

УДК 573.6:579.66:632.954

М. С. Хмелевская, Т. И. Ахрамович, О. С. Игнатовец, В. Н. Леонтьев, Е. В. Феськова
Белорусский государственный технологический университет

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПУТИ ДЕГРАДАЦИИ ПЕСТИЦИДОВ НА ОСНОВЕ 2,4-ДИХЛОРФЕНОКСИУКСУСНЫХ КИСЛОТ

Для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур путем уничтожения сорной растительности существует отдельная группа ядохимикатов, которая называется гербициды. Среди гербицидов на основе хлорфеноксикарбоновых кислот широко применяются препараты натриевой и аммонийной солей, а так же 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д). Однако производство и применение пестицидов влияет на состояние среды и представляет потенциальную опасность для здоровья населения. В настоящей работе показана необходимость выяснения механизмов трансформации и деградации 2,4-Д и ее производных под действием физических, химических и биологических факторов окружающей среды. Рассмотрены препараты на основе 2,4-Д, зарегистрированные в Республике Беларусь. Описаны механизмы действия указанных ксенобиотиков, проведен анализ их токсичности для компонентов окружающей среды. Особое внимание уделено микробной деградации пестицидов, описаны возможные пути их деградации под действием ферментных систем микроорганизмов, проанализированы факторы, влияющие на процесс биотрансформации. Показано, что бактериальная деградация 2,4-Д протекает с образованием 2,4-дихлорфенола при участии фермента 2,4-дихлорфеноксиацетат- α -кетоглутаратдиоксигеназы, при этом на следующей стадии интермедиат деградирует с образованием 3,5-дихлорокатехола с помощью 2,4-дихлорфенолгидроксилазы по двум путям: орто-расщепление или периферическое мета-расщепление.

Ключевые слова: пестициды, 2,4-Д, бактерии-деструкторы, деградация, трансформация, ферменты.

M. S. Hmelevskaya, T. I. Akhramovich, O. S. Ignatovets, V. N. Leontiev, A. Feskova
Belarusian State Technological University

THE NATURAL WAYS OF DEGRADATION OF PESTICIDES BASED ON 2,4-DICHLOROPHOXYACETIC ACID

To increase crop yields by destroying weeds the separate group of pesticides exist, that is called herbicides. Among the herbicides based on chlorphenoxycarboxylic acids products of sodium and ammonium salts, as well as 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), are widely used. However, the production and use of pesticides affects the state of the environment and pose a potential risk for public health. In this paper the need to clarify the mechanisms of transformation and degradation of 2,4-D derivatives under the action of physical, chemical and biological environmental factors was showed. The preparations based on 2,4-D, registered in the Republic of Belarus is reviewed. The mechanisms of action of these xenobiotics are described, analysis of their toxicity for the environment components is performed. Particular attention is paid to the microbial degradation of pesticides, possible ways of their degradation under the action of microorganisms enzyme systems are described, the factors, that affect the biotransformation process are analyzed. It has been shown that the bacterial degradation of 2,4-D is carried with the formation of 2,4-dichlorophenol by enzyme 2,4-dichlorophenoxyacetate- α -ketoglutaratedioxygenase, and further the intermediate degrades with 3,5-dichlorocatechol formation using 2,4-dichlorophenolhydroxylase in two ways: ortho-splitting or peripheral meta-splitting.

Key words: pesticides, 2,4-D, bacteria-destructors, degradation, transformation, enzymes.

Введение. Для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур путем уничтожения сорных растений, вредителей используются пестициды, которые по объемам применения являются серьезными источниками загрязнения окружающей среды, в первую очередь в сельском хозяйстве. Производство и применение пестицидов влияет на состояние среды и представляет потенциальную опасность для здоровья населения. Значительный экономический ущерб

сельскому хозяйству наносит сорная растительность, для борьбы с которой существует отдельная группа ядохимикатов – гербицидные препараты.

Основная часть. Гербициды на основе хлорфеноксикарбоновых кислот (ФКК) интенсивно применяются при уничтожении сорняков. Среди гербицидов этой группы широко используются препараты натриевой и аммонийной солей, а так же 2,4-Д [1].

