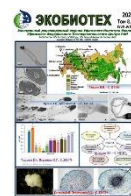




ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



УДК 579.222.2



UDC 579.222.2

ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ К РОСТУ НА ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ 2,4-ДИХЛОРФЕНОКСИУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ ДЕСТРУКЦИИ У БАКТЕРИАЛЬНЫХ ШТАММОВ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОПОВ г. Уфы

**Жарикова Н.В.^{1*}, Анисимова Л.Г.²,
Журенко Е.Ю.¹, Коробов В.В.¹**

¹ Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

² ГБУ РБ «Научно-исследовательский технологический институт гербицидов и регуляторов роста растений с опытно-экспериментальным производством Академии наук Республики Башкортостан», Уфа, Россия

*E-mail: puzzle111@yandex.ru

EVALUATION OF THE GROWTH CAPACITY AND DESTRUCTION EFFICIENCY OF 2,4 DICHLOROPHOXYACETIC ACID AT HIGH CONCENTRATIONS IN BACTERIAL STRAINS OF TECHNOGENIC ECOTOPES OF UFA

**Zharikova N.V.^{1*}, Anisimova L.G.²,
Zhurenko E.Yu.¹, Korobov V.V.¹**

¹ Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

² State Budgetary Institution of the Republic of Bashkortostan «Research Technological Institute of Herbicides and Plant Growth Regulators with Pilot Production of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan», Ufa, Russia

*E-mail: puzzle111@yandex.ru

Аннотация

В работе исследовались пятнадцать бактериальных штаммов, выделенных из образцов почвы и сточных вод промышленной зоны предприятия ОАО «Уфажимпром». Активность объектов исследования по отношению к 2,4-Д оценивали визуально по наличию/отсутствию роста в минимальной солевой среде М9 с 2,4-Д в концентрации 1000 мг/л в качестве единственного источника углерода. По итогам опыта были выбраны четыре наиболее перспективных штамма, а именно: Zop, dx-2, C-1 и 33T, для дальнейшего исследования динамики роста и степени утилизации субстрата. Показано, что в периодической культуре все четыре штамма способны использовать 2,4-Д в высокой концентрации (1000 мг/л) в качестве единственного источника углерода и энергии, с эффективностью деградации для каждого штамма: Zop – 50.0%, dx-2 – 39.7%, C-1 – 32.3% и 33T – 55.4%.

Ключевые слова

штаммы-деструкторы ♦ 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота ♦ деградация ♦ гербициды ♦ биоремедиация

Поступила в редакцию: 19.06.2025

Принято в печать: 26.06.2025

[Цитировать | Cite as](#)

[DOI: 10.31163/2618-964X/2025-20](https://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-20)

[EDN: BLQFKR](#)

Abstract

The work examined fifteen bacterial strains isolated from soil and wastewater samples of the industrial zone of the enterprise "Ufakhimprom". The activity of the study objects in relation to 2,4-D was visually assessed by the presence/absence of growth in the minimum salt medium M9 with 2,4-D at a concentration of 1000 mg / l as the only carbon source. Based on the results of the experiment, four of the most promising strains were selected, namely: Zop, dx-2, C-1 and 33T, for further study of growth dynamics and the degree of substrate utilization. In batch culture, all four strains were shown to be able to utilize 2,4-D at high concentrations (1000 mg/L) as the sole source of carbon and energy, with degradation efficiency for each strain being: Zop – 50.0%, dx-2 – 39.7%, C-1 – 32.3%, and 33T – 55.4%.

