

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.4>

**АНАЛИЗ АГРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ПРЕПАРАТОМ «ХАКЕР» И
ОЦЕНКА ЕГО ВЛИЯНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ТЕСТ-ОБЪЕКТА (НА ПРИМЕРЕ ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ,
SINAPIS ALBA L.)**

Научная статья

Ищук Т.А.^{1,*}, Данилов Д.А.², Беляева Н.В.³

¹ ORCID : 0000-0003-4665-9516;

² ORCID : 0000-0002-7504-5743;

³ ORCID : 0000-0001-8673-2824;

^{1,2,3} Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург,
Российская Федерация

² Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» — филиал ФГБНУ
«Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Гатчина, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (rabbit0189[at]mail.ru)

Аннотация

Цель данного исследования состояла в проведении биотестирования образцов почвы после ее обработки препаратом «Хакер» в различных концентрациях с последующим определением фитотоксичности методом проростков и анализом агрохимических показателей. Подбирались различные концентрации выбранного препарата с последующей обработкой вариантов опыта. Тест на фитотоксичность показал, что почвы после обработки препаратом относятся к категории V, то есть являются практически не токсичными. Однако на надземной части всходов были обнаружены признаки усыхания, пожелтения и скрученности побегов. Также была проведена оценка агрохимического состояния почвы после применения препарата «Хакер». По результатам корреляционного анализа наиболее сильная корреляция наблюдается между концентрацией клопиралида и длиной побегов; между концентрацией препарата и процентом деформации растений и между концентрацией гербицида и содержанием органического вещества в почве. Но на содержание органического вещества в почве с агрохимической точки зрения гербицид не может оказать сильного воздействия за такой короткий срок и в такой низкой концентрации. На все остальные показатели в почве влияние «Хакер» косвенное или недостоверное.

Ключевые слова: фитотоксичность, метод проростков, пестициды, фитотестирование.

**THE EFFECT OF THE DRUG "HACKER" ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF A TEST OBJECT (ON
THE EXAMPLE OF WHITE MUSTARD, *SINAPIS ALBA L.*)**

Research article

Ishchuk T.A.^{1,*}, Danilov D.A.², Belyaeva N.V.³

¹ ORCID : 0000-0003-4665-9516;

² ORCID : 0000-0002-7504-5743;

³ ORCID : 0000-0001-8673-2824;

^{1,2,3} Saint-Petersburg State Forest Technical University, Saint-Petersburg, Russian Federation

² Leningrad Research Agriculture Institute – Branch of Russian Potato Research Centre, Gatchina, Russian Federation

* Corresponding author (rabbit0189[at]mail.ru)

Abstract

The purpose of this study was to assess the influence of the "Hacker" system herbicide (active substance-clopiralid) on the growth and development of a test object, on the example of a white mustard (*Sinapsis alba*). Various concentrations of the selected drug were selected with subsequent processing of experience options. The phytotoxicity test showed that the soils after treatment with the drug belong to category V, that is, they are practically non-toxic. However, signs of drying, yellowing and twisting of shoots were discovered on the aboveground part of the seedlings. The agrochemical state of the soil was also evaluated after the use of the drug "Hacker". According to the results of correlation analysis, the most powerful correlation is observed between the concentration of clopiralide and the length of shoots; between the concentration of the drug and the percentage of plant deformation and between the concentration of herbicide and the content of organic matter in the soil. But on the content of organic matter in the soil from an agrochemical point of view, herbicide cannot have a strong effect in such a short time and in such a low concentration. On all other indicators in the soil, the influence of the "Hacker" is indirect or inaccurate.

Keywords: phytotoxicity, method of seedlings, pesticides, phytotestation.

Введение

Борьба с нежелательными растениями является неотъемлемой частью агроэкосистем и играет ключевую роль в достижении высокого потенциала сельскохозяйственных культур, так как способствует предотвращению экономических потерь от сорной растительности.

Семена растений семейства крестоцветных широко используются в биотестах, поскольку имеют небольшие размеры, малый запас питательных веществ и, следовательно, более подвержены влиянию внешней среды [5], [11].

По горчице белой также проводилось исследование по влиянию на нее гербицида – метсульфурон-метил. По мере увеличения концентрации препарата было отмечено ее полное угнетение роста, вплоть до полной гибели тест-объектов почти со 100% на самой высокой концентрации в 4г/га [10].