2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота) – хлорорганическое соединение, используемое как гербицид и регулятор роста растений. Это действующее вещество таких препаратов, как «Дикопур», «Аминка», «Левират», «Эстерон», «Элант», «Прима», «Диамакс», «Флоракс» и более 1500 других гербицидов. Открытый в 1945 г. 2,4-Д на сегодняшний день является одним из самых широко используемых селективных гербицидов в мире. В настоящее время зарегистрированными формами 2,4-Д являются: 2,4-Д кислота; 2,4-Д натриевая соль; 2,4-Д диэтиламин; соль 2,4-Д диметиламина; 2,4-Д изопропиловая кислота; 2,4-Д триизопропиловая кислота; 2,4-Д бутоксиэтиловый эфир; 2,4-Д этилогексилловый эфир; 2,4-Д изопропиловый эфир. Диметиламиновая соль (DMA) и этилгексилловый эфир (ЕХЕ) составляют примерно 90–95% от общего мирового потребления [2].

2,4-Д рекомендуются для контроля широколиственных сорняков, при выращивании злаковых культур, обработке газонов и пастбищ [3]. При нормах расхода 0,4–2,0 кг/га с помощью 2,4-Д могут быть уничтожены почти все виды двудольных сорных растений (бодяк полевой, борщевик обыкновенный, василек и др.). Наиболее чувствительны к нему такие сорные растения, как горчица черная, белая и полевая, пастушья сумка, марь белая, редька дикая, лебеда раскидистая, ярутка полевая, крапива жгучая, вика волосистая. Используют 2,4-Д также как регулятор роста растений при обработке семян сахарной свеклы и томатов и при замачивании черенков вишни, яблони, черной смородины [4–6].

2,4-Д является регулятором роста растений и имитирует естественный гормон роста растений – ауксин. Точный механизм действия 2,4-Д до конца не изучен, и возможно, что он

вызывает разнообразные эффекты, которые в сумме фатальны. Низкие концентрации 2,4-Д могут стимулировать синтез РНК, ДНК и белка, ведущий к неконтролируемому делению и росту клеток и, в конечном счете, разрушению сосудистых тканей. С другой стороны, высокие концентрации 2,4-Д могут ингибировать клеточное деление и рост. Смерть растений обычно происходит в течение трех-пяти недель после применения. Растения умирают, когда их сосудистые транспортные системы блокируются и уничтожаются аномально быстрым ростом [2, 7].

2,4-Д классифицируется ВОЗ (Всемирной организацией здравоохранения) как гормональный гербицид II уровня токсичности (по шкале от I–IV, где I является наиболее токсичным). Ксенобиотик может всасываться через кожу или попадать в легкие при дыхании. 2,4-Д считается канцерогенным агентом, влияющим на печень, сердце и центральную нервную систему, что приводит к судорогам [7, 8].

После применения гербицид легко переносится в подземные воды из-за его высокой растворимости (600 мг/л при 25°C). Даже после длительного периода неиспользования значительное количество 2,4-Д или его основной продукт деградации 2,4-дихлорфенол (2,4-ДХФ) могут быть найдены в поверхностных и грунтовых водах. 2,4-Д может накапливаться в рыбе, подвергшейся даже таким низким концентрациям, как 0,00005%. Таким образом, необходимо рассмотреть процесс деградации гербицида, что позволит определить факторы, влияющие на его разложение [7].

Разложение гербицидов протекает по нескольким путям одновременно: разложение под действием УФ-света, химический гидролиз, биологическое разложение (рис. 1).

