



УДК 57.084.1:635.92
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.35.97>

Оценка воздействия глифосата при низких концентрациях в кормовых зерновых культурах на биохимические показатели крови и органы лабораторных мышей

Н. Е. Шувалова, Е. А. Прутенская, М. Г. Сульман

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия
E-mail: ne.shuvalova@tmvl.ru

Аннотация. В модельном эксперименте изучено токсическое действие гербицида глифосата, содержащегося в остаточных количествах в зёрнах злаковых культур, на лабораторных мышей. Оценены изменения в функциях репродуктивной системы, составе форменных клеток крови и структуре паренхиматозных органов опытных животных, произошедшие под влиянием содержащегося в их корме глифосата в разных концентрациях. Экспериментально доказана хроническая токсичность переходящего по пищевой цепи глифосата в низких концентрациях для организма млекопитающих.

Ключевые слова: глифосат, хроническая токсичность, биотестирование, лабораторные животные.

Для цитирования: Шувалова Н. Е., Прутенская Е. А., Сульман М. Г. Оценка воздействия глифосата при низких концентрациях в кормовых зерновых культурах на биохимические показатели крови и органы лабораторных мышей // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2021. Т. 35. С. 97–107. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.35.97>

Введение

Изменение климатических условий и состава природных сообществ сорных растений, а также внедрение трансгенных культурных растений в практику возделывания привели к масштабному использованию гербицидов, расширению их ассортимента и поиску новых активных субстанций [Ларина, 2014; Glyphosate, 2016; Фитосанитарный мониторинг ..., 2008]. Ныне применение гербицидов является неотъемлемой сельскохозяйственной практикой [Баранов, Гринько, 2014; Спиридонов, Жемчужин, 2010; Липский, Пантюхов, Ивченко, 2018]. Гербицидами обрабатывают сельскохозяйственные культуры с целью контроля сорной растительности, а также в предуборочный период в качестве десиканта и для подсушивания урожая [Кузнецова, Чмиль, 2010; Glyphosate, 2016]. Их остаточные количества накапливают возделываемые культуры, они обнаруживаются в объектах окружающей среды, кормах, продуктах питания, в тканях животных и биоматериале людей [Шубина, Синютин, Шубин, 2009; Токсикологическая гигиеническая оценка ..., 2013; Glyphosate, 2016].

Остаточные количества наиболее распространённого в мировой практике применения и выпускающегося под множеством торговых названий гербицида глифосата (N-(фосфометил)-глицин, $C_3H_8NO_5P$), а также его метаболита аминометилфосфоновой кислоты идентифицированы в зерне различных сельскохозяйственных культур. Как указывают Е. М. Кузнецова и В. Д. Чмиль, в Канаде в зерне выращиваемого овса гербицид был обнаружен в количестве от 0,70 до 4,6 мг/кг, а в Великобритании – 0,9–14 мг/кг. При производстве сорго в США уровень глифосата в зерне достигал 1,1–33,0 мг/кг. Присутствие гербицида в кормах способствует его накоплению в тканях животных, молоке и яйцах [Кузнецова, Чмиль, 2010]. Несоблюдение правил применения гербицидов становится причиной заболеваний и гибели людей [Шубина, Синюткина, Шубин, 2009].

Химические методы анализа позволяют определить количественное содержание гербицидов, но не дают возможности сделать вывод о их токсичном воздействии на объекты окружающей среды, теплокровных животных и человека, также для многих из них не установлены предельно допустимые концентрации. Определить степень такого воздействия позволяют методы биотестирования, основанные на изучении ответных реакций тест-организмов: млекопитающих, рыб, беспозвоночных животных и растений [Жиденко, 2007; Novais, Soares, Amorim ... , 2010; Effect of different soil ... , 2005; Müller, Berghahn, Hilt, 2010; Bandow, Coors, Römbke, 2013; Олькова, Фокина, 2015; History and sensitivity comparison ..., 2015; Голованова, Аминов, 2016; Кузьмина, Тарлева, Шептицкий, 2017].

Широкое изучение острой и хронической токсичности гербицидов для млекопитающих обусловлено возможным аналогичным воздействием ксенобиотиков на организм человека. Присутствие глифосата в остаточных количествах в продуктах питания и кормах для животных объясняет актуальность таких работ.

Среди негативных эффектов глифосата при острой интоксикации лабораторных животных описано отклонение гематологических и биохимических показателей крови [Мирошникова, Кирюшин, Моталова, 2018], однако влияние гербицида в низких концентрациях и при длительной интоксикации изучено недостаточно. Цель настоящего исследования – экспериментальное модельное исследование хронической токсичности глифосата для организма млекопитающих при биотестировании на белых мышах.

