

Г. В. Симонова^{1✉}, А.П. Кириченко¹

Оценка эффективности очистки зерновых культур от пестицидов

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: simgal@list.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы очистки зерновых культур от пестицидов и их эффективность. Актуальность исследования заключается в том, что остатки пестицидов, могут представлять потенциальную опасность для здоровья человека, а также оказывать негативное воздействие на окружающую среду, в том числе на почву, воду и биоразнообразие. Поэтому разработка эффективных методов очистки зерна от остатков пестицидов имеет важное экологическое значение. Таким образом, исследование имеет практическую значимость для обеспечения безопасности пищевых продуктов, сохранения окружающей среды и соответствия норм содержания вредных веществ установленным требованиям. В основной части приведен анализ современных методов разложения пестицидов, а также способов оценки их остаточной концентрации. В результате проведенных экспериментов показано, что применение излучения ультрафиолетовой части спектра для разложения пестицидов на примере глифосата приводит к существенному снижению его концентрации в исследуемых пробах.

Ключевые слова: пестициды, глифосат, разложение, хроматография, измерение

G. V. Simonova^{1✉}, A. P. Kirichenko¹

Evaluation of the efficiency of cleaning grain crops from pesticides

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: simgal@list.ru

Abstract. This article discusses methods for cleaning grain crops from pesticides and their effectiveness. The relevance of the study is that pesticide residues can pose a potential hazard to human health, as well as have a negative impact on the environment, including soil, water and biodiversity. Therefore, the development of effective methods for cleaning grain from pesticide residues is of great environmental importance. Thus, the study has practical significance for ensuring food safety, preserving the environment and ensuring compliance with the standards for the content of harmful substances. The main part provides an analysis of modern methods for decomposing pesticides, as well as methods for assessing their residual concentration. As a result of the experiments, it was shown that the use of ultraviolet radiation for decomposing pesticides, using glyphosate as an example, leads to a significant decrease in its concentration in the samples under study.

Keywords: pesticides, glyphosate, degradation, chromatography, measurement

Введение

Повышение эффективности сельского хозяйства является одной из глобальных задач человечества, поскольку именно эта отрасль создает продукты питания. Развитие продуктивности земледелия невозможно без борьбы с вредителями различного рода, что обеспечивается разработкой как новых методов агро-

техники, так и способов защиты культурных насаждений. В частности, необходимость повышения урожайности культурных растений привела к все возрастающему использованию различных химических препаратов, которые, наряду с борьбой с вредными растениями и насекомыми, сопряжены с большими экологическими рисками, связанными с использованием пестицидов.

Наиболее распространенные виды пестицидов способны не только уничтожать вредоносных насекомых и сорняки, но и могут губительно воздействовать на нецелевые виды растительного и животного мира, в том числе и на здоровье человека. В соответствии с информацией производителей, пестициды после применения должны быстро превращаться в безвредные продукты, однако, на самом деле разложение пестицидов идет очень медленно и не полностью. Попадая с пищей в живые организмы, пестициды приводят к гибели птиц, болезням людей и животных.

Остаточное количество препаратов присутствует на продукции земледелия, а также накапливается в почве с последующим переносом в водные и воздушные пространства. Более того, большая часть применяемых пестицидов не используется по назначению, а попадает в водные системы или переносится ветром на другие территории, включая пастбища, жилые зоны и прочие области. Пестициды оказывают значительное влияние на исчезновение видов, участвующих в опылении растений. Многие пестициды устойчивы к воздействию влаги и солнечного света, могут распространяться на большие расстояния.

В связи с этим возникает необходимость в разработке эффективных методов определения остаточного количества пестицидов в сельскохозяйственной продукции, а также повышения эффективности методов ее очистки. Это позволит обеспечить безопасность и качество сельскохозяйственной продукции и предотвратит возможные негативные последствия для здоровья людей и окружающей среды.

Каждая категория пестицидов связана с определенными экологическими проблемами [1]. Одним из наиболее распространенных пестицидов является глифосат, который, применяется для уничтожения сорняков и подготовки почвы перед посевом [1–5].

Методы и материалы

Методы определения остаточных количеств пестицидов представляют собой комплекс аналитических процедур, цель которых – выявить и измерить остатки пестицидов в различных средах: почве, воде, продуктах питания и других объектах окружающей среды.

Выбор метода зависит от конкретных задач исследования, типа образца пестицида и необходимой точности результатов измерений. Для получения достоверности результатов контрольных операций рекомендуется использовать несколько разных методов [5–12].