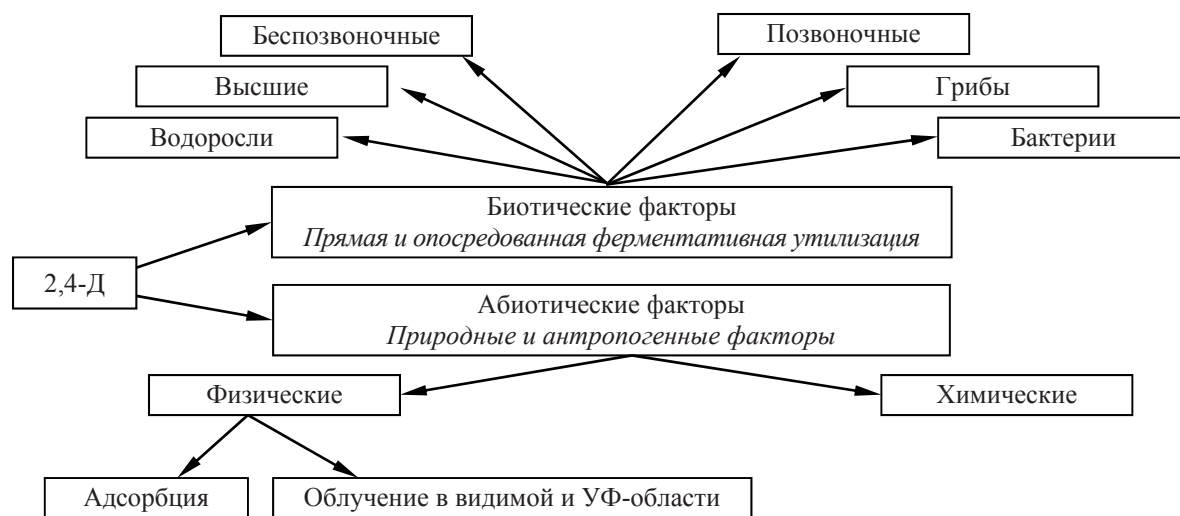


Рис. 1. Факторы, принимающие участие в разложении 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты

В почвах 2,4-Д разлагается в первую очередь микроорганизмами. Судьба 2,4-Д в значительной степени зависит от pH среды. При уровне pH выше 7 2,4-Д быстро превращается в форму аниона, которая является более восприимчивой к фотодegradации и микробному метаболизму, и менее вероятно адсорбция в частицах почвы. При уровне pH < 4 ингибируется микробная деградация, и 2,4-Д сохраняет свою молекулярную форму и устойчива к деградации. Большинство составов 2,4-Д являются летучими [8].

Испарение. Большинство препаратов 2,4-Д являются крайне летучими. Наиболее летучими из 2,4-Д являются метиловый и изопропиловый эфиры, которые были запрещены в США, но некоторые летучие препараты сложных эфиров 2,4-Д по-прежнему доступны. Соли щелочных металлов и амины гораздо менее летучи и могут использоваться там, где невозможно использование сложных эфиров из-за ущерба, который они могут нанести нецелевым растениям. Кроме того, летучесть 2,4-Д возрастает с повышением температуры, увеличением влажности почвы и уменьшением содержания глинозема и органических веществ в почве [8].

Адсорбция. Соли 2,4-Д растворимы в воде и практически не связываются с почвой. Эфиры же могут более активно адсорбироваться в почве. В поле, как правило, препараты сложных эфиров гидролизуются, переходя в кислотную форму, особенно в щелочной среде, и следовательно, практически не адсорбируются на частицах почвы. Содержание органических веществ и pH почвы являются основными факторами, определяющими адсорбцию 2,4-Д в почве. Адсорбция возрастает с увеличением содержания органического вещества и уменьшением pH почвы. Неорганические глины могут также связывать 2,4-Д. Кроме того, при возрастании концентрации гербицида в почве процент адсорбированного гербицида уменьшается. Возможно, это связано с заполнением частиц почвы и их насыщением гербицидом [8].

Фоторазложение. 2,4-Д быстро разрушается на солнце в лабораторных условиях, но в полевых условиях фотодegradация не наблюдалась. Период фотодegradации в лабораторных условиях равен 50 мин для солей 2,4-Д и 5 мин для эфиров 2,4-Д. Аналогичные результаты были получены и в других лабораториях, что позволило сделать вывод о том, что в поле нет достаточного уровня ультрафиолетового излучения от солнечного света. Кроме того, темпы деградации 2,4-Д в почве остаются относительно постоянными при наличии солнечного света и без него [8].

Химическое разложение. 2,4-Д относительно устойчива в окружающей среде и трудно

подвергается химической деградации по сравнению с другими гербицидами. Однако гидролиз эфиров 2,4-Д до кислоты и спиртов может легко происходить в щелочной среде. Кроме того, соли 2,4-Д диссоциируют с образованием остатков соли и кислоты [8].