Для нашего исследования наиболее важным являлось рассмотреть влияние гербицида «Хакер» с точки зрения токсиканта для почвы и стимулятора роста для тест-культуры горчицы белой. Препарат «Хакер» – системный гербицид для борьбы с однолетними и многолетними двудольными сорняками, действующим веществом которого является клопиралид ($C_6H_3Cl_2NO_2$). Клопиралид не подвержен фото- или химической деградации, не адсорбируется на частицах почвы, что повышает риск загрязнения поверхностных и грунтовых вод. В лабораторных условиях были проведены исследования по фотохимическому окислению клопиралида под воздействием ультрафиолетового излучения, доказано, что клопиралид и его комплексы с металлами трудно разлагаются под действием УФ-облучения, основные продукты разложения хлорбензолы и хлорбутанолы. Продукты фотохимической деградации являются не менее токсичными соединениями, однако легко разрушающиеся микроорганизмами активного ила [3], [12].

Стимуляция роста растений может увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур, сокращать сроки созревания и повышать питательную ценность плодов, улучшать устойчивость культуры к болезням, заморозкам, засухе и другим неблагоприятным факторам, ускорять прорастание семян, уменьшать опадение завязей и примерное. Роль гербицидов в борьбе с сорняками понятна, а вот их влияние, как стимуляторов роста и развития растений не всегда ясна ввиду отсутствия данных.

Химическая формула и структура ауксинов и клопиралида схожи, что может объяснять их влияние на точки роста побегов и изменения в структуре листьев. После опрыскивания клопиралид попадает в клетку растения и перемещается из клетки в клетку посредством полярного транспорта, частично по флоэме [12].

По данным зарубежной литературы была проведена экспертная оценка возможного риска активного вещества – клопиралид. Были сделаны следующие выводы: в общем представлении клопиралид обладает очень высокой подвижностью в почве, отмечена высокая мобильность в зерновых культурах; адсорбция клопиралида не зависит от pH [16].

Изучая ранее проведенные исследования действия клопиралида на различные тест-культуры (семейства зерновых, пасленовых, маревых и др.), практически отсутствуют данные по его воздействию на культуры семейства крестоцветные [15], [14], [13]. Так как клопиралид обладает избирательным действием по отношению к семейству крестоцветных интересно узнать насколько он влияет на рост и развитие тест-объекта (на примере горчицы белой, *Sinapis alba*) помимо токсического эффекта.

Методы и объекты исследования

В данном исследовании проведено биотестирование образцов почвы после ее обработки препаратом «Хакер» в различных концентрациях с последующим определением фитотоксичности методом проростков и анализом агрохимических показателей.

Фитотоксичность – способность пестицидов или других веществ оказывать токсическое (отравляющее) воздействие на растения, способность химических веществ (в т.ч. ПАВ), растворенных в воде, угнетать (ингибировать) прорастание семян высших растений. Особенно важна роль фитотоксичности при мониторинге загрязненных химическими веществами почв. Начало проявления фитотоксичности тесно связано с предельно допустимой концентрацией токсикантов. Так, например, уменьшение числа проростков по одному из методов фитотоксичности в загрязненной почве, по отношению к контрольному варианту более чем в несколько раз, говорит о значительной степени ухудшения состояния почв и грунтов: снижении продуктивности, уменьшении плодородного слоя, утрате способности почвы к самоочищению и самовосстановлению, вплоть до полной эрозии или опустынивания [6], [4].

В качестве объектов исследования были взяты семена горчицы белой (*Sinapis alba* L.), сорт «Радуга». Выбранная культура обладает повышенной чувствительностью к загрязняющим веществам, отличается быстрым прорастанием семян, а побеги и корни под действием загрязнителей подвергаются заметным морфологическим изменениям [1].

Для обработки всходов был выбран пестицид «Хакер» – системный послевсходовый гербицид избирательного действия, направленный для борьбы с некоторыми однолетними и многолетними двудольными сорняками, в том числе трудноискоренимыми видами (бодяк полевой, виды ромашки, осота и горца). Действующее вещество – клопиралид ($C_6H_3Cl_2NO_2$). Отличается избирательностью по отношению к зерновым, культурам семейства крестоцветные, льну и сахарной свекле. В связи с тем, что некоторые овощные культуры, такие как томаты, подсолнечник, горох, чечевица, салат-латук, перец, фасоль, виноград чувствительны к клопиралиду на достаточно низком уровне (10 мг/кг), в сельскохозяйственной практике данный гербицид применяют избирательно. Класс опасности для человека – умеренно опасный. Препаративная форма – водорастворимые гранулы.

