

УДК 661.162.2

Влияние гербицида на основе десмедифама и фенмедифама на физиологические характеристики пшеницы

Кравченко Н.А.¹, Нефедьева Е.Э.^{1,2}, Кравцов М.В.¹, Плескачева В.В.¹, Белопухов С.Л.³

¹ Волгоградский государственный технический университет

² ООО «Агро Эксперт Групп»

³ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева

Аннотация

В данной статье рассматриваются экологические проблемы, связанные с накоплением гербицидов в почве и их влиянием на последующие культуры в севообороте. Исследуется гербицид, содержащий десмедифам и фенмедифам в равном соотношении. Изучено влияние гербицида на физиологические процессы у пшеницы: прорастание и рост корней и побегов проростков, активность протонных насосов корневой системы проростков пшеницы после инкубирования в растворе гербицида в течение 24 часов. Эксперименты были проведены с различными суммарными концентрациями смеси десмедифама и фенмедифама (0,5 ррт, 5 ррт и 50 ррт). Результаты показали, что гербициды оказывают дозозависимое угнетающее воздействие на рост растений и активность протонных насосов. Наибольшее угнетающее действие выявлено при суммарной концентрации 50 ррт. Полученные данные свидетельствуют о необходимости осторожного использования гербицида для минимизации его негативного воздействия на культурные растения.

Ключевые слова: *TRITICUM AESTIVUM L., МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ГЕРБИЦИДЫ, ФИТОТОКСИЧНОСТЬ, ВСХОЖЕСТЬ, ПРОРАСТАНИЕ, РОСТ, АЦИДОФИЦИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ*

Введение

Современные тенденции в агрономии сосредоточены на создании многокомпонентных гербицидов, которые имеют новые механизмы действия и снижают

экологические риски [1].

Загрязнение биосферы пестицидами – одна из наиболее актуальных проблем современной экологии. По данным на начало 2019 г. среди применяемых на территории Российской Федерации (РФ) пестицидов 97,6% от общего объёма (63,48 тыс. т) составили химические средства защиты растений (ХСЗР). Больше всего было использовано гербицидов. Актуальны проблемы, связанные с накоплением остаточных количеств препаратов в объектах окружающей среды, в первую очередь, в почве, а также связанные с фитотоксическим последствием и ограничением севооборота, негативным влиянием на культивируемые растения и фауну. Применение гербицидов привело к образованию и накоплению метаболитов – продуктов деградации действующих и вспомогательных веществ препаратов в окружающей среде [2]. Гербициды увеличивают загрязнение окружающей среды. Необходимо сократить их использование, чтобы защитить здоровье человека, а также других живых организмов [3]. Регулярное применение гербицидов может привести к загрязнению почвы и подземных вод, а также к накоплению остатков в урожае и появлению резистентных популяций сорных растений [4].

Нарушения в регламентах использования пестицидов становятся причиной серьезных экологических проблем, связанных с их накоплением в биосфере. Такое накопление оказывает неблагоприятное влияние на биотическую и абиотическую среду, включая токсическое воздействие на различные формы жизни. Особенно остро встает вопрос загрязнения окружающей среды пестицидами, включая почвы, водоемы и атмосферный воздух, что влечет за собой долгосрочные последствия для экосистем [5].

На снижение устойчивости агроэкосистем оказывает влияние множество факторов, включая частоту применения пестицидов, их химический состав и особенности механизма действия. На протяжении десятилетий сохраняются противоречия между необходимостью защиты растений с помощью химических препаратов, обеспечением агроэкологической стабильности и сохранением здоровья человека. Постоянное обновление и расширение ассортимента средств химической защиты с различными механизмами действия затрудняет глубокое изучение их отдаленных последствий для устойчивости окружающей среды [6].

