окрашенные ацетокармином [3, С. 275].

Мутагенность оценивали по числу аберрантных ана-телофаз [4, С. 86-96].

Достоверность различий между опытом и контролем, а также между действиями разных концентраций, оценивали с помощью двухфакторного анализа и непараметрического критерия Вилкоксона-Манна-Уитни [5, С. 130-131, 179-195].

Результаты и обсуждение

Лук-батун, как правило, имеет хорошую всхожесть, однако проращивание в спиртовом растворе снизило всхожесть семян по сравнению с проращиванием в воде. В наших экспериментах всхожесть семян в контроле составила 70%.

На рис. 1 обобщены результаты по проведенным экспериментам влияния соединений 1-(метилсульфонил)-1*H*-1,2,4-триазола (I), 2-(фенилсульфонил)-2*H*-бензотриазола (II), 2-(метилсульфонил)-2*H*-бензотриазола (III).

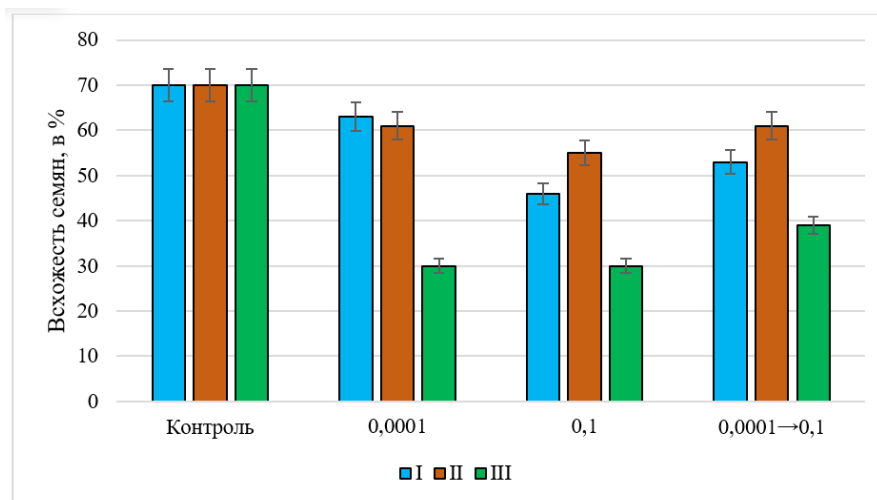


Рисунок 1 - Влияние разных типов воздействия соединений 1-(метилсульфонил)-1Н-1,2,4-триазола (I), 2-(фенилсульфонил)-2Н-бензотриазола (II), 2-(метилсульфонил)-2Н-бензотриазола (III) на всхожесть семян *Allium fistulosum*

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.52.2>

Как видно из полученных результатов, высокая концентрация (0,1 мг/мл) исследуемых азолов достоверно ингибирует всхожесть семян ($p < 0,05$). Самую высокую токсичность проявили производные с метильной группой 1-(метилсульфонил)-1Н-1,2,4-триазола и 2-(метилсульфонил)-2Н-бензотриазол, самую низкую – фенильное производное бензотриазола (2-(фенилсульфонил)-2Н-бензотриазол). Предварительное проращивание в растворах с низкой концентрацией (0,0001 мг/мл) достоверно ($p < 0,05$) повышало всхожесть, после проращивания потом в растворах высокой концентрации. Величина адаптивного ответа достоверно зависела от строения веществ. Самый высокий адаптивный ответ наблюдался в случае с фенильным производным бензотриазола, что совпадает с ранее полученными результатами, в исследованиях генотоксичности фенольных производных бензимидазола [6, С. 112-113].

Исследуя влияние типа воздействия гетероциклическими азолами на длину корней *Allium fistulosum*, мы обнаружили, что и в этом случае наблюдается адаптивный ответ, выражающийся в снижении токсичности при последующем проращивании тест-объекта в растворах высокой концентрацией (рис. 2). Однако достоверно влияла только самая низкая концентрация, независимо от структуры фрагмента гетероцикла ($p < 0,05$).