При существенных различиях стандартизированных методов фитотестирования, основное – фаза проведения теста (проращивание культуры в водной вытяжке или в твердом субстрате) и сроки проведения эксперимента, было предложено объединить некоторые официальные методики. За основу был взят документ – ФР.1.39.2006.02264, где параметр тест-культуры – длина корней и побегов.

Проращивание в грунте было выбрано, на основании имеющихся данных, что результаты смежных исследований в почве и в водной вытяжке разнятся. Считается, что тест-культура более достоверно реагирует на токсикант в почве, чем в водной вытяжке. Наше исследование было проведено на универсальном грунте (табл. 1), чтобы почвенные условия были стандартизованы и была возможность посмотреть достоверную реакцию тест-культуры только на токсикант.

Таблица 1 - Характеристика универсального грунта

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.4.1>

Анализируемый показатель	Ед. измерений	Результаты испытаний	Нормативный документ на методы испытаний
Влажность	%	67,5	ГОСТ 28268-89
pH сол.	ед. pH	6,4	ГОСТ 11623-89
Азот аммонийный	мг/кг	293,4	ГОСТ 26489-85
Фосфор подвижный	мг/кг	831	ГОСТ Р 54650-2011
Калий подвижный	мг/кг	994	ГОСТ Р 54650-2011

Чтобы оценить степень токсичности исследуемых почв были произведены расчеты степени изменения длины корней всходов пшеницы на почве по сравнению с контрольным образцом в процентах. Если значение N_2 имеет отрицательное значение, то есть техногенно загрязненная почва оказывает стимулирующее действие на рост и развитие всходов растения, то такую пробу автоматически относят к категории V – практически не токсичные (табл. 2) [7], [8].

Таблица 2 - Категории токсичности техногенно загрязненных почв

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.4.2>

Степень токсичности	Степень изменения длины корня по сравнению с контролем, N_2 , %
V – практически не токсичные	$0 < N_2 \leq 20$
IV - малотоксичные	$20 < N_2 \leq 50$
III – умеренно токсичные	$50 < N_2 \leq 70$
II – опасно токсичные	$70 < N_2 \leq 100$
I – высоко опасно токсичные	$N_2 = 100$
Если полученное значение снижения длины корня (N_2) попадает на границу между степенями токсичности (18-20% для V, IV степеней; 48-50% для IV, III степеней; 68-70% для III, II степеней; 98-100% для II, I степеней), то испытуемую пробу относят к более опасной степени.	

В агрохимических исследованиях широко используют практические и математические методы для оценки точности опытов и достоверности полученных результатов. Это позволяет выявить зависимости между объектами анализа, например, токсикантами и растениями. Применялся корреляционный и дисперсионный анализ полученных данных.

Методики выполнения лабораторных анализов:

- ГОСТ Р 52838-2007, определение накопления сухого вещества в растении;
- ГОСТ 28268-89, «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений» от 1990-06-01;
- ГОСТ 26483085, «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО» от 01.07.1996;
- Определение органического вещества в почве методом сухого озоления по Г.Г. Густавсону;
- ГОСТ 26489-85, «Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО» от 26.03.1985;
- ГОСТ 13496.4-2019, «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина»;
- ГОСТ 26657-97, «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье».
- ГОСТ Р 54650—2011 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

Основные результаты

Все подобранные концентрации препарата для полива разводили в 50 мл воды. После чего производилась обработка всходов для каждого варианта опыта. Для того чтобы определить влияние пестицидов на рост проростков, в возрасте 10 суток, учитывали для контрольных и испытуемых проб среднее арифметическое результатов измерений, полученных в условиях повторяемости, равной 10 (табл. 3).

Препарат «Хакер», относящийся к группе гербицидов, получил категорию V – почвы, после его попадания, практически не токсичны. Однако, на надземной части всходов были обнаружены признаки усыхания, пожелтения и скрученности побегов.

Таблица 3 - Степень токсичности клопиралида, средняя длина корней и побегов по трем повторностям

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.4.3>

Концентрация клопиралида, мг/л	Ср. длина корня по повторностям, мм	Ср. длина всхода по повторностям, мм	N ₂ , %	Степень токсичности
0	41,9 ±5,5	60,1 ±0,8	–	–
0,1	37,4 ±3,2	60,1 ± 1,4	11	V
0,2	40,9 ±1,8	63,2 ±1,6	2	V
1	37,1 ±4,7	62,6 ± 2,2	12	V
2	32 ±4,3	63,5 ±2,8	11	V
4	29,8 ±4	66,0 ± 2,2	21	V
6	44,3 ±2,8	68,8 ±3,3	-6	V
10	46,3 ±1,4	70,5 ±4,9	-11	V
16	41,6 ±4,7	71,7 ±2	0,7	V
20	43,2 ±1,8	69,7 ±1,9	-3	V

Проведённый дисперсионный анализ не выявил достоверных различий изменчивости длины корней обусловленных концентрацией гербицида, $F_{\text{рас.}} < F_{\text{табл. т.к. } p\text{-расч.}} = 0,350 > p = 0.05-0.1$ и влияние не достоверно [2].