Экологическую стабильность агроэкосистем ослабляют разнообразные неблагоприятные факторы, которые превышают условно допустимые нормы воздействия. Пестициды, обладая длительным сроком разложения, снижают устойчивость экосистемы в

условиях стрессовых факторов, хотя после снятия нагрузки система частично восстанавливается. Однако при многократном применении таких препаратов в течение одного сезона их негативное воздействие усиливается за счет накопления в среде и перекрытия эффектов. Именно эти аспекты, связанные с влиянием пестицидов на экологическое равновесие и последствия их применения, подчеркивают актуальность проведенного исследования.

Фитотоксичность гербицидов, то есть их способность вызывать повреждения или угнетение роста растений, также является важным аспектом. Высокие концентрации гербицидов могут приводить к снижению активности культурных растений, что, в свою очередь, снижает их урожайность и качество [7]. Таким образом, существует необходимость в разработке альтернативных решений, которые бы сочетали эффективность контроля сорняков с низким уровнем токсичности для культурных растений и окружающей среды.

На данный момент существует огромное количество препаратов, которые прошли испытания, зарегистрированы и лицензированы. Каждый гербицид отличается по многим критериям: химическое строение, гербицидная активность, механизм действия, способ перемещения [8].

Значительный интерес вызывают гербициды, содержащие действующие вещества из группы фенилкарбаматов.

Десмедифам [Этил-3-фенилкарбамоилоксифенилкарбамат; этил-3-фенилкарбамоилоксикарбанилат; 3-этоксикарбониламинофенил фенилкарбамат] – действующее вещество гербицидов. Отличается узкой избирательностью. Применяется в комбинированных препаратах, предназначенных для уничтожения сорных растений в посевах свеклы [9].

К десмедифаму чувствительны однолетние двудольные сорняки, начиная с фазы всходов до образования четырех листьев. Эффективность вещества падает под воздействием низких температур и засухи. По спектру действия на сорные растения и избирательности является аналогом фенмедифама, однако в полтора раза более активен в сопоставимых дозах [10].

В почве десмедифам разлагается за полгода, на поверхности – за два-четыре месяца. ПДК в почве (мг/кг) 0,25 (тр.); ПДК в воде водоемов (мг/дм³) 0,05 (с.-т.); ПДК в воздухе

рабочей зоны (мг/м^3) 1,0; ПДК в атмосферном воздухе (мг/м^3) 0,02 (м.р.) [11].

Фенмедифам [метил-3-(3-метилкарбанилокси)-карбанила] – действующее вещество гербицидов. Обладает системным избирательным действием. Препараты на его основе используются по всходам свеклы во время образования 2-х настоящих листьев [11]. Фенмедифам – ингибитор нециклического фотофосфорилирования. Гербицид действует на фотосинтез и нарушает в чувствительных растениях реакцию Хилла, что обуславливает постепенное отмирание сорняков. Симптомы повреждения появляются через 4-8 дней. Гербицид применяется в сельском хозяйстве для предуборочной десикации зерновых культур, в частности пшеницы, что способствует улучшению условий для сбора урожая и повышению его качества [12]. Фенмедифам на поверхности почвы умеренно стойкий, разлагается в течение 3–4 месяцев, в почве – в течение 5–6 месяцев [13]. ПДК в почве (мг/кг) 0,25 (тр.); ПДК в воде водоемов (мг/дм^3) 0,05 (общ.); ПДК в воздухе рабочей зоны (мг/м^3) 0,5; ПДК в атмосферном воздухе (мг/м^3) 0,02 (м.р.) [11].

Гербициды могут вызывать угнетение роста растений, изменять их метаболизм, снижать активность ферментов и нарушать важные физиологические процессы, что приводит к снижению урожайности и ухудшению качества продукции [14].

Пшеница является одной из ведущих культур в мировой агрономии и традиционно используется как модельная (тест-) культура в исследованиях воздействия агрохимикатов. Это связано с ее высокой чувствительностью к изменениям в окружающей среде, что делает её удобным объектом для изучения фитотоксичности гербицидов.

Целью данного исследования является оценка влияния гербицида на основе десмедифама и фенмедифама на всхожесть зерновок пшеницы, физиологические параметры 7-суточных проростков, а также активность протонных насосов, что поможет в дальнейшем усовершенствовании практики применения гербицидов в сельском хозяйстве.