Материалы и методы

Исследование выполнено на 48 экз. белых лабораторных мышей (12 самцов и 36 самок в возрасте 2 месяцев средней стандартной массой 25–30 г), полученных из вивария имеющей государственную аккредитацию Тверской межобластной ветеринарной лаборатории и содержавшихся в соответствии с нормативами¹. Все животные были здоровы, их состояние оце-

¹ ГОСТ 33216-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами. М. : Стандартинформ, 2019, 10 с.

нивали визуально. Кормление осуществлялось один раз в сутки без ограничения, вода подавалась из стационарных поилок круглосуточно.

Инттоксикацию мышей моделировали путём скармливания животным зерна овса, обработанного водным раствором глифосата. Концентрация глифосата в зерне составляла 7, 14, 28 мг/кг. Содержание гербицида определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе Agilent 1220 Infinity LC (Agilent Technologies, США).

Эксперимент выполняли в два этапа.

Первый этап предусматривал раздельное содержание самцов и самок. Животные были распределены на 16 групп и помещались в индивидуальные клетки следующим образом: четыре клетки по три самца в каждой, двенадцать клеток по три самки в каждой. Продолжительность скармливания мышам обработанного глифосатом зерна при раздельном содержании составляла один месяц. Схема содержания и кормления животных представлена в табл. 1.

Таблица 1

Схема содержания и кормления животных
в первый период экспериментального исследования

№ клетки	Схема содержания животных	Схема кормления
1	Самцы	Зерно овса, не обработанное глифосатом
2	Самцы	Зерно овса, обработанное глифосатом (7 мг/кг)
3	Самцы	Зерно овса, обработанное глифосатом (14 мг/кг)
4	Самцы	Зерно овса, обработанное глифосатом (28 мг/кг)
5–7	Самки	Зерно овса, не обработанное глифосатом
8–10	Самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (7 мг/кг)
11–13	Самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (14 мг/кг)
14–16	Самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (28 мг/кг)

Второй этап исследования включал формирование групп (семей) из половозрелых животных, семья состояла из трёх самок и одного самца. Белые мыши были распределены на 12 групп (семей) и помещены в индивидуальные клетки, схема кормления представлена в табл. 2.

Таблица 2

Схема содержания и кормления животных
во второй период экспериментального исследования

№ клетки	Схема содержания животных	Схема кормления
X(1)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, не обработанное глифосатом
X(2)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, не обработанное глифосатом
X(3)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, не обработанное глифосатом
7(1)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (7 мг/кг)
7(2)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (7 мг/кг)
7(3)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (7 мг/кг)
14(1)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (14 мг/кг)
14(2)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (14 мг/кг)
14(3)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (14 мг/кг)

Окончание табл. 2

№ клетки	Схема содержания животных	Схема кормления
28(1)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (28 мг/кг)
28(2)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (28 мг/кг)
28(3)	1 самец, 3 самки	Зерно овса, обработанное глифосатом (28 мг/кг)

Для наблюдения динамики воздействия гербицида часть лабораторных животных умерщвляли методом декапитации по истечении 3 мес., другую часть через 5 мес. от начала опыта по схеме № 2.

Проводили отбор крови для морфологического анализа, визуальный осмотр внутренних органов при патологоанатомическом вскрытии, отбор материала для приготовления гистологических препаратов. Приготовление гистологических препаратов осуществляли согласно методическим указаниям, для окрашивания гистосрезов использовали гематоксилин-эозин [Методические указания ... , 2005].

Результаты и обсуждение

В эксперименте оценивали хроническую токсичность глифосата в концентрациях 7, 14 и 28 мг/кг при биотестировании на белых мышах.

В ходе эксперимента осуществлялся ежедневный визуальный осмотр состояния животных. Критериями хронической токсичности служили изменение поведенческих реакций, особенности воспроизводства потомства, количество и жизнеспособность детёнышей, число павших животных и сроки их гибели, наличие патологических изменений в тканях и органах мышей.

Клиническая картина у мышей не имела признаков отравления, изменений в поведении животных не наблюдалось.

Особенности воспроизводства потомства в контрольных и опытных подгруппах животных существенно различались. Появление первого приплода в контрольных подгруппах зарегистрировано в период от 20–23 дней после начала второго этапа эксперимента. Число детёнышей варьировало от 6 до 9 особей, выживаемость потомства составляла 100 %, за исключением нескольких случаев инфантицида, который является обычным типом поведения в стрессовой ситуации, в которой находится самка.