Однако изменение длины побега достоверно зависит от концентрации клопиралида, $F_{\text{рас.}} > F_{\text{табл. т.к. } p\text{-расч.}} = 0,049 < p = 0.05-0.1$, и доля влияния его воздействия составила 52% от суммы всех факторов.

$$dx^2 = Cx^2/Cy^2 * 100$$

$$dx^2 = 466,663/896,91 * 100 = 52\%.$$

Показатель сухой массы растений является суммирующей величиной, характеризующей условия питания, роста и развития посевов в течение периода вегетации и в дальнейшем напрямую влияет на показатель накопления основных элементов питания. Накопление сухого вещества растений происходит усвоению диоксида углерода через листья (воздушное питание), а воды, азота и зольных элементов — из почвы через корни (корневое питание).

Таблица 4 - Накопление сухого вещества и содержание основных макроэлементов в растениях

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.4.4>

Концентрация клопиралида, мг/л	Ср. показатель накопления сухого вещества, %	Фосфор, % а.с.в.	Калий, % а.с.в.	Азот, % а.с.в.
0	7,02 ±0,5	1,864	2,273	5,68
0,1	7,14 ± 0,4	1,838	2,601	5,55
0,2	7,1 ±0,2	1,877	2,9	5,61
1	7,35 ±1,8	1,958	2,363	5,33
2	7,33 ±0,5	1,925	2,434	5,4
4	6,56 ±0,1	1,94	3,447	5,73
6	6,19 ±0,2	1,988	3,854	5,77
10	6,09 ±0,5	1,886	3,960	5,86
16	6,02 ±0,2	1,89	3,649	5,39
20	6,02 ±0,3	1,949	3,857	5,5

Накопление сухого вещества в растение в целом снижается. Значит, усвоение углерода растениями нарушается по сравнению с контролем – 0 мг/л (7,02%) на концентрациях 0,2 мг/л, 4 мг/л – 20 мг/л. В концентрации 1 мг/л возможен выброс в измерениях (табл. 4).

Максимальное накопление фосфора по сравнению с контролем происходит в концентрациях: 1 мг/л – 1,958%; 4 мг/л – 1,94%; 6 мг/л – 1,988%; 20 мг/л – 1,949%.

Максимальный вынос калия из почвы растением происходил при концентрациях: 0,2 мг/л – 3,56%, 6 мг/л – 3,25%, 10 мг/л – 3,41%, 20 мг/л – 3,4%.

Максимальное процентное содержание азота в концентрациях клопиралида: 4 мг/л – 5,73%; 6 мг/л – 5,77%; 10 мг/л – 5,86%. При всех остальных концентрациях накопление азота происходило хуже, чем в контрольном образце.

По трем показателям (азот, фосфор, калий) наиболее интересна концентрация клопиралида в 6 мг/л. В данной концентрации происходит усиление физиологических процессов растений по накоплению веществ по сравнению с

контролем, что говорит о физиологических изменениях в процессах жизнедеятельности тест-культуры и возможно о стимулирующем эффекте клопиралида как фитогормона.

Агрохимический анализ проводили в соответствии с методическими указаниями. Определяли такие показатели почвы, как водородный показатель почвы, влажность субстрата, процентное содержание органического вещества в почве, содержание доступных подвижных форм основных элементов питания для растений (P_2O_5 , K_2O , NH_4 и NO_3) (табл. 5).

От pH почвы зависит доступность элементов питания и общее состояние тест-культуры. Но, в свою очередь, тест-культура может влиять на кислотность почвы, за счет избирательного поглощения растениями катионов и анионов из почвы. Этот процесс может влиять на водородный показатель в почве, вызывая физиологическую кислотность или физиологическую щелочность. Соли, из состава которых в больших количествах поглощается анион, чем катион, и в результате происходит подщелачивание раствора, являются физиологически щелочными. Соли, из которых катион поглощается растениями в больших количествах, чем анион, в результате происходит подкисление раствора, являются физиологически кислыми, значит поглощал больше катион NO_3 [9].