Материалы и методы

В качестве исследуемого гербицида был использован системный гербицид, содержащий в своем составе два активных вещества: десмедифам и фенмедифам.

В исследовании в качестве тест-культуры использовались зерновки пшеницы мягкой озимой (*Triticum aestivum* L.) сорта Безостая 100. Сорт среднеранний, высокоурожайный,

среднерослый с вегетационным периодом 221-296 дней. Сорт устойчив к полеганию и перестояю на корню.

Всхожесть зерновок определяли путем проращивания рулонным методом согласно ГОСТ 12038-84 [15].

На 2-й день после прораствания семена были перенесены в раствор гербицида на основе десмедифама и фенмедифама. Было проведено 3 опыта с различной суммарной концентрацией двух гербицидов, взятых в соотношении 1 : 1 – 0,5 ppm, 5 ppm и 50 ppm. Эти концентрации соответствовали 10, 100 и 100 ПДК в воде водоемов (0,05 мг/дм³) и приблизительно соответствовали 2, 20 и 200 ПДК в почве (0,25 мг/кг).

Для определения ацидофицирующей активности проводили поверхностную стерилизацию зерновок пшеницы. Зерновки пшеницы помещали в воду с поверхностно-активным веществом на 1 час. Затем семена обеззараживали раствором гипохлорита натрия, промывали стерильной дистиллированной водой и проращивали на стерильной фильтровальной бумаге, смоченной 0,1 мМ CaSO₄ в термостате при температуре 20°C в течение 3-х сут. Проростки пересаживали на пластинки из полистирола (по 10-12 штук на каждую), помещали на стаканчики объемом 100 мл с раствором CaSO₄ концентрацией 0,1 мМ и переносили в фитотрон с освещенностью 23 тыс. эрг·см⁻², температурой 25°C и влажностью 80%. Определяли ацидофицирующую активность – скорость работы протонных насосов ($V(H^+)$). Корневые системы 6-суточных проростков инкубировали в растворах гербицидов в течение 24 часов, после чего проводили переносили проростки на раствор, содержащий CaSO₄ концентрацией 0,1 мМ и KCl концентрацией 1 мМ (рН 5,75 – 5,78). Затем в течение 3 часов потенциометрически регистрировали изменение рН раствора с использованием иономера. Скорость работы протонных насосов (V_{H^+} , мкМ·г⁻¹·ч⁻¹) определяли по формуле:

$$V_{H^+} = \frac{[H^+]_t - [H^+]_{t-a}}{a \cdot m},$$

где $[H^+]_t$ и $[H^+]_{t-a}$ – концентрации в опытном растворе через a час;

m – масса корней, приходящаяся на 1 л раствора.

Этот метод используется для определения активности протонных насосов, что позволяет оценить степень воздействия гербицида на метаболические процессы растения [16, 17].

Длину корней и побегов измеряли через 7 суток после обработки гербицидами. Биологическая повторность трехкратная, включающая 22-25 аналитических повторностей. Данные о длине корней и побегов позволяют оценить физиологическое состояние растений и степень их повреждения под воздействием гербицида.

Результаты подвергали статистической обработке. Рассчитывали среднюю арифметическую (M), среднее квадратическое отклонение (δ), ошибку репрезентативности средней арифметической (m), критерий Стьюдента (t). Оценку достоверности разницы проводили с помощью сравнения полученного значения со стандартным t_{cm} .

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенного эксперимента было исследовано влияние гербицида на основе десмедифама и фенмедифама на рост и развитие корневой системы пшеницы. На рис. 1 представлена всхожесть семян пшеницы при применении различной концентрации гербицида.