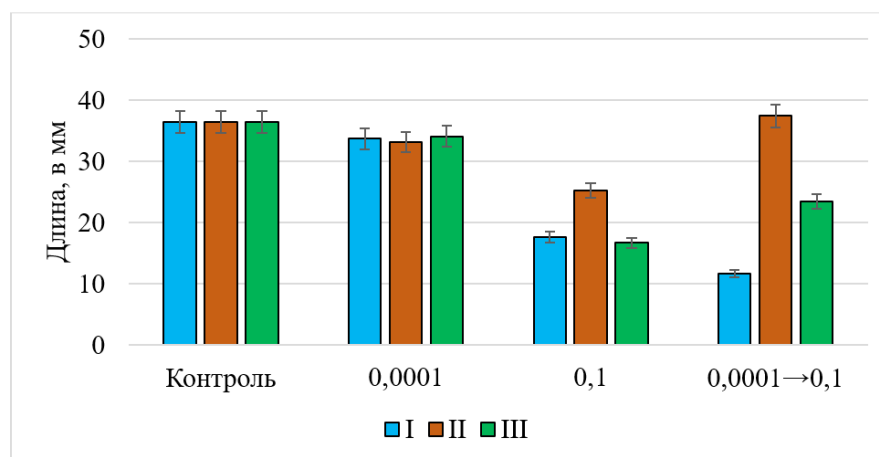


Рисунок 2 - Влияния разных типов воздействия соединений 1-(метилсульфонил)-1Н-1,2,4-триазола (I), 2-(фенилсульфонил)-2Н-бензотриазола (II), 2-(метилсульфонил)-2Н-бензотриазола (III) на длину корней *Allium fistulosum*

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.52.3>

Ростовые процессы в значительной степени определяются митотической активностью клеток корневой меристемы. Исследование влияния типа воздействия на величину митотического индекса в клетках корневой меристемы представлено на рис. 3.

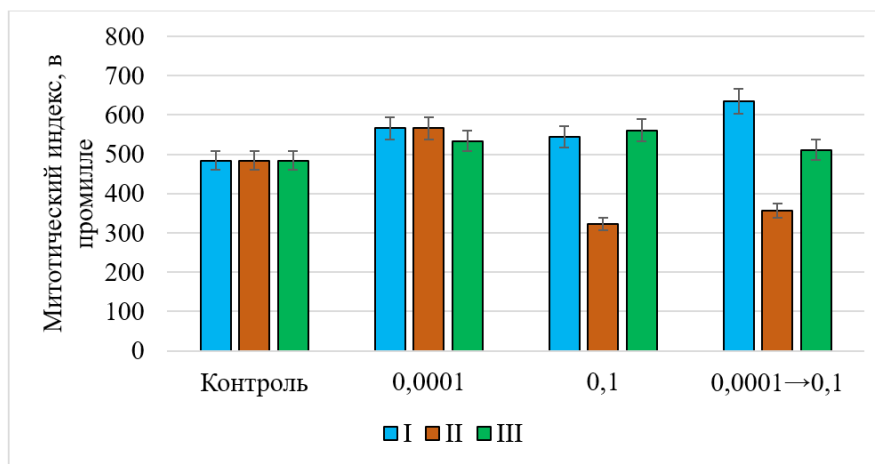


Рисунок 3 - Влияния разных типов воздействия соединений 1-(метилсульфонил)-1H-1,2,4-триазола (I), 2-(фенилсульфонил)-2H-бензотриазола (II), 2-(метилсульфонил)-2H-бензотриазола (III) на величину митотического индекса в клетках корневой меристемы *Allium fistulosum*
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.52.4>

Повышение величины митотического индекса может быть связано с возникновением блоков на определенных стадиях митоза, однако соединение 2-(фенилсульфонил)-2H-бензотриазол резко ингибирует клеточные деления. Чтобы объяснить наблюдаемое явление, мы подсчитали относительную продолжительность фаз митоза. Результаты представлены на рис. 4.