Разложение 2,4-Д млекопитающими. 2,4-Д попадает внутрь млекопитающих ингаляционным путем, с пищей или через кожу. 2,4-Д не метаболизируется в млекопитающих, но быстро выводится через почки с мочой в виде исходного соединения. Период полураспада 2,4-Д в организме человека составляет 17,7 ч. 2,4-Д не накапливается в каких-либо тканях, исключением являются 2,4-Д эфиры, которые гидролизуются до кислоты перед адсорбцией. Кислота в лимфе существует в основном в ионизированной форме, не метаболизируется с образованием каких-либо промежуточных продуктов и трудно проникает через липидные мембраны тканей без систем активного транспорта [9].

Деградация в растениях. Одно из важных преимуществ 2,4-Д перед другими хлорорганическими соединениями, используемыми в сельском хозяйстве в качестве пестицидов, заключается в трансформации в растениях в нетоксичные производные. Почти сразу же после обнаружения гербицидных свойств у 2,4-Д было установлено, что она в растениях подвергается декарбоксилированию с выделением углекислого газа в атмосферу. Углекислота может также включаться в обмен веществ в растениях [10]. Установлено, что процесс окислительного декарбоксилирования довольно сложный и может протекать по различным схемам (рис. 2).

Однако все направления превращений 2,4-Д ведут к образованию углекислого газа и дихлорфенола, который в дальнейшем разрушается в результате деградации бензольного кольца в его молекуле [11]. Кроме декарбоксилирования, 2,4-Д может подвергаться в растениях и другим превращениям, а именно: этерификации, гидроксигированию кольца с последующим связыванием углеводами (гликозирование), конъюгированию аминокислотами, комплексообразованию с белками. Все превращения приводят к образованию малоподвижных метаболитов, в составе которых 2,4-Д теряет способность проявлять свои гербицидные свойства, т. е. происходит детоксикация [11].

Микробная деградация. В почвах 2,4-Д разлагается в первую очередь микроорганизмами (в стерильной почве 70% от начальной дозы 2,4-Д сохраняется даже после 36 дней). Величина популяции микроорганизмов, концентрация 2,4-Д и отношение этих двух факторов определяют темп деградации 2,4-Д.