Keywords

degrader strain ♦ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid ♦ degradation ♦ herbicides ♦ bioremediation

Received: 19.06.2025

Accepted: 26.06.2025

ВВЕДЕНИЕ

2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д) имеет богатую историю применения и известна своей эффективностью, экономической рентабельностью и широким спектром возможностей в борьбе с сорняками. 2,4-Д относится к группе гербицидов на основе феноксиуксусных кислот. Члены этого семейства классифицируются в зависимости от заместителей в бензольном кольце, положений замещения и групп, присоединённых

к -ОН-СООН. Примерами может служить 2-метил-4-хлорфеноксиуксусная кислота, бутил-2,4-дихлорфеноксиацетат (бутиловый эфир 2,4-Д), изобутил-2,4-дихлорфеноксиацетат (изобутиловый эфир 2,4-Д) [Chen et al., 2024].

2,4-Д широко применяется во всем мире, при этом наибольшее использование наблюдается на таких рынках, как Соединенные Штаты, Южная Америка, Китай, Европа и Россия. В частности, для борьбы с сорняками при выращивании сельскохозяйственных культур в Китае ежегодно потребляется 5-8 тыс. тонн, в Аргентине – около 2.2 тыс. тонн бутилового эфира 2,4-Д [Merini et al., 2007 Zhang et al., 2010]. Повсеместное и регулярное применение гербицидов этого семейства может способствовать развитию устойчивости к ним, что потенциально ведет к усилению загрязнения окружающей среды и риску для здоровья людей. Необходимо отметить, что Всемирной организацией здравоохранения 2,4-Д классифицируется как токсичный гербицид класса 2В.

2,4-Д – это синтетический аналог гормона растений гетероауксина (β -индолилуксусной кислоты), при использовании которой происходит нарушение гормональных сигнальных путей в сорняках. С одной стороны, имеет место реализация ауксиновой (ростстимулирующей), а с другой – ингибиторной активностей. Вещество вызывает неконтролируемое деление клеток в тканях, которые отвечают за передвижение воды и питательных веществ – флоэме и ксилеме. В то же время оно подавляет процессы окислительного фосфорилирования, синтеза нуклеиновых кислот, вызывает уменьшение количества эндогенных ауксинов. В результате листья деформируются, идет повреждение репродуктивных органов и проводящих тканей, что заканчивается или отмиранием его части, или гибелью всего растения [Садовский, 2005].

При попадании 2,4-Д в окружающую среду лишь очень небольшая ее часть, около 5%, поглощается сорняками, на которые воздействует гербицид, остальное же поступает в почву и водные системы. Попадая в сточные и грунтовые воды, 2,4-Д представляет угрозу для нецелевой флоры и фауны и, что более серьезно, создаёт значительную опасность для здоровья человека [McManus et al., 2014; Ju et al., 2019].

Основным способом преобразования молекул гербицида в окружающей среде является метаболизм почвенными микроорганизмами, поэтому выделение и идентификация эффективных штаммов, разлагающих 2,4-Д, играют важнейшую роль в биоремедиации остаточного загрязнения окружающей среды этим соединением [Serbent et al., 2019 Wang et al., 2023].

Цель работы – оценить способность к росту на высоких концентрациях 2,4-Д и эффективность ее деструкции у бактериальных изолятов техногенных экотопов г. Уфы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили пятнадцать бактериальных штаммов, выделенных из образцов почвы и сточных вод промышленной зоны предприятия ОАО «Уфхимпром» (г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия).

Первоначальный скрининг активности объектов исследования по отношению к 2,4-Д оценивали визуально по наличию/отсутствию роста в минимальной солевой среде М9 с 2,4-Д в концентрации 1000 мг/л в качестве единственного источника углерода, как было описано ранее [Журенко и др., 2023].

Для исследования динамики роста и утилизации субстрата бактериальный штамм выращивали в конических колбах (250 мл) на минимальной солевой среде М9, содержащей 2,4-Д (1000 мг/л) как единственный источник углерода. В качестве инокулята использовали культуру в экспоненциальной фазе роста, выращенную на богатой среде LB.

Культивирование выполняли при температуре 28°C в шейкер-инкубаторе ES-20/60 («Biosan», Латвия) при 120 об/мин. Интенсивность роста культуры оценивали по оптической плотности (ОП₅₉₀) клеточной суспензии с использованием денситометра DEN-1B («Biosan», Латвия).