В ходе исследования было отмечено снижение фертильности и жизнеспособности потомства опытных животных по сравнению с контрольными. В подгруппе лабораторных животных, кормление которых осуществлялось зерном овса, содержащего гербицид 7 мг/кг, потомство воспроизвела только одна самка. Период до появления потомства составил 68 дней с задержкой от 46 до 48 дней по сравнению с контрольной подгруппой. В помёте насчитывалось 6 детёнышей, продолжительность их жизни составила от 1 до 3 дней.

В подгруппе животных, кормление которых осуществлялось зерном овса, содержащего глифосат 14 мг/кг, потомство также воспроизвела единственная самка, период до воспроизводства потомства составил 80 дней с

задержкой от 60 до 58 дней по сравнению с контрольной подгруппой, число детёнышей составило 7, продолжительность их жизни от 1 до 4 дней.

Самки из третьей опытной подгруппы, кормление в которой осуществлялось зерном овса, содержащего глифосат 28 мг/кг, не принесли потомства за время эксперимента. При патологоанатомическом вскрытии по истечении 5 месяцев после начала второго этапа эксперимента у единственной самки из подгруппы в рогах матки обнаружены 7 эмбрионов.

Результаты опыта показали количественное изменение содержания форменных клеток периферической крови у опытных животных по сравнению с контрольными. Токсическое воздействие гербицида выразалось в подавлении лимфоцитобразования (рис. 1). Количество лейкоцитов в крови в подгруппе животных, кормление которых осуществлялось зерном с содержанием гербицида 7 мг/кг, снизилось в среднем на 30 и 66 % спустя 4 и 6 месяцев соответственно; в группе животных, которых кормили зерном с содержанием гербицида 14 мг/кг, снижение составило 30 и 62 % через 4 и 6 месяцев соответственно; у животных же, получавших корм с содержанием гербицида 28 мг/кг, число лейкоцитов упало на 38 и 73 % соответственно.

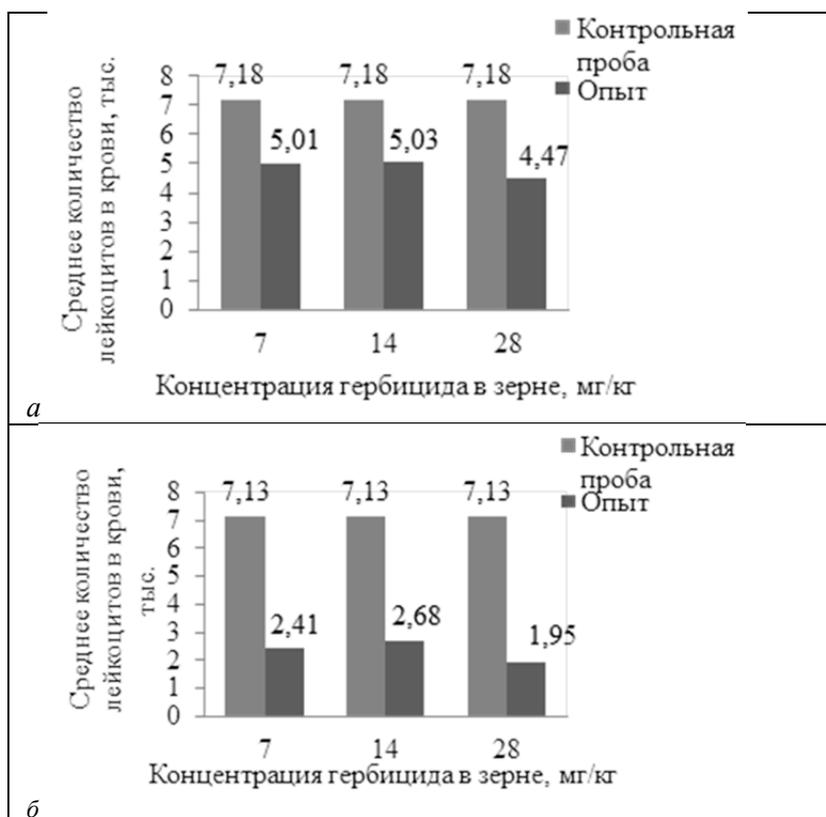


Рис. 1. Количество лейкоцитов в крови лабораторных мышей, питавшихся в эксперименте зерном овса, обработанным глифосатом в разной концентрации, в течение: а – 4 месяцев; б – 6 месяцев.

В ходе всего опыта у опытных животных также наблюдалось снижение числа эритроцитов крови (рис. 2). Среднее уменьшение количества эритроцитов в первой подгруппе составило 23 и 38 % через 4 и 6 месяцев соответственно, во второй – 36 и 47 %, а в третьей – 43 и 59 % соответственно.