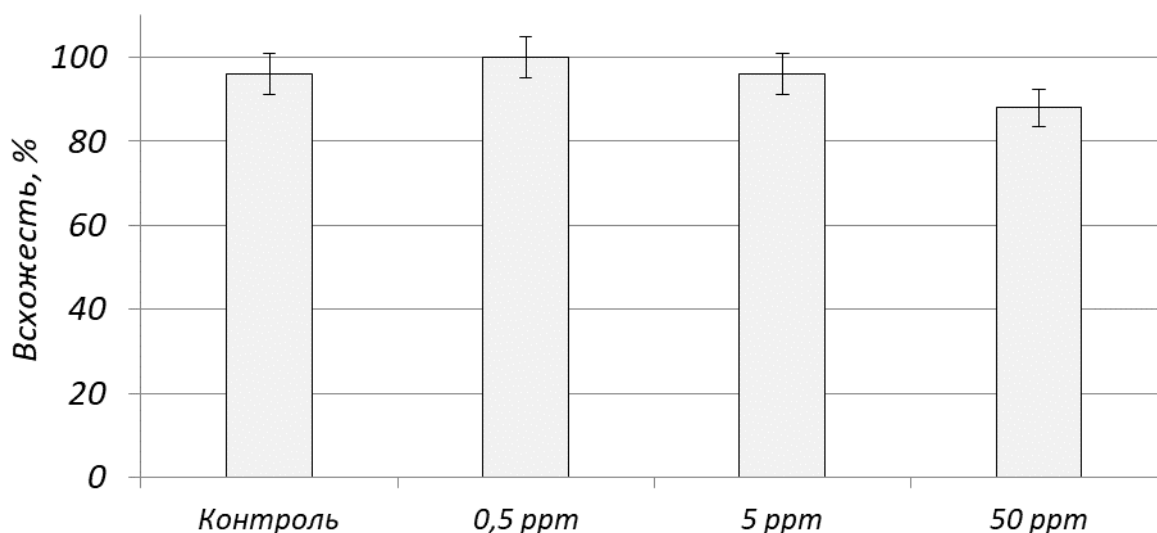


Рис. 1. Зависимость всхожести семян пшеницы от концентрации гербицида

Очевидна зависимость всхожести семян от концентрации гербицида. Гербициды в концентрациях 0,5 ppm и 5 ppm не оказали влияния на всхожесть, а под действием гербицидов в концентрации 50 ppm всхожесть снизилась на 8,3% по сравнению с контролем.

В научной литературе имеются сведения о том, что гербициды на основе десмедифама и фенмедифама могут воздействовать на синтез гормонов, таких как ауксины и гиббереллины, которые играют ключевую роль в процессе прорастания семян, а также влияют на ацидофицирующую активность корней [18]. При высоких концентрациях гербицидов подавляется активность ферментов, которые отвечают за мобилизацию питательных веществ в семени, что, в свою очередь, снижает всхожесть семян [19].

На рис. 2 представлен график зависимости длины корней 7-суточных проростков пшеницы после инкубации в растворе гербицида.