Удельную скорость роста (μ , ч⁻¹) рассчитывали по стандартной формуле: $\mu = (\ln B_2 - \ln B_1)/(t_2 - t_1)$, где B_1 и B_2 – оптические плотности культуры в моменты времени t_1 и t_2 , соответственно [Нетрусов, 2005].

Анализ содержания 2,4-Д в образцах культуральной жидкости проводился на жидкостном хроматографе Waters Breeze («Waters Corporation», США) со спектрофотометрическим детектором. Использовалась колонка Nova Pak C18 (300x3.9 мм, 4 мкм) («Waters Corporation», США). В качестве подвижной фазы применяли элюент состава ацетонитрил – 0.1 н УК=30-70. Скорость подачи подвижной фазы 1 мл/мин. Стандартные образцы массой 10; 5 и 2 мг растворяли в 10 мл элюента: ацетонитрил – 0.1н уксусная кислота (30:70). 50 мкл анализируемого образца вводили в аналитическую петлю объемом 100 мкл и записывали хроматограмму. Содержание 2,4-Д в исследуемых образцах определяли методом ВЭЖХ по градуировочному графику.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе первоначального скрининга активности исследуемых объектов по их отношению к 2,4-Д пятнадцать бактериальных штаммов, выделенных из образцов почвы и сточных вод промышленной зоны предприятия ОАО «Уфхимпром», были высеяны в минимальную солевую среду М9, содержащую как единственный источник углерода 2,4-Д в концентрации 1000 мг/л. Полученные результаты, характеризующие активность штаммов по отношению к 2,4-Д, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Рост бактериальных штаммов на 2,4-Д (1000мг/л) как единственном источнике углерода

№	Обозначение штаммов	2,4-Д 1000мг/л		
		I	II	III
1	PP	+/-	+/-	-
2	5f	-	-	-
3	Zop	++	++	++
4	R-1	++	+	+
5	R-2	+	+	+
6	R-3	+	+	+
7	Fcr	+	+	+
8	dx-2	++	++	++
9	dx-3	++	+	+
10	III-2	+	++	+
11	C-1	+/-	-	-
12	C-2R	+/-	-	-
13	C-2G	-	-	-
14	22S	++	+	+
15	33T	++	++	++

Условные обозначения: от «+++» до «+/-» – градация степени бактериального роста от большего к меньшему; «-» – отсутствие роста; I, II, III – повторности опыта.

По итогам опыта были выбраны четыре наиболее перспективных штамма, а именно: Zop, dx-2, C-1 и 33Т, для дальнейшего исследования динамики роста и степени утилизации субстрата.

Показано, что в периодической культуре четыре исследованных штамма способны к росту на 2,4-Д в концентрации 1000 мг/л (табл. 2). Наиболее высокие значения оптической плотности зафиксированы для штаммов 33Т и Zop: 0.44 и 0.30 оптических единиц, соответственно. Эти два штамма продемонстрировали наивысшую степень утилизации субстрата $\geq 50\%$. Остальные штаммы (dx-2 и C-1) также снижали концентрацию 2,4-Д, но в меньшей степени. Кроме того, культура Zop показала самую высокую удельную скорость роста ($\mu = 0.035 \pm 0.001 \text{ ч}^{-1}$). Относительно низкие значения максимальных показаний оптической плотности клеточных суспензий свидетельствует о подавляющем влиянии высокой концентрации 2,4-Д.