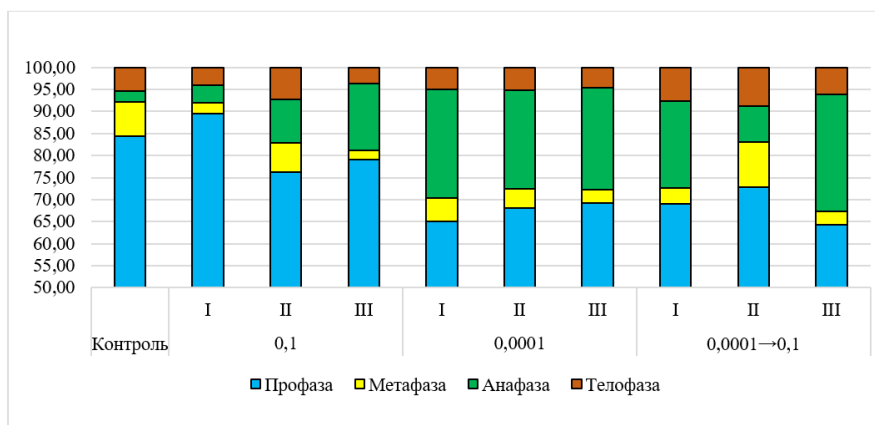


Рисунок 4 - Влияние разных типов воздействия соединений 1-(метилсульфонил)-1H-1,2,4-триазола (I), 2-(фенилсульфонил)-2H-бензотриазола (II), 2-(метилсульфонил)-2H-бензотриазола (III) на относительную продолжительность фаз митоза в клетках корневой меристемы *Allium fistulosum*
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.52.5>

Как видно из представленных результатов, все исследованные гетероциклические азолы в низких концентрациях вызывают блок на стадии анафазы, что совпадает с данными по фенольным производным бензимидазолов [6, С. 112-113].

Производные бензотриазола 2-(фенилсульфонил)-2H-бензотриазол и 2-(метилсульфонил)-2H-бензотриазол в высокой концентрации также вызывают блок на стадии анафазы. В отличие от них производное триазола – 1-(метилсульфонил)-1H-1,2,4-триазол настолько цитотоксично, что вызывает блок на стадии профазы. Предварительное воздействие низкими дозами метильных производных 1-(метилсульфонил)-1H-1,2,4-триазола и 2-(метилсульфонил)-2H-бензотриазола сохраняло митотический профиль, характерный для воздействия низкой концентрации. Фенильное производное II остается похожим на профиль воздействия высокой дозой. Полученные нами результаты совпадают с данными других исследователей, обнаруживших, что триазольные фунгициды при протравливании семян растений вызывали различные изменения, отражающихся на урожае [7, С. 47-49], [8, С. 22-24]. К ним можно отнести ретардантное действие, обусловленное подавлением биосинтеза гиббереллина [9, С. 35-447], увеличение содержания хлорофилла [10, С. 416-419], повышение содержания белка в зерне [11, С. 63-70].

Было показано, что ципроконазол в концентрации 125 мкг/10 г семян, подавляет всхожесть и рост побегов яровой пшеницы и ячменя [12, С. 57-64]. Проращивание семян *Allium cepa* в растворах тебуконазола в течение 48 ч ингибировало рост корней и уменьшало величину митотического индекса, увеличивало количество хромосомных и ядерных аберраций. Ингибирующее действие тебуконазола в концентрации 50–200 мкг/мл полностью подавляло митоз

[13, С. 207]. Снижение митотического индекса и увеличение хромосомных aberrаций также наблюдали при действии 10 и 100 мкг/л тебуконазола на водный макрофит *Bidens laevis* в течение 14 дней [14, С. 353-357]. Также обнаружили ингибирование роста общей длины (длина побега + длина корня): она снизилась у растений, подвергшихся воздействию 0,1, 10 и 100 мкг/л. Ретардантное действие триазолов и их производных обусловлено подавлением биосинтеза гиббереллина трех его звеньях уже на ранних стадиях развития растений [15, С. 2491–2500], [16, С. 1197–1210].

Проведённый ана-телофазный анализ при разных типах воздействия исследованными гетероциклическими азолами I-III, показан на рис. 5. Исследованные соединения индуцировали все типы aberrантных ана-телофаз [17, С. 264], что указывает на их способность вмешиваться в метаболизм нуклеиновых кислот.