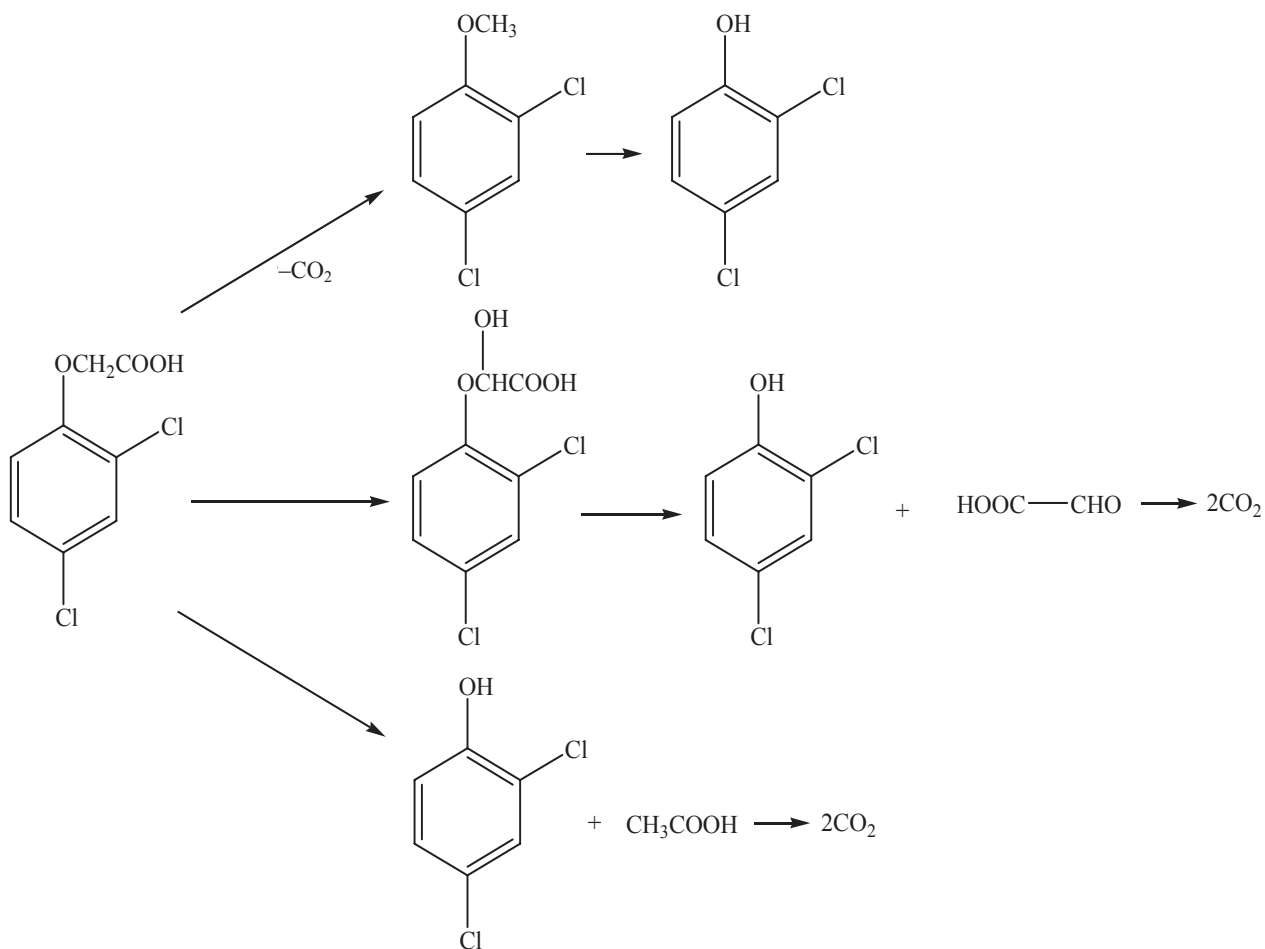


Рис. 2. Процесс окислительного декарбоксилирования 2,4-Д в растениях

Условия, повышающие количество микробных популяций в почве (т. е. теплый и влажный климат), содействуют деградации 2,4-Д. Кроме того, разложение 2,4-Д быстрее происходит в почвах, которые ранее были обработаны 2,4-Д, предположительно потому, что 2,4-Д разрушающие бактерии накопились в почве после первого применения гербицида [8, 12].

2,4-дихлорфенол является первым промежуточным продуктом в пути 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты. Были выделены несколько бактерий и грибов, которые используют 2,4-дихлорфенол в качестве единственного источника углерода и энергии, к ним относятся: *Achromobacter* sp., *Aeromonas* sp., *Bacillus insolitus*, *Pseudomonas* sp., *Pseudomonas* sp., DP-4, *Rhodococcus opacus* 1G, *Rhodococcus erythropolis*, *Pseudomonas* sp. NCIB9340, *Burkholderia cepacia*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Streptomyces viridosporus*, *Flavimonas oryzae*, *Chryseomonas luteola*, *Aspergillus penicilloides*, *Mortierella isabelina*, *Chryso sporium pannorum*, *Mucor genevensis*. Бактериальная деградация 2,4-Д инициируется образованием 2,4-дихлорфенола ферментом 2,4-дихлорфеноксиацетат- α -кетоглутаратдиоксигеназа. 2,4-Дихлорфенол далее

деградирует с образованием 3,5-дихлорокатехола с помощью 2,4-дихлорфенолгидроксилазы. На третьем этапе 3,5-дихлорокатехол подвергается орто-расщеплению до 2,4-дихлормуконовой кислоты с помощью 3,5-дихлорокатехолдиоксигеназы.

На следующем этапе изомераза катализирует превращение 2,4-дихлормуконовой кислоты в транс-2-хлородинлактон путем удаления одного атома хлора, который далее превращают в цис-2-хлородинлактон с помощью изомеразы, который затем деградирует, переходя в хлоромалеиллацетат с помощью гидроксилазы. Хлоромалеиллацетат дополнительно разлагается до малеиллацетата при удалении хлора, а затем до 3-оксидипиновой кислоты с помощью малеиллацетатредуктазы. Клетки *Cupriavidus necator* JMP222 (производные *C. necator* JMP134, утратившие плазмиду rJP4) деградирует 2,4-дихлорфенол с помощью пути периферического мета-расщепления. В этом процессе 2,4-дихлорфенол сначала окисляется до 3,5-дихлорокатехола, который затем деградирует с помощью пути периферического мета-расщепления через формирование 2-гидрокси-3,5-дихлор-6-оксо-гекса-2,4-диеновой кислоты (рис. 3) [13–17].