Таблица 2. Параметры роста штаммов Zop, dx-2, C-1 и 33Т в минеральной среде с 2,4-Д (1000 мг/л) как единственном источнике углерода

штамм	Удельная скорость роста (ч^{-1})	Максимальное значение ОП ₅₉₀	Лag-фаза роста (ч)	Остаточное количество субстрата, мг/мл	эффективность деградации, %
Zop	0.035±0.001	0.30	24	0.500	50.0
dx-2	0.025±0.003	0.11	24	0.603	39.7
C-1	0.020±0.003	0.10	24	0.677	32.3
33Т	0.015±0.002	0.44	0	0.446	55.4

ОБСУЖДЕНИЕ

На сегодняшний день проведено немало исследований биоразложения 2,4-Д и идентифицировано множество штаммов микроорганизмов-деструкторов этого соединения [Zharikova et al., 2018; Chen et al., 2024]. Однако большинство описанных в литературе бактерий растут на 2,4-Д в невысоких концентрации 50-300 мг/л, известны лишь несколько штаммов бактерий разлагающих 2,4-Д в концентрациях 350 мг/л и выше. В частности, при начальной концентрации 2,4-Д 350 мг/л штаммы *Cupriavidus pinatubonensis* VJ71 и *Cupriavidus pumpae* CPDB6^T продемонстрировали способность разлагать 99% и 22% гербицида в течение 6 и 35 дней, соответственно. Другие два штамма этого рода, *C. oxalaticus* X32 и *Cupriavidus* sp. CY-1 утилизировали 100% 2,4-Д в концентрации 500 мг/л, в течение 3 дней [Chen et al., 2024].

Микробные штаммы, выделенные из бразильских почв сельскохозяйственного назначения, инкубировали в течение двух недель при температуре 28°C в 100 мл питательной среды, содержащей 2,4-Д (2.35 мг/мл). Из 25 выделенных штаммов четыре бактериальные культуры обладали значительным деградационным потенциалом, при этом эффективность деградации для каждой составила: *Acinetobacter* sp.– 0.25%; *Serratia marcescens* – 0.25%; *Stenothrophomonas maltophilia* – 30.20% и *Flavobacterium* sp.– 10.10% [Silva et al., 2007].

Результаты проведенных исследований показали, что бактерии, выделенные из образцов почвы и сточных вод промышленной зоны предприятия ОАО «Уфахимпром», являются активными деструкторами 2,4-Д. Штаммы способны использовать 2,4-Д в качестве

единственного источника углерода и энергии в высокой концентрации (1000 мг/л), с эффективностью деградации для каждого штамма: Zor – 50.0%, dx-2 – 39.7%, C-1 – 32.3% и 33T – 55.4%. Полученные данные указывают на большой деградативный потенциал исследованных культур и перспективность дальнейшего использования в технологиях очистки почв и сточных вод, загрязненных хлорфеноксиуксусными гербицидами.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № 075-03-2021-607 по теме №122031100163-4 с использованием оборудования центра коллективного пользования УФИЦ РАН «Агидель».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Журенко Е.Ю., Жарикова Н.В., Коробов В.В. (2023) Активность бактериальных изолятов промышленного экотопа г. Уфы по отношению к хлорфеноксиуксусным кислотам. *Экобиотех.* **6**(4): 211-216. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-4-211-216>
- Нетрусов А.И. (ред) (2005) Практикум по микробиологии. Учебное пособие для вузов. Академия. Москва: 608.
- Садовский А.Д. (2005) 2,4-Д – первый киллер сорняков. *Химия и жизнь.* (9): 24-27.
- Chen S.F., Chen W.J., Song H., Liu M., Mishra S., Ghorab M.A., Chen S., Chang C. (2024) Microorganism-Driven 2,4-D Biodegradation: Current Status and Emerging Opportunities. *Molecules.* **29**(16): 3869. <https://doi.org/10.3390/molecules29163869>
- Ju Z., Liu S.S., Xu Y.Q., Li K. (2019) Combined toxicity of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and its metabolites 2,4-dichlorophenol (2,4-DCP) on two nontarget organisms. *ACS Omega.* **4**(1): 1669–1677 <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02282>
- McManus S.L., Moloney M., Richards K.G., Coxon C.E., Danaher M. (2014) Determination and occurrence of phenoxyacetic acid herbicides and their transformation products in groundwater using ultra high performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Molecules.* **19**(12): 20627-20649. <https://doi.org/10.3390/molecules191220627>
- Merini L.J., Cuadrado V., Flocco C.G., Giulietti A.M. (2007) Dissipation of 2,4-D in soils of the Humid Pampa region, Argentina: A microcosm study. *Chemosphere.* **68**(2): 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.01.012>
- Serbent M.P., Rebelo A.M., Pinheiro A., Giongo A., Tavares L.B.B. (2019) Biological agents for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide degradation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **103**: 5065–5078. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09838-4>
- Silva T.M., Stets M.I., Mazzetto A.M., Andrade F.D., Pileggi S.A., Fávero P.R., Cantú M.D., Carrilho E., Carneiro P.I.B., Pileggi M. (2007) Degradation of 2,4-d herbicide by microorganisms isolated from brazilian contaminated soil. *Brazilian Journal of Microbiology.* **38**(3): 522-525. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822007000300026>
- Wang Y., Tian Y.S., Gao J.J., Xu J., Li Z.J., Fu X.Y. (2023) Complete biodegradation of the oldest organic herbicide 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid by engineering *Escherichia coli*. *J. Hazard. Mater.* **451**: 131099. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131099>
- Zhang C., Liu X., Dong F., Xu J., Zheng Y., Li J. (2010) Soil microbial communities response to herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid butyl ester. *Eur. J. Soil Biol.* **46**(2): 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.12.005>