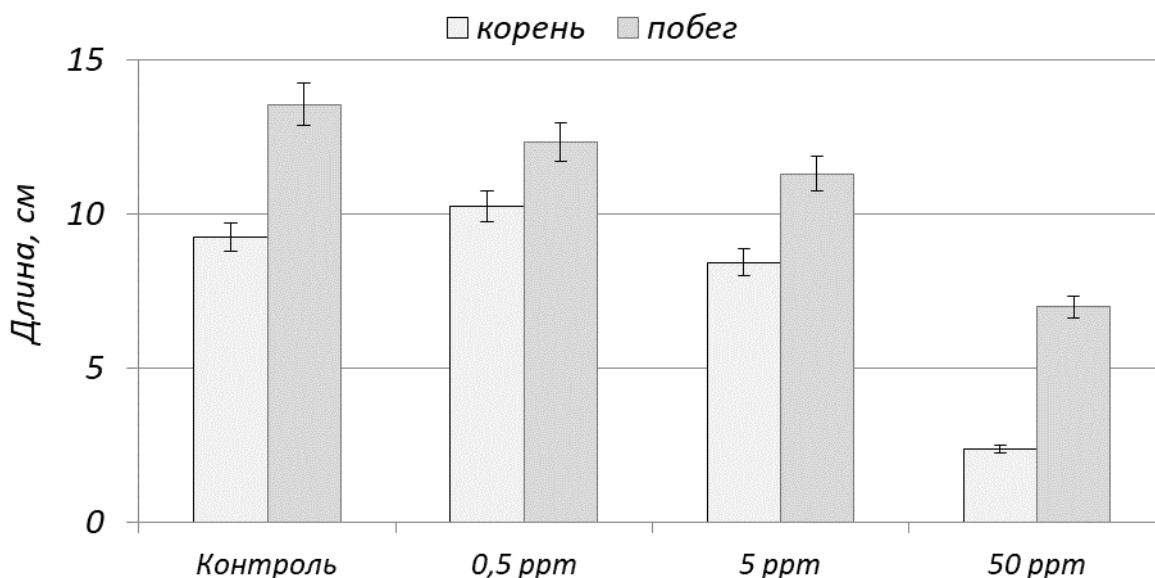


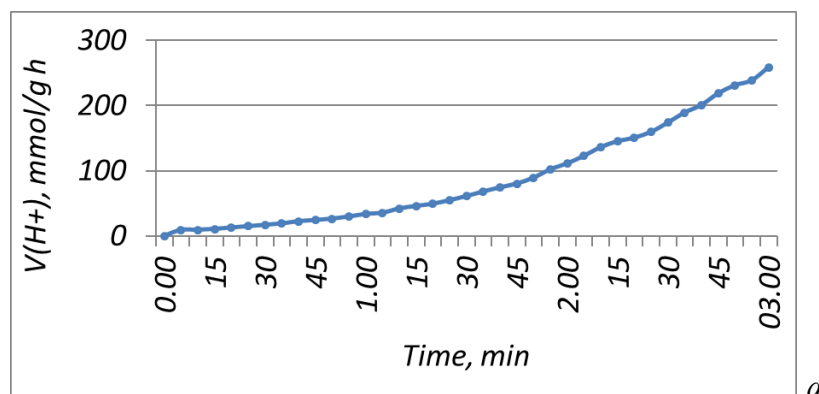
Рис. 2. Зависимость длины корней и побега от концентрации гербицида

На рис. 2 видно, что с увеличением концентрации гербицида наблюдается заметное угнетение роста как корневой системы, так и побегов 7-суточных проростков по сравнению с контролем. При наименьшей концентрации гербицида (0,5 ppm) корни имеют наибольшую длину, около 10 см, а побеги – около 9 см. Длина корней в этом варианте опыта превышает контроль на 10%, а длина побегов уменьшается на 9%. Увеличение концентрации гербицида до 5 ppm приводит к уменьшению длины корней на 9% и длины побега на 16,6% по сравнению с контролем. Наибольший угнетающий эффект наблюдается при концентрации гербицида 50 ppm – длина корней снижается до 2 см, а побега – до 7 см, что меньше контроля соответственно на 74,1% и 48,5%. Таким образом, гербицид на основе десмедифама и фенмедифама оказывает дозозависимый угнетающий эффект на рост

корневой системы и побегов проростков пшеницы. Чем выше концентрация гербицида, тем сильнее подавляется рост растения, что особенно выражено при концентрации 50 ppm.

Известно, что протонные насосы реагируют на стресс [18, 20]. В частности, хизалофоп-П-этил при нормальной температуре выращивания оказывал ингибирующее действие на ацидофицирующую активность корней пшеницы.

На рис. 3 представлен график зависимости скорости работы протонных насосов ($V(H^+)$) корней проростков пшеницы после инкубирования в растворе гербицида в течение 24 часов. В контроле (без гербицида) наблюдалось значительное увеличение скорости работы протонных насосов по мере времени. На 180-й минуте скорость работы достигала примерно $250 \text{ мкМ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, что свидетельствовало о высокой активности протонных насосов. При концентрации 0,5 ppm активность протонных насосов увеличивается, но не так значительно, как в контрольной группе. На 180-й минуте скорость работы достигает только $30 \text{ мкМ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, что гораздо ниже контрольного значения. Это указывает на умеренное ингибирующее действие гербицида на активность протонных насосов при данной концентрации. При концентрации 5 ppm на 180-й минуте скорость работы протонных насосов составляет $32 \text{ мкМ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, что также значительно ниже контрольного значения. Это подтверждает негативное влияние гербицида на активность, но оно выражено слабее по сравнению с концентрацией 0,5 ppm. При концентрации 50 ppm наблюдается резкое снижение активности протонных насосов. На 180-й минуте скорость работы составляет лишь $23 \text{ мкМ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, что является самым низким показателем среди всех групп. Это свидетельствует о сильном ингибирующем эффекте гербицида при высоких концентрациях.