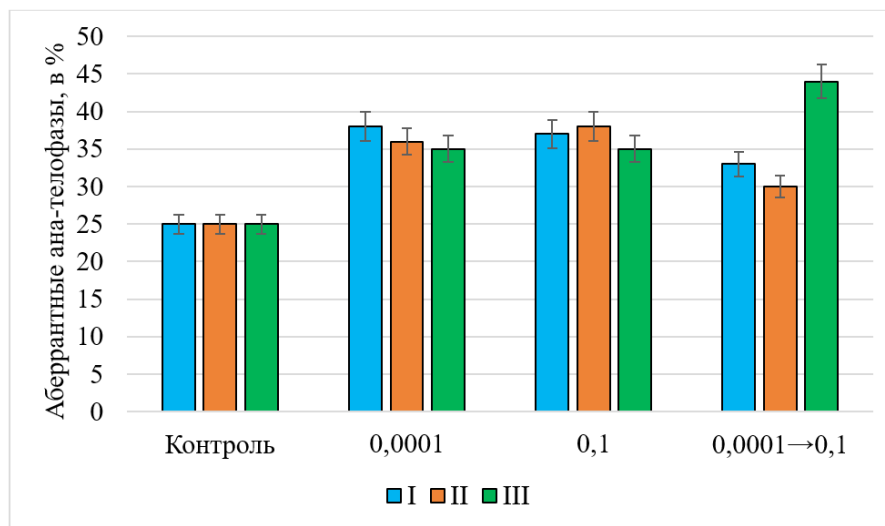


Рисунок 5 - Влияние разных типов воздействия соединениями 1-(метилсульфонил)-1H-1,2,4-триазола (I), 2-(фенилсульфонил)-2H-бензотриазол (II), 2-(метилсульфонил)-2H-бензотриазол (III) на частоту aberrантных ана-телофаз в клетках корневой меристемы *Allium fistulosum*
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.52.6>

Из представленных результатов видно, что исследованные соединения достоверно увеличивают число aberrантных ана-телофаз в клетках корневой меристемы *Allium fistulosum* ($p < 0,05$). Используя непараметрический критерий Вилкоксона-Манна-Уитни, мы обнаружили, что для производного триазола – 1-(метилсульфонил)-1H-1,2,4-триазол выявлен адаптивный ответ, то есть предварительное воздействие этим соединением достоверно снижает число хромосомных aberrаций после воздействия его высокой дозой. Это подтверждают ранее полученные результаты [18, С. 12-17]. Однако мы не выявили достоверных различий между мутагенностью бензотриазольных производных и их влияния в избранном диапазоне концентраций на число индуцированных хромосомных aberrаций.

Заключение

Анализируя полученные результаты, можно предположить, что сульфонильные производные триазола и бензотриазола, вмешиваясь в метаболизм растений, нарушают сложную регуляцию онтогенеза растущего тест-объекта и выступают и как клеточные яды, и как мутагены, снижая механизмы адаптиогенеза растений. Используя их в нетоксичных дозах, можно активировать процессы адаптиогенеза, но на физиологическом уровне вызывая адаптивный ответ. Однако на клеточном уровне адаптивного ответа не наблюдается.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Побежимова Т.П. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы / Т.П. Побежимова, А.В. Корсукова, Н.В. Дорофеев [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. — 2019. — Т. 9. — № 3. — С. 461-476.
2. Тютюрев С.Л. Проблемы устойчивости фитопатогенов к новым фунгицидам / С.Л. Тютюрев // Вестник защиты растений. — 2001. — № 1. — С. 38-53.
3. Гостимский С.А. Практикум по цитогенетике / С.А. Гостимский — М.: МГУ, 1975. — 275 с.