Zharikova N.V., Iasakov T.R., Zhurenko E.Yu., Korobov V.V., Markusheva T.V. (2018) Bacterial genes of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid degradation encoding α -ketoglutarate-dependent dioxygenase activity. *Biology Bulletin Reviews*. **8**(2): 155-167. <https://doi.org/10.1134/S2079086418020081>

REFERENCES

Zhurenko E.Yu., Zharikova N.V., Korobov V.V. (2023) Activity of bacterial isolates from the industrial ecotope of the city of Ufa in relation to chlorophenoxyacetic acids. *Èkobiotech*. **6**(4): 211-216. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-4-211-216> (In Rus.)

Netrusov A.I. (ed.) (2005) Workshop on microbiology. Textbook for universities. Academy. Moscow: 608. (In Rus.)

Sadovsky A.D. (2005) 2,4-D is the first killer of weeds. *Chemistry and life*. **9**: 24-27. (In Rus.)

Chen S.F., Chen W.J., Song H., Liu M., Mishra S., Ghorab M.A., Chen S., Chang C. (2024) Microorganism-Driven 2,4-D Biodegradation: Current Status and Emerging Opportunities. *Molecules*. **29**(16): 3869. <https://doi.org/10.3390/molecules29163869>

Ju Z., Liu S.S., Xu Y.Q., Li K. (2019) Combined toxicity of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and its metabolites 2,4-dichlorophenol (2,4-DCP) on two nontarget organisms. *ACS Omega*. **4**(1): 1669–1677 <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02282>

McManus S.L., Moloney M., Richards K.G., Coxon C.E., Danaher M. (2014) Determination and occurrence of phenoxyacetic acid herbicides and their transformation products in groundwater using ultra high performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Molecules*. **19**(12): 20627-20649. <https://doi.org/10.3390/molecules191220627>

Merini L.J., Cuadrado V., Flocco C.G., Giulietti A.M. (2007) Dissipation of 2,4-D in soils of the Humid Pampa region, Argentina: A microcosm study. *Chemosphere*. **68**(2): 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.01.012>

Serbent M.P., Rebelo A.M., Pinheiro A., Giongo A., Tavares L.B.B. (2019) Biological agents for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide degradation. *Appl. Microbiol. Biotechnol*. **103**: 5065–5078. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09838-4>