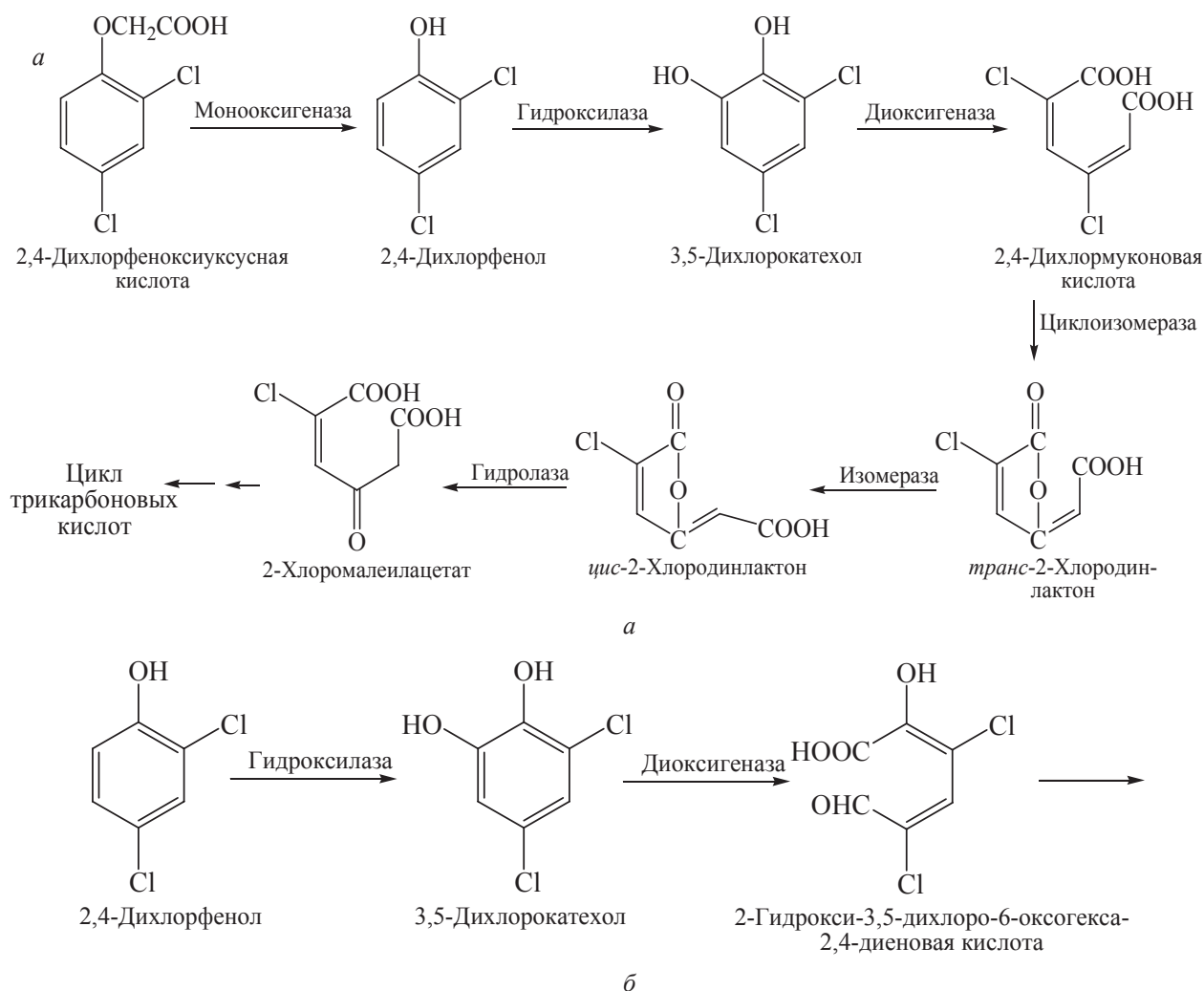


Рис. 3. Бактериальные пути деградации 2,4-дихлорфенола:
a – орто-расщепление; *б* – периферическое мета-расщепление