4. Адлер И.Д. Руководство по краткосрочным тестам для выявления мутагенных и канцерогенных химических веществ / И.Д. Адлер, Н. Данфорд, У. Эхлинг // Гигиенические критерии состояния окружающей среды. — 1989. — № 51. — С. 212.
5. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин — М.: Высшая школа, 1990. — 352 с.
6. Селезнева Е.С. Генотоксичность синтетических фенольных производных бензимидазола / Е.С. Селезнева, З.П. Белоусова, Л.М. Моисеева // Вестник ОГУ. — 2010. — № 5. — С. 111-114.
7. Немченко В.В. Целесообразность применения фунгицидов на яровой пшенице / В.В. Немченко, Н.Ю. Заргарян, Н.Ю. Фомина // Защита и карантин растений. — 2012. — № 10. — С. 47-49.
8. Немченко В.В. Протравливание семян – первая ступень получения защищенного и продуктивного агроценоза / В.В. Немченко, А.Ю. Кекало, Н.Ю. Заргарян [и др.] // Защита и карантин растений. — 2014. — № 3. — С. 22-24.
9. Yang L. The Role of Gibberellins in Improving the Resistance of Tebuconazole-Coated Maize Seeds to Encapsulation / L. Yang, D. Yang, X. Yan [et al.] // Scientific Reports. — 2016. — № 6. — P. 35447. — DOI: 10.1038/srep35447
10. Rogach V.V. Effect of Gibberellin and Retardants on Morphogenesis, Photosynthetic Apparatus and Productivity of the Potato / V.V. Rogach, I.V. Poprotska, V.G. Kuryata // Visnyk of Dnipropetrovsk University. Series. Biology, Ecology. — 2016. — Vol. 24. — № 2. — P. 416-420. — DOI: 10.15421/011656
11. Vyamukama E. Winter Wheat Grain Yield Response to Fungicide Application is Influenced by Cultivar and Rainfall / E. Vyamukama, S. Ali, J. Kleinjan [et al.] // Plant Pathology Journal. — 2019. — Vol. 35. — № 1. — P. 63-70. — DOI: 10.5423/PPJ.OA.04.2018.0056
12. Байбакова Е.В. Исследование влияния современных протравителей на всхожесть и рост проростков зерновых культур / Е.В. Байбакова, Е.Э. Нефедьева, С.Л. Белопухов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. — 2016. — Т. 6. — № 3. — С. 57-64.
13. Bernardes P.M. Toxicity of Difenoconazole and Tebuconazole in Allium cepa / P.M. Bernardes, L.F. Andrade-Vieira, F.B. Aragao [et al.] // Water Air and Soil Pollution. — 2015. — № 226. — P. 207. — DOI: 10.1007/s11270-015-2462-y
14. Moreyra L.D. Evaluation of Growth, Photosynthetic Pigments and Genotoxicity in the Wetland Macrophyte Bidens laevis Exposed to Tebuconazole / L.D. Moreyra, D.S. Garanzini, S. Medici [et al.] // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. — 2019. — Vol. 102. — № 3. — P. 353–357. — DOI: 10.1007/s00128-019-02539-8
15. Haughan P.A. Sterol Requirements and Paclobutrazol Inhibition of a Celery Cell Culture / P.A. Haughan, J.R. Lenton, L.J. Goad // Phytochemistry. — 1988. — V. 27. — № 8. — P. 2491-2500. — DOI: 10.1016/0031-9422(88)87016-X
16. Kende H. The Five “Classical” Plant Hormones / H. Kende, J. Zeevaart // The Plant Cell. — 1997. — Vol. 9. — № 7. — P. 1197-1210. — DOI: 10.1105/tpc.9.7.1197
17. Алов И.В. Цитофизиология и паталогия митоза / И.В. Алов. — М.: Медицина, 1972. — 264 с.
18. Маслякова А.А. Оценка реакции тест-объектов, используемых в мониторинге химических веществ, на воздействие триазолидов / А.А. Маслякова, Е.С. Селезнева // Сборник научных статей XIV Международной конференции. Наука. Творчество; — Самара: Академия для одаренных детей (Наянковой), 2018. — С. 12-17.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Pobezhimova T.P. Fiziologicheskie jeffekty dejstvija na rastenija fungicidov triazol'noj prirody [Physiological Effects of Triazole Fungicides on Plants] / T.P. Pobezhimova, A.V. Korsukova, N.V. Dorofeev [et al.] // Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology] — 2019. — Vol. 9. — № 3. — P. 461-476. [in Russian]
2. Tyuterev S.L. Problemi ustoichivosti fitopatogenov k novim fungitsidam [Problems of Resistance of Phytopathogens to New Fungicides] / S.L. Tyuterev // Vestnik zashchiti rastenii [Bulletin of Plant Protection]. — 2001. — № 1. — P. 38-53. [in Russian]
3. Gostimskij S.A. Praktikum po citogenetike [Workshop on Cytogenetics] / S.A. Gostimskij — М.: MGU, 1975. — 275 p. [in Russian]
4. Adler I.D. Rukovodstvo po kratkosrochnim testam dlya viyavleniya mutagenikh i kantserogennikh khimicheskikh veshchestv [Guidelines for Short-Term Tests for the Detection of Mutagenic and Carcinogenic Chemicals] / I.D. Adler, N. Danford, U. Ekhlng // Gigenicheskie kriterii sostoyaniya okruzhayushchei sredi [Hygienic Criteria for the State of the Environment]. — 1989. — № 51. — P. 212. [in Russian]
5. Lakin G.F. Biometriya [Biometrics] / G.F. Lakin — М.: Vy'sshaya shkola, 1990. — 352 p. [in Russian]
6. Selezneva Ye.S. Genotoksichnost sinteticheskikh fenolnikh proizvodnikh benzimidazola [Genotoxicity of Synthetic Phenolic Derivatives of Benzimidazole] / Ye.S. Selezneva, Z.P. Belousova, L.M. Moiseeva // Vestnik OGU [Bulletin of Orenburg State University]. — 2010. — № 5. — P. 111-114. [in Russian]
7. Nemchenko V.V. Tselesoobraznost primeneniya fungitsidov na yarovoii pshenitse [The Expediency of Using Fungicides on Spring Wheat] / V.V. Nemchenko, N.Yu. Zargaryan, N.Yu. Fomina // Zashchita i karantin rastenii [Plant Protection and Quarantine]. — 2012. — № 10. — P. 47-49. [in Russian]
8. Nemchenko V.V. Protravlivanie semyan – pervaya stupen polucheniya zashchishchennogo i produktivnogo agrotsenoza [Seed Treatment is the First Step in Obtaining a Protected and Productive Agroecosystem] / V.V. Nemchenko, A.Yu. Kekalo, N.Yu. Zargaryan [et al.] // Zashchita i karantin rastenii [Plant Protection and Quarantine]. — 2014. — № 3. — P. 22-24. [in Russian]
9. Yang L. The Role of Gibberellins in Improving the Resistance of Tebuconazole-Coated Maize Seeds to Encapsulation / L. Yang, D. Yang, X. Yan [et al.] // Scientific Reports. — 2016. — № 6. — P. 35447. — DOI: 10.1038/srep35447
10. Rogach V.V. Effect of Gibberellin and Retardants on Morphogenesis, Photosynthetic Apparatus and Productivity of the Potato / V.V. Rogach, I.V. Poprotska, V.G. Kuryata // Visnyk of Dnipropetrovsk University. Series. Biology, Ecology. — 2016. — Vol. 24. — № 2. — P. 416-420. — DOI: 10.15421/011656