Органическое вещество почвы представлено на 85-90% гумусных веществ (на 50-60% состоят из углерода, 30-45% кислорода и только на 2.5-5% из азота).

Ключевые показатели для развития растений: влажность субстрата в большей степени влияет на развитие корней, а органическое вещество в почве накапливает запасы углерода, азота, калия, фосфора, микроэлементов, способствует формированию оптимального режима и структуры почвы, предотвращает эрозионные процессы и снижает воздействие токсичных веществ.

Таблица 5 - Агрохимические показатели почвенных образцов

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.4.5>

Концентрация клопиралида, мг/л	pH, KCl	Влажность, %	Содержание органического вещества в почве, %	Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг	Содержание K_2O в почве, мг/кг	Содержание N- NH_4 в почве, мг/кг	Содержание N- NO_3 в почве, мг/кг
0	5,6	50,9±0,8	94,6±0,7	788,9±89,3	1165±133,8	364,5±12,8	79,7±3,9
0,1	5,5	54,4±0,6	94,6±1,1	692,9±43,8	932,7±68,9	348,5±2,9	72,6±1,8
0,2	5,3	55,7±3	94,7±1,5	733,3±72,1	980±89,6	328,6±10,1	63,9±2,3
1	5,2	55,7±1,3	94±1,6	648,4±49,6	914±55,2	346,9±16,4	71,6±7,8
2	5,4	55,7±0,5	94,3±1,2	759,7±77,3	1063,3±39,3	337,1±11,8	70,6±1,5
4	5,4	56,7±0,8	95,7±1,5	701,3±76,5	991,3±84,5	314,8±11,1	66,9±2,5
6	5,6	59±1,0	95,5±1,1	578,8±27,1	863,3±36,6	317,9±9,6	62,8±3,4
10	5,6	58,7±2,9	95,3±1,4	652,6±6,1	865,7±63,8	349,5±15,0	70,9±2,3
16	5,7	57,2±0,6	96,5±1,2	763,9±85,6	975,7±96,3	336,1±10,9	67,2±1,1
20	5,5	57,6±2,1	96,1±0,8	591,3±23,4	842,3±20,9	354,6±9,5	71,7±4,7

В результате агрохимического анализа под влиянием клопиралида на всходы горчицы отмечены следующие результаты:

1. По показателю pH можно предположить, что произошло подкисление грунта, возможно из-за жизнедеятельности растений или из-за клопиралида, так как заявленная кислотность грунта производителем – 5,5-7 по результатам исследования была совсем на границе перехода грунта из близко к нейтральным почвам в слабокислые почвы. Например, в концентрации клопиралида – 0,1 мг/л pH в данном образце – 5,51; 1 мг/л – 5,21; 4 мг/л – 5,42.

2. Высокие показатели влажности, превышающие 100%, могут обуславливать pH. Умеренно кислые почвы свойственны регионам с избытком влаги в почве, например, для Ленинградской области.

3. Содержание органического вещества максимальное при концентрациях: 4 мг/л; 16 мг/л и 20 мг/л. - значит, в данных концентрациях растение хуже всего усваивало гумусовые вещества. Стимуляция растений к активному

поглощению органических веществ происходит в концентрациях 1 мг/л и 2 мг/л по сравнению с контрольными образцами.

4. Самое низкое содержание P_2O_5 в почвенных образцах зафиксировано в концентрациях: 1 мг/л – 648,38 мг/кг, 6 мг/л – 578,81 мг/кг, 10 мг/л – 652,55 мг/кг, 20 мг/л – 591,33 мг/кг.

5. Самое низкое содержание K_2O в концентрациях: 1 мг/л – 914 мг/кг, 6 мг/л – 863,33 мг/кг, 10 мг/л – 865,67 мг/кг, 20 мг/л – 842,33 мг/кг. Можно предположить, что растениями больше поглощались основные элементы при данных концентрациях препарата.

6. Что касается содержания в образцах аммонийного азота и азота нитратов, то их показатели очень схожи между собой. Самые низкие значения NH_4 в концентрациях: 0,2 мг/л – 328,55 мг/кг; 4 мг/л – 314,75 мг/кг, 6 мг/л – 317,89 мг/кг, 16 мг/л – 336,06 мг/кг. Самые низкие значения NO_3 были отмечены в концентрациях: 0,2 мг/л – 63,93 мг/кг; 4 мг/л – 66,86 мг/кг, 6 мг/л – 62,82 мг/кг, 16 мг/л – 67,17 мг/кг.