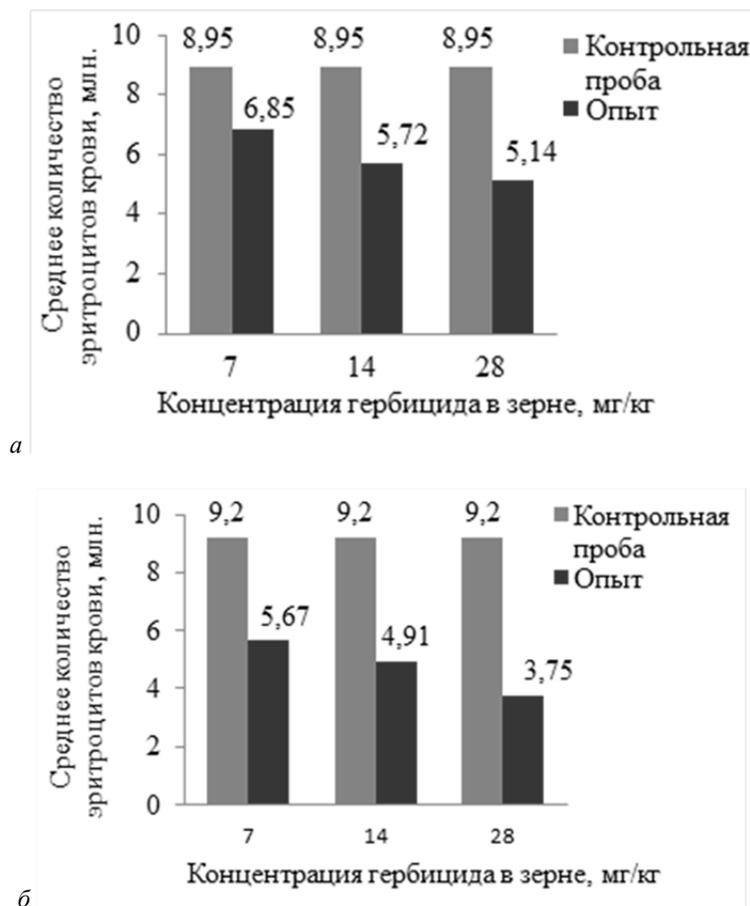


Рис. 2. Количество эритроцитов в крови лабораторных мышей, питавшихся в эксперименте зерном овса, обработанным глифосатом в разной концентрации, в течение: а – 4 месяцев; б – 6 месяцев.

При исследовании цитологических препаратов крови получены следующие результаты. Большинство эритроцитов нормохромные, имеют одинаковую форму, центральную зону просветления. В то же время в мазках крови всех опытных животных наблюдались качественные изменения эритроцитов. Анизозитоз и пойкилоцитоз выражались в изменениях величины и формы эритроцитов.

При патологоанатомическом исследовании лабораторных животных из контрольного опыта состояние паренхиматозных органов соответствовало норме. У опытных животных выраженные изменения обнаружены в печени,

тонком и толстом отделе кишечника, при визуальном осмотре наблюдалось изменение их цвета и консистенции. В результате хронической интоксикации печень слегка увеличена в размерах, дряблой консистенции, светло-коричневого цвета. Стенки тонкого и толстого отделов кишечника серого цвета, консистенция дряблая, слизистая оболочка светло-коричневого цвета, циркулярно расположенные складки не просматриваются, слизистая оболочка местами слущивается. Наиболее ярко патологические изменения стенки кишечника выражены у мышей, поедавших зерно с концентрацией гербицида 28 мг/кг. У животных появляются более тяжёлые повреждения: точечные кровоизлияния под слизистой оболочкой тонкого кишечника.

При микроскопическом исследовании гистологических препаратов печени наиболее сильные изменения обнаружены у опытных животных, поедающих зерно с концентрацией гербицида 28 мг/кг. У животных из первой и второй опытных подгрупп наблюдалось расширение синусоидных капилляров, в протоках просматривались единичные лимфоциты. Балочно-радиальное строение печёночных долек сохранено, прослеживается чётко, полигональная форма клеток естественного размера. У мышей из третьей подгруппы наблюдалось значительное количество лейкоцитов в протоках капилляров, балочно-радиальное строение печеночных долек прослеживается нечётко, полигональная форма гепатоцитов вытянута, клетки увеличены в размерах.

Выводы

В результате выполненных исследований установлено, что глифосат при концентрациях 7, 14, 28 мг/кг вызывает угнетение функции репродуктивной системы опытных животных и негативно воздействует на жизнеспособность потомства.