Silva T.M., Stets M.I., Mazzetto A.M., Andrade F.D., Pileggi S.A., Fávero P.R., Cantú M.D., Carrilho E., Carneiro P.I.B., Pileggi M. (2007) Degradation of 2,4-d herbicide by microorganisms isolated from brazilian contaminated soil. *Brazilian Journal of Microbiology*. **38**(3): 522-525. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822007000300026>

Wang Y., Tian Y.S., Gao J.J., Xu J., Li Z.J., Fu X.Y. (2023) Complete biodegradation of the oldest organic herbicide 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid by engineering *Escherichia coli*. *J. Hazard. Mater*. **451**: 131099. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131099>

Zhang C., Liu X., Dong F., Xu J., Zheng Y., Li J. (2010) Soil microbial communities response to herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid butyl ester. *Eur. J. Soil Biol*. **46**(2): 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.12.005>

Zharikova N.V., Iasakov T.R., Zhurenko E.Yu., Korobov V.V., Markusheva T.V. (2018) Bacterial genes of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid degradation encoding α -ketoglutarate-dependent dioxygenase activity. *Biology Bulletin Reviews*. **8**(2): 155-167. <https://doi.org/10.1134/S2079086418020081>

Цитировать как

Жарикова Н.В., Анисимова Л.Г., Журенко Е.Ю., Коробов В.В. (2025). Оценка способности к росту на высоких концентрациях 2,4-дихлорфеноксисуксунной кислоты и эффективности ее деструкции у бактериальных штаммов техногенных экотопов г. Уфы. *Èкобиотех*. **8**(2): 284-290. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-20 EDN: BLOFKR

Cited as

Zharikova N.V., Anisimova L.G., Zhurenko E.Yu., Korobov V.V. (2025). Evaluation of the growth capacity and destruction efficiency of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid at high concentrations in bacterial strains of technogenic ecotopes of Ufa. *Ecobiotech*. **8**(2): 284-290. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-20 EDN: BLOFKR (In Rus.)

Сведения об авторах

Наталья Владимировна Жарикова, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия. E-mail: puzzle111@yandex.ru, SPIN: 2495-0695, ORCID: 0000-0001-9338-9606, Scopus: 8572528300, WoS: J-9314-2018

Лилия Георгиевна Анисимова, ГБУ РБ «Научно-исследовательский технологический институт гербицидов и регуляторов роста растений с опытно-экспериментальным производством Академии наук Республики Башкортостан», Уфа, Россия. E-mail: biotechexpert22@gmail.com, SPIN: 7331-3880

Евгения Юрьевна Журенко, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия. E-mail: zhurenkoe@gmail.com, SPIN: 8115-6365, ORCID: 0000-0002-0648-9260, Scopus: 8572528000, WoS: J-8348-2018

Владислав Викторович Коробов, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия. E-mail: vacikk@mail.ru, SPIN: 1456-0376, ORCID: 0000-0003-3703-1188, Scopus: 8572528200, WoS: J-9254-2018

Information About the Authors

Natalia V. Zharikova, PhD in Biology, Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: puzzle111@yandex.ru, SPIN: 2495-0695, ORCID: 0000-0001-9338-9606, Scopus: 8572528300, WoS: J-9314-2018

Lilya G. Anisimova, State Budgetary Institution of the Republic of Bashkortostan «Research Technological Institute of Herbicides and Plant Growth Regulators with Pilot Production of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan», Ufa, Russia. E-mail: biotechexpert22@gmail.com, SPIN: 7331-3880

Evgeniya Yu. Zhurenko, PhD in Biology, Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: zhurenkoe@gmail.com, SPIN: 8115-6365, ORCID: 0000-0002-0648-9260, Scopus: 8572528000, WoS: J-8348-2018

Vladislav V. Korobov, PhD in Biology, Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: vacikk@mail.ru, SPIN: 1456-0376, ORCID: 0000-0003-3703-1188, Scopus: 8572528200, WoS: J-9254-2018