Заключение. Таким образом, 2,4-дихлоруксусная кислота и ее производные при внесении в почву претерпевают трансформацию под действием химических, физических и биологических факторов. Механизмы трансформации и деградации, в первую очередь, зависят от структуры гербицида, типа почвы, влажности, количества солнечных дней. Ключевую роль в деградации указанных ксенобиотиков играет

почвенная микробиота [17]. Именно от наличия в почве микроорганизмов-деструкторов в первую очередь зависит степень негативных последствий 2,4-Д на окружающую среду и здоровье человека. Выделение чистых культур микроорганизмов, использующих 2,4-Д в качестве источников углерода и энергии, требует изучения механизмов деградации и идентификации всех промежуточных интермедиатов.

Литература

1. Халаф В. А., Турчин В. О., Зайцев В. Н. Определение 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты в водных объектах окружающей среды // Методы и объекты химического анализа. 2009. Т. 4, № 1. С. 67–72.
2. Pankaj K., Nanhong B. Bacterial degradation of chlorophenols and their derivatives // Microbial Cell Factories. 2014. Vol. 13, No. 1. P. 1–17.
3. 2,4-D. Chemical Watch Factsheet [Электронный ресурс] / A Beyond Pesticides Factsheet. URL: <https://www.beyondpesticides.org/assets/media/documents/pesticides/factsheets/2-4-D.pdf> (дата обращения: 17.02.2016).
4. Мельников Н. Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. 712 с.
5. Мельников Н. Н., Новожилов К. В., Белан С. Р. Пестициды и регуляторы роста растений. М.: Химия, 1995. 576 с.

6. Cycon M., Żmijowska A., Piotrowska-Seget Z. Biodegradation kinetics of 2,4-D by bacterial strains isolated from soil // *Central European Journal of Biology*. 2011. Vol. 6, No. 2. P. 188–198.
7. Сафаров М. Г. Гербициды: 2,4-Д // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7, № 9. С. 57–62.
8. Каспаров В. А., Промоненков В. К. Применение пестицидов за рубежом. М.: Агропромиздат, 1990. 224 с.
9. Degradation of 2,4-D herbicide by microorganisms isolated from Brazilian contaminated soil / C. O. Martinez [et al.] // *Brazilian Journal of Microbiology*. 2007. Vol. 38, No. 3. P. 522–525.
10. Weed Control Methods Handbook: Tools & Techniques for Use in Natural Areas. URL: <http://www.invasive.org/gist/handbook.html> (дата обращения: 14.01.2016).
11. Исследование деградации фенола, хлорфенолов и 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты консорциумом микроорганизмов деструкторов / Л. Х. Халимова [и др.] // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13, № 1. С. 71–73.
12. Мельников Н. Н. Новые средства защиты растений М.: Знание, 1969. 78 с.
13. Stoytcheva M. Pesticides in the Modern World – Pesticides Use and Management. Rijeka, Croatia: In Tech, 2011. P. 520.
14. Environmental Fate of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid. Johanna Walters, Environmental Monitoring and Pest Management Department of Pesticide Regulation Sacramento, CA 95814-3510. URL: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/24-d.pdf> (дата обращения: 17.02.2016).
15. Commandeur L. C. M., Parsons J. R. Biodegradation of halogenated aromatic compounds // *Biochemistry of microbial degradation* / Edited by C. Ratledge. Springer Netherlands, 1994. P. 423–458.
16. Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by haloalkaliphilic bacteria / O. Maltseva [et al.] // *Microbiology*. 1996. Vol. 142, Part 2. P. 1115–1122.
17. Деградация пестицидов ряда сульфонилмочевины / В. Н. Леонтьев [и др.] // Труды БГТУ. 2011. № 4: Химия, технология орган. в-в и биотехнология. С. 198–202.