Азот является элементом, необходимым для роста и развития всех растений. Для обеспечения синтеза белка и других азотистых соединений, необходимых для роста, азот должен находиться в восстановленной форме (аммоний). Растения могут абсорбировать азот из почвы в виде нитратов, а также аммония, но в этом случае растения должны преобразовать его для усвоения. Данная трансформация нитратов требует энергии или снижает количество углеводных структур, которые используются для формирования различных аминокислот. Поэтому данный процесс очень зависит от фотосинтеза, а различные метаболические превращения делают азот подвижным элементом в растении [6].

По корреляционному анализу произведений Пирсона определяется наличие линейной взаимосвязи между рассматриваемыми показателями, это позволяет оценить ее характер с точки зрения силы, направления и достоверности, по p -значению. Полученные связи приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Корреляционный анализ между содержанием клопиралида биометрическими и биохимическими показателями горчицы и агрохимическими показателями почвы

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.4.6>

Показатель	Коэффициент корреляции	P-значение	Вид связи
Длина корней	0,484	0,1567	Слабая, недостоверная, прямая
Длина побега	0,862	0,0013	Сильная, достоверная, прямая
Длина всего растения	0,780	0,0079	Сильная, достоверная, прямая
Накопление сухого вещества	-0,528	0,1171	Умеренная, обратная, недостоверная
Дефекты растений	0,926	0,0001	Сильная, достоверная, прямая
Органическое вещество в почве	0,846	0,0020	Сильная, достоверная, прямая
Фосфор в почве	0,251	0,4835	Недостоверная, прямая, слабая
Калий в почве	-0,514	0,1285	Недостоверная, обратная, умеренная
NH_4	0,097	0,7901	Прямая, недостоверная, слабая
NO_3	-0,137	0,7052	Обратная, недостоверная, слабая
K% в растениях	0,360	0,3072	Прямая, недостоверная, слабая
P% в растениях	0,251	0,4835	Прямая, недостоверная, слабая
N% в растениях	0,251	0,4835	Прямая, недостоверная, слабая

Полученные результаты показывают, что наиболее сильная корреляция наблюдается между концентрацией клопиралида и длиной побегов; между концентрацией препарата и процентом деформации растений и между концентрацией гербицида и содержанием органического вещества в почве. Но на содержание органического вещества в почве с агрохимической точки зрения гербицид не может оказать сильного воздействия за такой короткий срок и в такой низкой концентрации. На все остальные показатели в почве влияние «Хакер» косвенное или недостоверное.

Заключение

На основании проведённого исследования можно сделать ряд выводов:

- Наиболее сильная связь наблюдается между концентрацией клопиралида и длиной побегов, а также процентом деформации растений.
- Установлена достоверная связь (корреляция) между содержанием фосфора в фитомассе и выносом растения фосфора из почвы от повышения концентрации клопиралида.
- Выявлено, что между содержанием азота в фитомассе и выноса подвижных форм из почвы (аммонийный и нитратный азот) – прослеживается обратная корреляция с содержанием клопиралида.
- Связь по содержанию калия, азота и фосфора в фитомассе с длиной растений (длина корня+длина побега прямая) прямая на фоне применения клопиралида.
- При применении клопиралида связь между содержанием фосфора, азота и калия в почве с длиной растений обратная за счет того, что происходит усвоение элементов питания и вынос их из почвы.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

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

Conflict of Interest

None declared.