В данной работе для определения остаточной концентрации пестицидов в пробе использовались хроматографические методы анализа, основанные на повторяющихся циклах поглощения и высвобождения между подвижной фазой (растворителем), в которой находится образец, и неподвижным сорбентом. Компоненты смеси распределяются между двумя фазами. Из-за различий в структуре

и свойствах отдельных компонентов они не имеют одинакового сродства и величины взаимодействия со стационарной фазой.

Глифосат – активный компонент инсектицидов (арборицидов и гербицидов) с широким спектром действия, избирательный и стойкий. Он используется для борьбы с однолетними и многолетними сорняками в виноградниках, садах, чайных садах и на полях различных культур. Глифосат характеризуется системной гербицидной активностью, которая проявляется постоянно или избирательно, в зависимости от дозы, вида растений, фенологической стадии развития и направления действия. Данный препарат эффективен в отношении однолетних и многолетних двудольных сорняков и злаковых в течение всего вегетационного периода. Гербициды, содержащие действующее вещество глифосат, задерживают отрастание сорняков и прорастание семян на 30–60 дней. Использование глифосата в качестве комплексной стратегии защиты обеспечивает здоровый рост и урожайность, в частности, гречихи и сводит к минимуму потери от вредителей и сорняков. Тем не менее, важно следовать рекомендациям относительно дозировки и правильного времени использования пестицидов, чтобы избежать негативного воздействия на культуру и окружающую среду.

На сегодняшний день существует множество различных способов снижения содержания остаточных количеств химикатов в зерне [13]. Очистка в воде, оказала ограниченное воздействие на удаление пестицидов, поскольку большинство пестицидов являются гидрофобными по своей природе, а ферментация и другие процессы легко превращают пестициды в токсичные продукты, что показало ограниченное применение при обработке пищевых продуктов, например, было показано, что продукты распада остатков пестицидов после обработки озоном более токсичны, чем исходные соединения, поэтому можно полагать перспективным направлением разложение пестицидов с помощью фотолиза, причем заметное ускорение деградации пестицидов наблюдалось при облучении как в ультрафиолетовом, так и в видимом участке спектрального диапазона [5, 14].

Использование ультрафиолетового (УФ) излучения – один из методов очистки и обработки пищевых продуктов от остаточного количества пестицидов и различных микроорганизмов. В основе такого метода лежат фотохимические реакции в молекулах пестицидов и расщепление их на безопасные молекулы. Эффективность такого метода зависит от типа пестицида, структурной формулы, концентрации, условий облучения [15]. УФ-излучение обеспечивает быстрое, эффективное и недорогое разложение пестицидов [16], однако, и в этом случае следует учитывать, что в результате фотосинтеза могут образовываться новые, неизвестные вещества и изменяться органолептические свойства продуктов.

В данной работе исследовалась динамика разложения пестицидов на основе глифосата с использованием излучения ближнего УФ диапазона на примере зерен гречихи.

Результаты

В ходе работы проведены анализы проб зерен гречихи, содержащих глифосат (серия №1). Далее эта проба делилась на две части. Одна часть исходной

пробы сохранялась при стандартных условиях. Остаточное количество глифосата определялось по истечении двух недель (серия №2) и по истечении шести месяцев (серия №4), другая часть исходной пробы подвергалась ежедневному ультрафиолетовому облучению в течение 14 дней по 15 минут с использованием стандартного источника ультрафиолетового излучения. Результаты контроля остаточного содержания глифосата были получены после двух недель хранения (серия №3), и через полгода она также подверглась контролю (серия №5).

Для анализа динамики содержания глифосата в пробах использовался аналитический комплекс на базе хроматомасс-спектрометра SHIMADZU LCMS-8060 и разделительная ионообменная хроматографическая колонка Shim-pack HR-ODS 3UM.

Определение остаточного количества глифосата в пробах проводилось по методике ФР.1.31.2019.34964 «Методика измерений массовой доли глифосата, его метаболита аминотетилфосфорной кислоты и малинового гидразида в продукции растительного происхождения методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием» [17].

Результаты определения остаточной концентрации глифосата при разных условиях очистки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вид очистки	Концентрация, мг/кг. (серия № 1)	Концентрация через две недели, мг/кг (серии № 2, 3 соответственно)	Концентрация через 6 месяцев, мг/кг (серии № 4, 5 соответственно)
Без облучения	0,458	0,435	0,389
С облучением УФ	0,458	0,237	0,192

Анализ полученных результатов показал, что после двухнедельного хранения пробы, содержащей остаточное количество пестицида, концентрация снизилась на 5,0 %, а при обработке пробы ультрафиолетовым излучением концентрация за этот же период снизилась на 48,3 %. После шестимесячного хранения остаточное количество пестицида снизилось на 15,1 %, а при обработке ультрафиолетом исходной пробы – на 50,6 %.