a

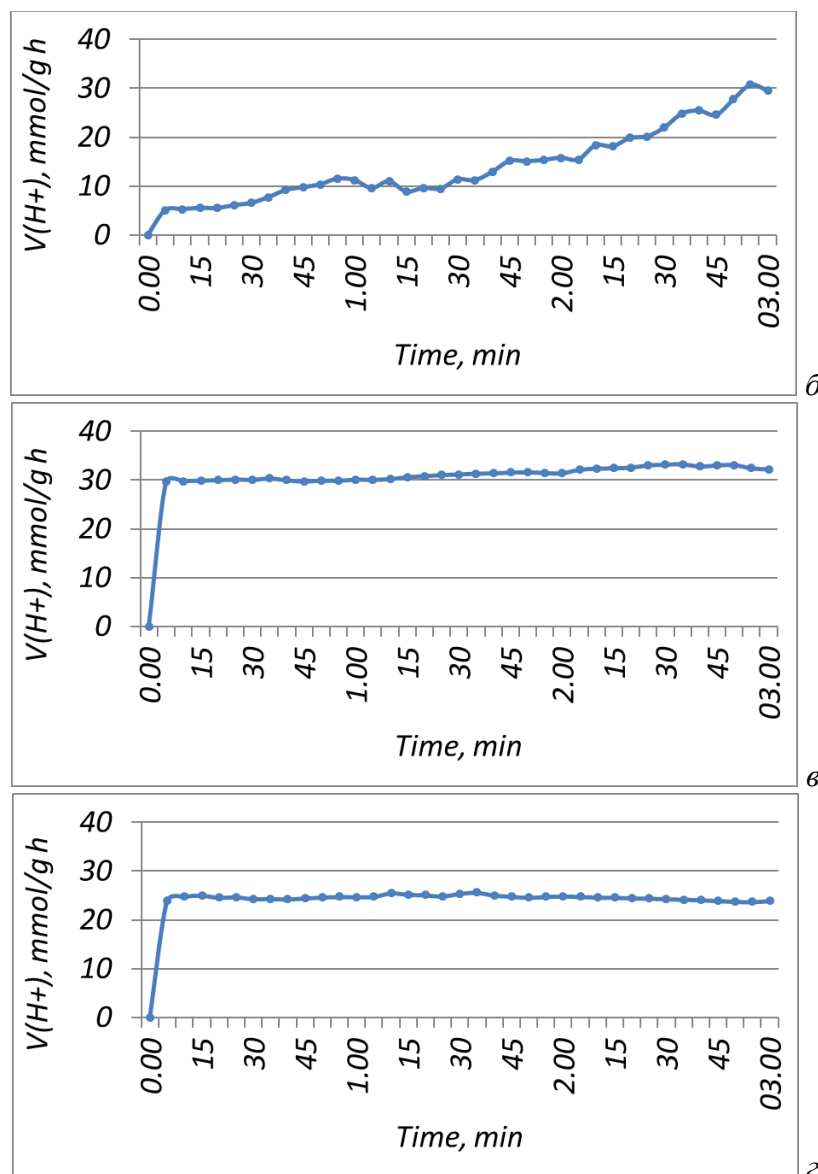


Рис. 3. График зависимости скорости работы протонных насосов ($V(H^+)$) корней проростков пшеницы после инкубирования в растворе гербицида в течение 1 сут: а – контроль; б – 0,5 ppm; в – 5 ppm; г – 50 ppm

Десмедифам и фенмедифам, активные вещества гербицида, воздействуют на фотосинтетические процессы чувствительных растений. Фенмедифам ингибирует нециклическое фотофосфорилирование, нарушая реакцию Хилла и снижая способность растения синтезировать энергию, что объясняет угнетение роста корней и побегов при повышении концентрации гербицида. Эти процессы особенно значимы для корневой системы, так как она интенсивно нуждается в энергопотреблении на стадии прорастания и начального роста [21].