При анализе цитологических препаратов крови опытных животных зафиксировано снижение количества форменных клеток: лейкоцитов и эритроцитов. В ходе хронической интоксикации выявлено негативное воздействие глифосата на морфологические показатели крови.

При патологоанатомическом вскрытии лабораторных животных наблюдали изменения печени, тонкого и толстого отделов кишечника. Исследование гистологических препаратов печени показало, что гербицид при различных концентрациях вызывает нарушение структуры ткани органа.

Список литературы

Баранов А. И., Гринько А. В. Влияние гербицидов на засорённость и урожайность ярового ячменя // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6(50). С. 35–37.

Голованова И. Л., Аминов А. И. Влияние некоторых экологических факторов на чувствительность гликозидаз рыб к действию гербицида Раундап *in vitro* // Труды Карельского НЦ РАН. 2016. № 12. С. 96–105. <https://doi.org/10.17076/eco499>

Жиденко А. А. Влияние гербицидов на структурный метаболизм карпа (*Cyprinus carpio* L.) разного возраста // Вісник Харків. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. 2007. № 788. С. 86–92.

Кузнецова Е. М., Чмиль В. Д. Глифосат: поведение в окружающей среде и уровни остатков // Современные проблемы токсикологии. 2010. № 1. С. 87–94.

Кузьмина В. В., Тарлева А. Ф., Шептицкий В. А. Влияние гербицида Раундап на активность пептидаз в кишечнике у рыб разных видов // Вопросы ихтиологии. 2017. Т. 57, № 5. С. 607–613. <https://doi.org/10.7868/S0042875217050113>

Ларина Г. Е. Эффективность комбинированных гербицидов на основе 2,4-дохлорфеноксиуксусной кислоты и ее производных // Агрехимия. 2014. № 1. С. 45–56.

Липский С. И., Пантюхов И. В., Ивченко В. К. Эффективность гербицидов АО «Байер» в борьбе с сорными растениями в посевах зерновых культур // Вестник Краснояр. гос. агр. ун-та. 2018. № 3. С. 12–19.

Методические указания по патогистологической технике / А. В. Жаров, В. И. Белоусов, И. И. Барабанов, М. В. Калмыков // Ветеринарный консультант. 2006. № 1. С. 9–17.

Мирошникова Д. И., Кирюшин В. А., Моталова Т. В. Вопросы применения гербицидов на основе глифосата // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2018. Т. 6, № 2. С. 318–325.

Олькова А. С., Фокина А. И. *Daphnia magna Straus* в биотестировании природных и техногенных сред // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135, № 4. С. 380–389.

Спиридонов Ю. Я., Жемчужин С. Г. Современные проблемы изучения гербицидов (2006–2008 гг.) // Агрехимия. 2010. № 7. С. 73–91.

Токсиколого-гигиеническая оценка остаточных количеств глифосата в сельскохозяйственной продукции / И. В. Лепешкин, В. И. Медведев, Е. Н. Багацкая, А. П. Гринько, Е. М. Кузнецова // Environment & Health. 2013. № 4. С. 45–49.

Фитосанитарный мониторинг парового поля и адаптация сорняков к раундапу и либерти / Л. Д. Протасова, Г. Е. Ларина, Ю. Я. Спиридонов, М. С. Раскин, В. А. Абубикеров // Агрехимия. 2008. № 4. С. 59–72.

Шубина А. Г., Синюткина С. Е., Шубин Р. А. Содержание пестицидов в зерне злаковых культур и пахотных почвах ряда районов Тамбовской области // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2009. Т. 15, № 1. С. 208–212.

Glyphosate / M. Watts, P. Clausing, A. Lyssimachou, G. Schutte, R. Guadagnini, E. Marquer. Pesticide Action Network (PAN) International, 2016. URL: <http://pan-international.org/wp-content/uploads/Glyphosate-monograph.pdf>.

Bandow C., Coors A., Römbke J. *Enchytraeus bigeminus* (Enchytraeidae, Oligochaeta) as a new candidate for ecotoxicological laboratory tests // Soil Organisms. 2013. Vol. 85, N 2. P. 103–112.