Review

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

Список литературы / References

1. Байбакова Е.В. Исследование влияния современных пестицидов на физиологические особенности зерновых культур / Е.В. Байбакова, Е.Э. Нефедьева // Вестник технологического университета. — 2015. — Т. 18. — № 10. — С. 222–226.
2. Васильева Т.В. Однофакторный дисперсионный анализ : учебно-методическое пособие по курсу «Методы математической статистики» : для студентов гуманитарных направлений обучения / Т.В. Васильева. — Владивосток : Издательство Дальневосточного федерального университета, 2020. — 18 с.
3. Ищук Т.А. Агрохимическое состояние почвы после обработки препаратом «ХАКЕР» в разных концентрациях / Т.А. Ищук, В.С. Левицкая; под ред. А.А. Добровольского // Леса России: политика, промышленность, наука, образования : материалы IX Всероссийской научно-технической конференции. — Saint Petersburg : СПбГЛТУ, 2024. — С. 232–234.
4. Ищук Т.А. Влияние пестицидов широкого спектра на рост всходов пшеницы / Т.А. Ищук, Л.В. Миньо; под ред. А.А. Добровольского // Леса России: политика, промышленность, наука, образования : материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. — Saint Petersburg : СПбГЛТУ, 2022. — С. 170–173.
5. Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. — Ростов-на-Дону : Издательство Ростовского университета, 2003. — 204 с.
6. Культиасов И.М. Экология растений / И.М. Культиасов — Москва : Издательство Московского университета, 1982. — 384 с.
7. М-П-2006, ФР.1.39.2006.02264. Методика выполнения работ по определению всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. — 19 с.
8. Левицкая В.С. Оценка влияния гербицида («Хакер») на фитотоксичность почвы и рост всходов горчицы белой (*Sinapis alba* L.) / В.С. Левицкая, Т.А. Ищук; под ред. В.С. Павлова // Леса России: политика, промышленность, наука, образования : материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2023. — С. 97–101.
9. Муравин Э.А. Агрохимия / Э.А. Муравин. — Москва : КолосС, 2004. — 384 с.
10. Поддымкина Л.М. Гербициды и фитотоксичность почвы / Л.М. Поддымкина, П.В. Шафикова, Д.С. Усачев [и др.] // Агрохимия. Растениеводство. — 2022. — URL: <https://agbz.ru/articles/gerbitsidy-i-fitotoksichnost-pochvy/> (дата обращения: 09.12.2024).
11. Терехова В.А. Экотоксикологическая оценка повышенного содержания фосфора в почвогрунте по тест-реакциям растений на разных стадиях развития / В.А. Терехова, Д.Б. Домашиев, А.К. Канышкин [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. — 2009. — № 3. — С. 21–27.
12. Шувалова Н.Е. Биотехнологические аспекты определения токсичности пестицидов на клеточных и организменных тест-системах : дис. ... канд. биол. наук : 1.5.6 : защищена 2021-04-26 : утв. 2021-04-26 / Н.Е. Шувалова. — Тверь, 2021. — 137 с.
13. Namiki S. Physiological disorder of plants depending on clopyralid concentration in the soil and plant / S. Namiki, N. Seike, E. Watanabe // Journal of Pesticide Science. — 2019. — Vol. 44. — № 2. — P. 136–140. — DOI: 10.1584/jpestics.D19-005.
14. Tandon S. Residue behavior of clopyralid herbicide in soil and sugar beet crop under subtropical field conditions / S. Tandon, A. Singh // Journal of Food Protection. — 2022. — Vol. 85. — № 5. — P. 735–739. — DOI: 10.4315/JFP-21-355.
15. Sun S. Perturbation of clopyralid on bio-denitrification and nitrite accumulation: long-term performance and biological mechanism / S. Sun, Y.-N. Hou, W. Wei [et al.] // Environmental Science and Ecotechnology. — 2021. — № 9. — 100144 p. — DOI: 10.1016/j.ese.2021.100144.

16. Arena M. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance clopyralid. European food safety authority (efsa) / M. Arena, D. Auteri, S. Barmaz [et al.] // EFSA Journal. — 2018. — Vol. 16. — № 8. — e05389 p. — DOI: 10.2903/j.efsa.2018.5389.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Baibakova E.V. Issledovanie vliyaniya sovremennykh pestitsidov na fiziologicheskie osobennosti zernovykh kul'tur [Study of the effect of modern pesticides on physiological characteristics of cereal crops] / E.V. Baibakova, E.E. Nefedieva // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Technological University]. — 2015. — Vol. 18. — № 10. — P. 222–226. [in Russian]

2. Vasilyeva T.V. Odnofaktornyj dispersionnyj analiz [One-factor analysis of variance] : textbook on the course "Methods of mathematical statistics" : for students of humanitarian directions of education / T.V. Vasilyeva. — Vladivostok : Publishing House of the Far Eastern Federal University, 2020. — 18 p. [in Russian]

3. Ischuk T.A. Agrokhimicheskoe sostoyanie pochvy posle obrabotki preparatom "KHAKER" v raznykh kontsentratsiyakh [Agrochemical condition of soil after treatment with "HACKER" preparation in different concentrations] / T.A. Ischuk, V.S. Levitskaya; edited by A.A. Dobrovolsky // Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniya [Forests of Russia: policy, industry, science, education] : materialy IX Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. — Saint Petersburg : SPbGLTU, 2024. — P. 232–234. [in Russian]