References

1. Halaf V. A., Turchin V. O., Zaitsev V. N. Determination of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in aqueous environmental samples. *Metody i ob'ekty khimicheskogo analiza* [Chemical analysis methods and objects]. 2009, vol. 4, no. 1, pp. 67–72 (In Russian).
2. Pankaj K., Hanhong B. Bacterial Degradation Of Chlorophenols And Their Derivatives. *Microbial Cell Factories*, 2014, vol. 13, no. 1, pp. 1–17.
3. 2,4-D. Chemical Watch Factsheet. Available at: <https://www.beyondpesticides.org/assets/media/documents/pesticides/factsheets/2-4-D.pdf> (accessed 17.02.2016).
4. Melnikov N. N. *Pesticidi. Khimiya, tekhnologiya i primeneniye* [Pesticides. Chemistry, technology and applications]. Moscow, Khimiya Publ., 1987. 402 p.
5. Melnikov N. N., Novozhilov K. V., Belan S. R. *Pesticidi i regulyatori rosta rastenii* [Pesticides and plant growth regulators]. Moscow, Khimiya Publ., 1995. 402 p.
6. Cycoń M., Żmijowska A., Piotrowska-Seget Z. Biodegradation kinetics of 2,4-D by bacterial strains isolated from soil. *Central European Journal of Biology*, 2011, vol. 6, no. 2, pp. 188–198.
7. Safarov M. G. Herbiциды 2,4-D. *Sorosovskii obrazovatel'nyi jurnal* [Soros educational journal], 2001, vol. 7, no. 9, pp. 57–62 (In Russian).
8. Kasparov V. A. Promonenkov V. K. *Primeneniye pesticidov za rubezhom* [The use of pesticides abroad]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990. 224 p.
9. Martinez C. O., Silva C. M. M. S., Fay E. F., Abakerli R. B., Maia A. H. N., Durrant L. R. Degradation of 2,4-D herbicide by microorganisms isolated from Brazilian contaminated. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2007, vol. 38, no. 3, pp. 522–525.
10. Weed Control Methods Handbook: Tools & Techniques for Use in Natural Areas. Available at: <http://www.invasive.org/gist/handbook.html> (accessed 14.01.2016).
11. Halimova L. H., Hasanov I. R., Petuhova N. I., Zorin V. V. The study of phenol degradation of chlorophenols and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, a consortium of microbial decomposers. *Bashkirskii khimicheskii jurnal* [Bashkir chemical journal], 2006, vol. 13, no. 1, pp. 71–73 (in Russian).
12. Melnikov N. N. *Novue sredstva zashitu rastenii* [New plant protection]. Moscow, Znanie Publ., 1969. 80 p.
13. Stoytcheva M. *Pesticides in the Modern World – Pesticides Use and Management*. Rijeka, In Tech Publ., 2011. 520 p.
14. Environmental Fate of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid. Johanna Walters, Environmental Monitoring and Pest Management Department of Pesticide Regulation Sacramento, CA 95814-3510. Available at: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/24-d.pdf> (accessed 17.02.2016).

15. Commandeur L. C. M., Parsons J. R. Biodegradation of halogenated aromatic compounds. *Biochemistry of microbial degradation*. Springer Netherlands, 1994. Pp. 423–458.

16. Maltseva O., McGowan C., Fulthorpe R., Oriel P. Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by haloalkaliphilic bacteria. *Microbiology*, 1996, vol. 142, part 2, pp. 1115–1122.

17. Leontiev V. N., Achramovich T. I., Ignatovets O. S., Lazovskaya O. I. Degradation of pesticides number of sulfonylurea. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 4, Chemistry, Technology of Organic Substances and Biotechnology, pp. 198–202 (in Russian).

Информация об авторах

Хмелевская Мария Сергеевна – магистрант кафедры биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.khmelevskaja@gmail.com

Ахрамович Татьяна Игоревна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ahramovich@belstu.by

Игнатовец Ольга Степановна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovets@belstu.by

Леонтьев Виктор Николаевич – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: leontiev@belstu.by

Феськова Елена Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lena.feskova@mail.ru

Information about the authors

Hmelevskaya Maria Sergeevna – Master's degree student, Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.khmelevskaja@gmail.com

Akhramovich Tatiana Igorevna – PhD (Biology), Assistant Professor, Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ahramovich@belstu.by

Ignatovets Olga Stepanovna – PhD (Biology), Assistant Professor, Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovets@belstu.by

Leontiev Viktor Nikolaevich – PhD (Chemistry), Assistant Professor, Head of the Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: leontiev@belstu.by

Feskova Alena – PhD (Engineering), Senior Researcher, Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lena.feskova@mail.ru

Поступила 20.02.2016