Effect of different soil types on the enchytraeids *Enchytraeus albidus* and *Enchytraeus luxuriosus* using the herbicide Phenmedipham / M. J. Amorim, J. Römbke, A. Scheffczyk, A. M. Soares // Chemosphere. 2005. N 61. P. 1102–1114. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.03.048>

History and sensitivity comparison of the *Spirodela polyrhiza* microbistest and *Lemna* toxicity tests / R. Baudo, M. Foudoulakis, G. Arapis, K. Perdaen, W. Lanneau, A. C. M. Paxinou, S. Kouvdou, G. Persoone // Knowl. Manag. Aquat. Ecosys. 2015. N 416. P. 23 (1–16). <https://doi.org/10.1051/kmae/2015019>

Müller R., Berghahn R., Hilt S. Herbicide effects of metazachlor on duckweed (*Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza*) in test systems with different trophic status and complexity // J. Environ. Sci. Health B (Environmental Health; Pesticides). 2010. N 45. P. 95–101. <https://doi.org/10.1080/03601230903471829>

Novais S. C., Soares A. M., Amorim M. J. *Enchytraeus albidus* (Oligochaeta) Exposed to Several Toxicants: Effects on Survival, Reproduction and Avoidance Behaviour // Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry – Biological Responses to Contaminants / N. Hamamura, S. Suzuki, S. Mendo, C. M. Barroso, H. Iwata, S. Tanabe (Eds.). 2010. P. 237–242.

Assessment of the Effect of Low Glyphosate Concentrations in Forage Cereal Crops on the Biochemical Parameters of Blood and Organs of Laboratory Mice

N. E. Shuvalova, E. A. Prutenskaya, M. G. Sulman

Tver State Technical University, Tver, Russian Federation

Abstract. Chemical methods for managing invasive plants in agriculture are dominant at present. Glyphosate-containing preparations are used as a desiccant and for drying of crops during pre-harvest period. Residual quantity of glyphosate founded in the grains of different crops was between 0.70 and 33.0 mg/kg. For example, the herbicide concentration in oats grown in the UK was about 0.9-14 mg/kg. As the result, herbicide is found in the environment, forage, food staff, animal tissues and human biomaterial. Chemical methods of analysis cannot conclude the toxic effects of herbicides on the environment, warm-blooded animals and humans. The purpose of the study was to examine the toxic effect of glyphosate on biochemical blood assays and organs of the laboratory rodents. The evaluation of influence of glyphosate was based on studies using 48 rodents. Chronic toxicity effects were determined by feeding rodents with grains containing 7, 14, 28 mg/kg of glyphosate. The exposure time was more than 4 months. The criteria for toxicity were based on biochemical changes of blood cells and tissues of rodents. Significant deviations of laboratory rodents' physiological standards of blood indicators were determined during the study. The results of laboratory researches demonstrate quantitative and qualitative changes of blood cells. Glyphosate intoxication in concentration of 7, 14, 28 mg/kg caused leukopenia, anemia, by reducing the number of leukocytes and erythrocytes. As it was intimated, the average reduction of number of leukocytes in blood by 30% and 66 % was founded in the group of rodents fed with grains containing 7 mg/kg of glyphosate after 4 and 6 months of the experiment; in the group of rodents fed with grains containing 14 mg/kg of glyphosate after 4 and 6 months of the experiment the average reduction reached 30% and 62 %; in the group of rodents fed with grains containing 28 mg/kg of glyphosate after 4 and 6 months of the experiment the average reduction reached 38 % and 73 %. The decrease of erythrocytes in blood of laboratory rodents demonstrates a greater dose-effect relationship in comparison with leukocytes. The average reduction of number of erythrocytes in blood by 23% and 28 % was founded in the group of rodents fed with grains containing 7 mg/kg of glyphosate after 4 and 6 months of the experiment; in the group of rodents fed with grains containing 14 mg/kg of glyphosate after 4 and 6 months of the experiment the average reduction reached 36% and 47%; in the group of rodents fed with grains containing 28 mg/kg of glyphosate after 4 and 6 months of the experiment the average reduction reached 43% and 59%. Qualitative changes in erythrocytes were determined by changes in size and shape of cells. Post-mortem examination of laboratory rodents founded changes in the liver, small and large intestine. The hepatotoxicity of glyphosate was expressed by changes in liver size, consistency and color. Negative influence of herbicide on the gut walls of small and large intestine was also expressed by the changes of intestinal mucosa color, consistency. A group of rodents fed with grains containing 28 mg/kg of glyphosate faced more abnormal changes of gut walls of small and large intestine, being reflected by the appearance of splinter hemorrhages under the intestinal mucosa of small intestine. The study also determined the negative effects of glyphosate on mammalian reproductive function and the viability of the posterity of laboratory rodents. The results demonstrate that chronic toxicity of herbicides contributes to the deviation of hematological and biochemical indices of blood, negatively affects differentiative state of liver, gut walls.

Keywords: glyphosate, chronic toxicity, bioassay, laboratory rodents.