Оценка эффективности очистки ультрафиолетовым излучением на примере разложения глифосата показала, что фотолиз может быть использован для снижения остаточных количеств пестицидов в зерновых культурах.

Заключение

В результате проведенных экспериментов и анализа полученных результатов было выявлено существенное различие изменения концентрации пестицида в исследуемых пробах при разных условиях очистки, в частности, при использовании излучения УФ диапазона.

На основании анализа литературных источников можно предположить, что излучение других участков спектра также может приводить к разрушению пе-

стицидов, а эффективность очистки может быть повышена, например, изменением режимов облучения.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение оптических методов деструкции пестицидов, в данном случае, на примере глифосата может быть использовано для очистки зерновых культур от остаточных количеств пестицидов. Повышение эффективности применения фотолиза может быть достигнуто выбором спектрального участка излучения, а также изменением режимов облучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарасенко Н. А., Петров В. И., Коваленко И. П. и др. Глифосат и его метаболиты: токсикология, экология, аналитика // Вестник экологии и ландшафтоведения. – 2018. – №. 2. – С. 47–52.
2. Петрова Е. И., Воронина О. И., Мартынова Л. Г. и др. Влияние глифосата на биологическую активность почвы // Биологические науки. – 2018. №. 6. – С. 58–65.
3. Краснодубец В. Е., Бартош В. В., Вергулов В. А. и др. Влияние глифосата на рост и развитие растений // Агрохимия. – 2019. – №. 5. – С. 61–67.
4. Majewski, M. S., Coupe, R. H., Foreman, W. T., Capel, P. D., Weston, D. P. Pesticides in Mississippi air and rain: a comparison between 1995 and 2007 // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2014., – № 33(6). – P. 1283–1293.
5. Qian X., Xiaoxu X., Grzegorz B., Joon Y., Xun S. Photolysis for the Removal and Transformation of Pesticide Residues During Food Processing: A State-of-the-Art Minireview [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2022.888047/full>
6. Булгакова Л. М., Смоляр И. В., Султанова Э. М. и др. Определение остаточных количеств глифосата и его метаболитов в растениях методом жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием // Вестник Краснодарского государственного аграрного университета. – 2018. – №. 2. – С. 172–178.
7. Тимофеева С. А., Гринь Л. Н., Власова Н. В. и др. Методы определения остаточных количеств пестицидов в зерне гречихи // Вестник Пермского университета. Биология. – 2017. – №. 1 (33). – С. 84–91.
8. Масляков В. В., Линдерман Д. В., Романова Е. В. и др. Оценка эффективности ультрафиолетовой обработки для очистки воды от пестицидов // Вода: химия и экология. – 2017. – №. 9. – С. 52–58.
9. Tejada, M., Gómez, I., Parrado, J. Photocatalytic removal of imidacloprid using doped TiO₂ and simulated solar light // Applied Catalysis B: Environmental. – 2019. – № 2549. – P. 673–682.
10. Silva, V., Molina, C. B. Impacts of glyphosate and AMPA on seedlings of native grass *Eragrostis plana* // Journal of Environmental Science and Health, Part B. – 2015. – № 50 (1). – P. 17–23.
11. Kumar, V., Sharma, A. Degradation of glyphosate herbicide by gamma radiolysis // Separation Science and Technology. – 2016. – № 51 (5). P. 761–769.
12. Lozano, A., Rajski, Ł. Multiresidue analysis of pesticides in fruits and vegetables by liquid chromatography–tandem mass spectrometry // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2015. – № 71. – P. 160–171.
13. Маркова Н. И., Лебедева Н. И., Гордеева Л. А. и др. Определение глифосата и его метаболитов в продуктах питания методом жидкостной хроматографии // Пищевая промышленность. – 2019. – №. 4. – С. 64–70.

14. Tu M., Hurd C., Robinson R., Randall J. M. Glyphosate Weed Control Methods Handbook. – The Nature Conservancy, 2001. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.invasive.org/gist/products/handbook/methods-handbook>.
15. Никонова Г. А., Иванова О. В., Смирнова Е. П. и др. Деградация пестицидов в почвах и методы их определения // Почвоведение. – 2018. – №. 5. – С. 82–89.
16. Орехова Е. В., Медведева Н. А., Стариков А. В. и др. Экологические последствия применения пестицидов в сельском хозяйстве // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – №. 2. – С. 94–101.
17. Сорокин А. В. Методика измерений массовой доли глифосата, его метаболита аминотетрафосфорной кислоты и малинового гидразида в продукции растительного происхождения методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием // Журнал аналитической химии. – 2023, – Т. 78. – № 1. – С. 80–89.

© Г. В. Симонова, А. П. Кириченко, 2025