11. Byamukama E. Winter Wheat Grain Yield Response to Fungicide Application is Influenced by Cultivar and Rainfall / E. Byamukama, S. Ali, J. Kleinjan [et al.] // *Plant Pathology Journal*. — 2019. — Vol. 35. — № 1. — P. 63-70. — DOI: 10.5423/PPJ.OA.04.2018.0056
12. Baibakova E.V. Issledovanie vlijaniya sovremennyh protravitelej na vshozhest' i rost prorostkov zernovyh kul'tur [A Study of the Influence of Modern Dressing Agents on the Germination and Growth of Seedlings of Grain Crops] / E.V. Baibakova, E.E. Nefedyeva, S.L. Belopukhov // *Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. — 2016. — Vol. 6. — № 3. — P. 57-64 [in Russian]
13. Bernardes P.M. Toxicity of Difenconazole and Tebuconazole in *Allium cepa* / P.M. Bernardes, L.F. Andrade-Vieira, F.B. Aragao [et al.] // *Water Air and Soil Pollution*. — 2015. — № 226. — P. 207. — DOI: 10.1007/s11270-015-2462-y
14. Moreyra L.D. Evaluation of Growth, Photosynthetic Pigments and Genotoxicity in the Wetland Macrophyte *Bidens laevis* Exposed to Tebuconazole / L.D. Moreyra, D.S. Garanzini, S. Medici [et al.] // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. — 2019. — Vol. 102. — № 3. — P. 353–357. — DOI: 10.1007/s00128-019-02539-8
15. Haughan P.A. Sterol Requirements and Paclobutrazol Inhibition of a Celery Cell Culture / P.A. Haughan, J.R. Lenton, L.J. Goad // *Phytochemistry*. — 1988. — V. 27. — № 8. — P. 2491-2500. — DOI: 10.1016/0031-9422(88)87016-X
16. Kende H. The Five “Classical” Plant Hormones / H. Kende, J. Zeevaart // *The Plant Cell*. — 1997. — Vol. 9. — № 7. — P. 1197-1210. — DOI: 10.1105/tpc.9.7.1197
17. Alov I.V. Tsitofiziologiya i patalogiya mitotza [Cytophysiology and Pathology of Mitosis] / I.V. Alov. — M.: Meditsina, 1972. — 264 p. [in Russian]
18. Maslyakova A.A. Otsenka reaktsii test-obektov, ispolzuemikh v monitoringe khimicheskikh veshchestv, na vozdeistvie triazolidov [Evaluation of the Response of Test Objects Used in Monitoring Chemicals to the Effect of Triazolides] / A.A. Maslyakova, Ye.S. Selezneva // *Collection of scientific articles of the XIV International Conference. Science. Creativity*; — Samara: Academy for Gifted Children (Nayanova), 2018. — P. 12-17. [in Russian]