For citation: Shuvalova N.E., Prutenskaya E.A., Sulman M.G. Assessment of the Effect of Low Glyphosate Concentrations in Forage Cereal Crops on the Biochemical Parameters of Blood and Organs of Laboratory Mice.

The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology, 2021, vol. 35, pp. 97-107.
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.35.97> (in Russian)

References

- Baranov A.I., Grin'ko A.V. Vliyanie gerbicidov na zasorjonnost' i urozhajnost' jarovogo jachmenja [The effect of herbicides on the weed and yield of spring barley]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. Orenburg St. Agr. Univ.], 2014, no. 6(50), pp. 35-37. (in Russian)
- Golovanova I.L., Aminov A.I. Vlijanie nekotoryh jekologicheskikh faktorov na chuvstvitel'nost' glikozidaz ryb k dejstvu gerbicide Raundap in vitro [The influence of some environmental factors on the sensitivity of fish glycosidases to the action of the herbicide Roundup in vitro]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN* [Proc. Karelian SCenter RAS], 2016, no. 12, pp. 96-105. (in Russian). <https://doi.org/10.17076/eco499>
- Zhidenko A.A. Vlijanie gerbicidov na strukturnyj metabolizm karpa (*Cyprinus carpio* L.) raznogo vozrasta [Effect of herbicides on the structural metabolism of carp (*Cyprinus carpio* L.) of different ages]. *Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo un-tu im. V. N. Karazina* [Bull. Kharkov Nation. Univ.], 2007, no. 788, pp. 86-92. (in Russian)
- Kuznetsova E.M., Chmil V.D. Glifosat: povedenie v okruzhajushhej srede i urovni ostatkov [Glyphosate: environmental behavior and levels of residues]. *Sovremennye problemy toksikologii* [Current problems of toxicology], 2010, no. 1, pp. 87-94. (in Russian)
- Kuz'mina V.V., Tarleva A.F., Sheptickij V.A. Vlijanie gerbicide Raundap na aktivnost' peptidaz v kishechnike u ryb raznyh vidov [The effect of Roundup herbicide on the activity of peptidases in the intestines in fish of different species]. *J. Ichthyol.*, 2017, vol. 57, no. 5, pp. 607-613. (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0042875217050113>
- Larina G.E. Jefferktivnost' kombinirovannyh gerbicidev na osnove 2,4-dohlorfenoksiusksusnoj kisloty i ee proizvodnyh [The effectiveness of combined herbicides based on 2,4-dochlorophenoxyacetic acid and its derivatives]. *Agrohimiya* [Agrochemistry], 2014, no. 1, pp. 45-56. (in Russian)
- Lipskij S.I., Pantjuhov I.V., Ivchenko V.K. Jefferktivnost' gerbicidev AO «Bajer» v bor'be s sornymi rastenijami v posevah zernovyh kul'tur [The effectiveness of Bayer Co. herbicides in weed control in cereal crops]. *Vestnik KrasGAU* [Bull. Krasnoyar. St. Agr. Univ.], 2018, no. 3, pp. 12-19. (in Russian)
- Zharov A.V., Belousov V.I., Barabanov I.I., Kalmykov M.V. Metodicheskie ukazaniya po patogistologicheskoj tekhnike [Methodological guidelines for the pathological technique]. *Veterinarnyi konsul'tant* [Veterinary Adviser], 2006, no. 1, pp. 9-17. (in Russian)
- Miroshnikova D.I., Kiryushin V.A., Motalova T.V. Voprosy primeneniya gerbitsidov na osnove glifosata [About application of glyphosate-based herbicides]. *Nauka molodykh (Eruditio Juvenium)* [Science of the young (Eruditio Juvenium)], 2018, vol. 6, no. 2, pp. 318-325. (in Russian)
- Ol'kova A.S., Fokina A.I. *Daphnia magna* Straus v biotestirovanii prirodnyh i tehnogennyh sred [Daphnia magna Straus in the biotesting of natural and industrial environments]. *Uspehi sovremennoj biologii* [Advances in Modern Biology], 2015, vol. 135, no. 4, pp. 380-389. (in Russian)
- Spiridonov Ju.Ja., Zhemchuzhin S.G. Sovremennye problemy izuchenija gerbicidev (2006-2008 gg.) [Modern problems of the study of herbicides (2006-2008)]. *Agrohimiya* [Agrochemistry], 2010, no. 7, pp. 73-91. (in Russian)
- Lepeshkin I.V., Medvedev V.I., Bagatskaya E.N., Grin'ko A.P., Kuznetsova E.M. Toksikologo-gigienicheskaya otsenka ostatochnykh kolichestv glifosata v sel'skokhozyaistvennoi produkcii [Toxicological and hygienic assessment of glyphosate residues in agricultural products]. *Environment & Health*, 2013, no. 4, pp. 45-49. (in Russian)
- Protasova L.D., Larina G.E., Spiridonov Ju.Ja., Raskin M.S., Abubikerov V.A. Fitosanitarnyj monitoring parovogo polja i adaptacija sornjakov k raundapu i liberti [Phytosanitary monitoring of the steam field and adaptation of weeds to Roundup and Liberty]. *Agrohimiya* [Agrochemistry], 2008, no. 4, pp. 59-72. (in Russian)