4. Ischuk T.A. Vliyanie pestitsidov shirokogo spektra na rost vskhodov pshenitsy [Influence of broad-spectrum pesticides on wheat seedling growth] / T.A. Ischuk, L.V. Min'ov; edited by A.A. Dobrovolsky // Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniya [Forests of Russia: policy, industry, science, education] : Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Technical Conference. — Saint Petersburg : SPbGLTU, 2022. — P. 170–173. [in Russian]

5. Kazeev K.Sh. Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Biological diagnostics and indication of soils: methodology and research methods] / K.Sh. Kazeev, S.I. Kolesnikov, V.F. Val'kov. — Rostov-on-Don : Publishing House of Rostov University, 2003. — 204 p. [in Russian]

6. Kultiasov I.M. Ekologiya rastenii [Plant ecology] / I.M. Kultiasov. — Moscow : Publishing House of Moscow University, 1982. — 384 p. [in Russian]

7. M-P-2006, FR.1.39.2006.02264. Metodika vypolnenij vskhozhesti semyan i dliny kornej prorostkov vysshikh rastenij dlya opredeleniya toksichnosti tekhnogenno zagryaznennykh pochv [Methodology of seed germination and root length of higher plant seedlings to determine the toxicity of technogenically contaminated soils]. — 19 p. [in Russian]

8. Levitskaya V.S. Otsenka vliyaniya gerbitsida ("Khaker") na fitotoksichnost' pochvy i rost vskhodov gorchitsy belo (Sinapsis alba L.) [Assessment of the effect of herbicide ("Hacker") on soil phytotoxicity and growth of white mustard (Sinapsis alba L.) seedlings] / V.S. Levitskaya, T.A. Ischuk; edited by V.S. Pavlov // Forests of Russia: policy, industry, science, education : Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Technical Conference. — Saint Petersburg : SPbGLTU, 2023. — P. 97–101. [in Russian]

9. Muravin E.A. Agrokhimiya [Agrochemistry] / E.A. Muravin. — Moscow : KolosS, 2004. — 384 p. [in Russian]

10. Poddymkina L.M. Gerbitsidy i fitotoksichnost' pochvy [Herbicides and soil phytotoxicity] / L.M. Poddymkina, P.V. Shafikova, D.S. Usachev [et al.] // Agrochemistry. Crop production. — 2022. — URL: <https://agbz.ru/articles/gerbitsidy-i-fitotoksichnost-pochvy/> (accessed: 09.12.2024). [in Russian]

11. Terekhova V.A. Ekotoksikologicheskaya otsenka povyshennogo sodержaniya fosfora v pochvogrunte po test-reaktsiyam rastenii na raznykh stadiyakh razvitiya [Ecotoxicological assessment of increased phosphorus content in soil by test reactions of plants at different stages of development] / V.A. Terekhova, D.B. Domashiev, A.K. Kaniskin [et al.] // Problemy agrokhimii i ekologii [Problems of Agrochemistry and Ecology]. — 2009. — № 3. — P. 21–27. [in Russian]

12. Shuvalova N.E. Biotekhnologicheskie aspekty opredeleniya toksichnosti pestitsidov na kletochnykh i organizmennykh test-sistemakh [Biotechnological aspects of pesticide toxicity determination on cellular and organismal test systems] : dis. ... of PhD in Biology : 1.5.6. : defense of the thesis 2021-04-26 : approved 2021-04-26 / N.E. Shuvalova. — Tver, 2021. — 137 p. [in Russian]

13. Namiki S. Physiological disorder of plants depending on clopyralid concentration in the soil and plant / S. Namiki, N. Seike, E. Watanabe // Journal of Pesticide Science. — 2019. — Vol. 44. — № 2. — P. 136–140. — DOI: 10.1584/jpestics.D19-005.

14. Tandon S. Residue behavior of clopyralid herbicide in soil and sugar beet crop under subtropical field conditions / S. Tandon, A. Singh // Journal of Food Protection. — 2022. — Vol. 85. — № 5. — P. 735–739. — DOI: 10.4315/JFP-21-355.

15. Sun S. Perturbation of clopyralid on bio-denitrification and nitrite accumulation: long-term performance and biological mechanism / S. Sun, Y.-N. Hou, W. Wei [et al.] // Environmental Science and Ecotechnology. — 2021. — № 9. — 100144 p. — DOI: 10.1016/j.ese.2021.100144.

16. Arena M. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance clopyralid. European food safety authority (efsa) / M. Arena, D. Auteri, S. Barmaz [et al.] // EFSA Journal. — 2018. — Vol. 16. — № 8. — e05389 p. — DOI: 10.2903/j.efsa.2018.5389.