Shubina A.G., Sinjutina S.E., Shubin R.A. Soderzhanie pesticidov v zerne zlakovykh kul'tur i pahotnykh pochvah rjada rajonov Tambovskoj oblasti [The content of pesticides in the grain of cereal crops and arable soils in a number of regions of the Tambov region]. *Vestnik TGTU* [Bull. Tambov St. Techn. Univ.], 2009, vol. 15, no. 1, pp. 208-212. (in Russian)

Watts M., Clausing P., Lyssimachou A., Schutte G., Guadagnini R., Marquer E. *Glyphosate*. Pesticide Action Network (PAN) International, 2016. URL: <http://pan-international.org/wp-content/uploads/Glyphosate-monograph.pdf>.

Bandow C., Coors A., Römbke J. Enchytraeus bigeminus (Enchytraeidae, Oligochaeta) as a new candidate for ecotoxicological laboratory tests. *Soil Organisms*, 2013, vol. 85, no. 2, pp. 103-112.

Amorim M.J., Römbke J., Scheffczyk A., Soares A.M. Effect of different soil types on the enchytraeids *Enchytraeus albidus* and *Enchytraeus luxuriosus* using the herbicide Phenmedipham. *Chemosphere*, 2005, no. 61, pp. 1102-1114. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.03.048>

Baudo R., Foudoulakis M., Arapis G., Perdaen K., Lanneau W., Paxinou A. C. M., Kouvdou S., Persoone G. History and sensitivity comparison of the *Spirodela polyrhiza* microbiotest and *Lemna* toxicity tests. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosys.*, 2015, no. 416, pp. 23 (1-16). <https://doi.org/10.1051/kmae/2015019>

Müller R., Berghahn R., Hilt S. Herbicide effects of metazachlor on duckweed (*Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza*) in test systems with different trophic status and complexity. *J. Environ. Sci. Health B (Environmental Health; Pesticides)*, 2010, no. 45, pp. 95-101. <https://doi.org/10.1080/03601230903471829>

Novais S.C., Soares A.M., Amorim M.J. *Enchytraeus albidus* (Oligochaeta) Exposed to Several Toxicants: Effects on Survival, Reproduction and Avoidance Behaviour. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry – Biological Responses to Contaminants*. N. Hamamura, S. Suzuki, S. Mendo, C. M. Barroso, H. Iwata, S. Tanabe (Eds.), 2010, pp. 237-242.

Шувалова Наталья Евгеньевна
аспирант
Тверской государственной технической
университет
Россия, 170026, г. Тверь,
наб. А. Никитина, 22
e-mail: ne.shuvalova@tmvl.ru

Shuvalova Natalya Evgenievna
Postgraduate
Tver State Technical University
22, A. Nikitin Emb., Tver, 170026,
Russian Federation
e-mail: ne.shuvalova@tmvl.ru

Прутенская Екатерина Анатольевна
кандидат биологических наук, доцент
Тверской государственной технической
университет
Россия, 170026, г. Тверь,
наб. А. Никитина, 22
e-mail: prutenskaya@mail.ru

Prutenskaya Ekaterina Anatolyevna
Candidate of Sciences (Biology),
Associate Professor
Tver State Technical University
22, A. Nikitin Emb., Tver, 170026,
Russian Federation
e-mail: prutenskaya@mail.ru

Сулман Михаил Геннадьевич
доктор химических наук, профессор,
заведующий кафедрой
Тверской государственной технической
университет
Россия, 170026, г. Тверь,
наб. А. Никитина, 22
e-mail: sulmanmikhail@yandex.ru

Sulman Mikhail Gennadievich
Doctor of Sciences (Chemistry),
Professor, Head of the Department
Tver State Technical University
22, A. Nikitin Emb., Tver, 170026,
Russian Federation
e-mail: sulmanmikhail@yandex.ru

Дата поступления: 24.01.2020

Received: January, 23, 2020