Снижение длины корней при повышении концентрации гербицида связано с нарушением клеточного деления и удлинением клеток в зоне роста. В научной литературе отражен тот факт, что фенмедифам и десмедифам могут вызывать оксидативный стресс в растениях, повышая уровень реактивных форм кислорода, что приводит к повреждению клеточных мембран и ингибированию роста корневой системы [22].

При низких концентрациях гербицидов, таких как 0,5 ppm, сублетальное действие может вызывать стрессовую адаптацию у растений, но при этом не приводит к выраженной гибели. Это означает, что низкие дозы могут замедлить рост, но не полностью подавить жизненные процессы. Напротив, более высокие концентрации (например, 50 ppm) создают условия, при которых угнетаются основные физиологические функции, такие как фотосинтез, транспорт воды и питательных веществ.

Таким образом, гербицид на основе десмедифама и фенмедифама оказывает негативное воздействие на корневую систему пшеницы, снижая скорость работы протонных насосов, что может отрицательно сказываться на росте и развитии растений.

Заключение

Гербицид на основе десмедифама и фенмедифама в соотношении 1:1 оказал значительное дозозависимое влияние на физиологические процессы пшеницы, использованной в опыте как биоиндикатор (тест-культура). По мере увеличения концентрации гербицида наблюдается угнетение всхожести семян, снижение длины корней и побегов проростков.

Применение смеси д.в. в суммарной концентрации 0,5 ppm оказывало умеренное ингибирующее действие на пшеницу, замедляя ее рост. Отмечено снижение ацидофицирующей активности корней без нарушения динамики.

Гербицид в суммарной концентрации д.в. 5 ppm и особенно 50 ppm, проявлял более выраженное угнетающее действие, вызывая резкое снижение длины корней и побегов проростков, а также снижение ацидофицирующей активности корней и изменение ее динамики. Это могло существенно нарушать рост и развитие растения, оказывая токсическое действие при высоких концентрациях.

Таким образом, гербицид на основе десмедифама и фенмедифама в равных соотношениях представляет собой эффективное средство для борьбы с сорняками, однако

его использование требует осторожного подхода. При высоких концентрациях он может оказывать негативное воздействие на культурные растения. Для минимизации фитотоксичности гербицида важно учитывать оптимальные дозировки и проводить дальнейшие исследования для разработки более безопасных режимов применения в агропрактике.

Список использованных источников:

1. Берестецкий, А. О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // Вестник защиты растений. – 2017. – 91 (1). – С. 5-12.
2. Применение микробных биотехнологий для устранения в почве остатков гербицидов классов имидазолинонов и сульфонилмочевин (обзор) / О. В. Колотова, Е. Э. Нефедьева, И. Р. Грибуст [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 4. – С. 16-27. – DOI 10.25750/1995-4301-2023-4-016-027.
3. Кравченко, Н. А. Применение универсального гербицида для свеклы: обзор / Н. А. Кравченко, Е. Э. Нефедьева, С. Л. Белопухов // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 3(57). – DOI 10.51419/202133319.
4. Влияние нового многокомпонентного гербицида на основе фенилкарбаматов на растения сахарной свеклы / Н. А. Кравченко, Е. Э. Нефедьева, А. Д. Тимофеева [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 3(63). – DOI 10.51419/202143318.
5. Астарханова, Т. С. Детоксикация и деградация пестицидов в агроценозах и пути улучшения экологической ситуации / Т. С. Астарханова, А. В. Березнов, С. С. Ладан, И. Р. Астарханов // Плодородие. 2021. – №2 (119). – С. 6-8.
6. Догадина, М. А. Аспекты снижения пестицидной нагрузки на экосистемы / М. А. Догадина, А. В. Таракин, Г. А. Игнатова, Е. И. Степанова, Н. И. Велкова, М. Ю. Касаточкина, А. И. Правдюк, Е. И. Криворотова // Вестник ОрелГАУ. – 2022. – №5 (98). – С. 107-113.
7. Дворянкин, Е. А. Потери урожая от фитотоксичности гербицидов. Методика исследования токсичности гербицидов // Сахар. – 2018. – №7. – С. 25-29.
8. Нефедьева, Е. Э. Классификационный анализ гербицидов, разрешенных к применению в 2018 году / Е. Э. Нефедьева, С. Л. Белопухов, Е. С. Ермошина // АгроЭкоИнфо. – 2020. – № 2(40). – С. 13.
9. Ганиев М.М., Недорезков В.Д. Химические средства защиты растений. – М.: КолосС, 2006. – 248 с.
10. Патент № 2519787. Гербицидная композиция в виде водно-диспергируемых гранул. Заявка № 2012131439/13, 24.07.2012. – Дата подачи заявки 24.07.2024. Опубл. 20.06.2014. Патентообл. ООО НПО «РосАгроХим». – Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2519787C2_20140620

11. Санитарные правила и нормы 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

12. Мерзликин, М. А. Биологически и экологически эффективная система защиты сахарной свеклы в Центрально-Черноземном районе / М. А. Мерзликин, О. А. Минакова, О. В. Гамуев, В. М. Вилков // Вестник Курганской ГСХА. – 2021. – №3 (39). – С. 4-12.

13. Зинченко В.А. Химическая защита растений: средства, технология и экологическая безопасность. – М.: «КолосС», 2012. – 127 с.

14. Гамуев, О. В. Система защиты сахарной свёклы от сорняков в севообороте / О. В. Гамуев, В. М. Вилков // Сахар. – 2019. – №12. – С. 40-43.

15. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – введ. 01.07.86. – М.: Стандартинформ, 2011. – 31 с.

16. Воробьев, Л.Н. Роль Н⁺-насосов растений в минеральном питании / Л. Н. Воробьев, Н. Н. Егорова // Известия ТСХА. – 1989. – № 6. – С. 54-64.

17. Воробьев, Л.Н. Электроаналитический комплекс для массового тестирования растений / Л. Н. Воробьев, Н. Н. Егорова, А. Б. Рубин // XXIII Всесоюзная школа по автоматизации научных исследований. – 1989. – С. 43.

18. Степанов, С. А. Физиологические особенности ацидофицирующей активности зародышевых корней пшеницы / С. А. Степанов, А. М. Страпко, М. Ю. Касаткин // Вавиловские чтения -2015 : Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 128-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова, Саратов, 25–26 ноября 2015 года / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». – Саратов: ООО "Амирит", 2015. – С. 159-161. – EDN UXXPZN.

19. Лунева, Н. Н. Об эффективности действия гербицидов на сорные растения с растянутым периодом прорастания семян / Н. Н. Лунева, А. И. Анисимов, Тупу Г. М. Молу // Защита и карантин растений. – 2008. – №3. – С. 31-33.

20. Ероховец, О. А. Вызываемые хизалофоп-П-этилом изменения ацидофицирующей активности подвергнутых гипотермии корней проростков пшеницы / О. А. Ероховец, О. Г. Яковец // Клеточная биология и биотехнология растений: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, Минск, 13–15 февраля 2013 года. – Минск: Белорусский государственный университет, 2013. – С. 134. – EDN UFRIDU.

21. Федотов, Г. Н. К вопросу о стимуляции прорастания семян с неглубоким покоем / Г. Н. Федотов, М. Ф. Федотова, В. С. Шалаев, Ю. П. Батырев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2016. – №1. – С. 147-157.

22. Киргизова, И. В. Особенности накопления антиоксидантных ферментов у картофеля в условиях биотического и абиотического стресса / И. В. Киргизова, А. М. Гаджимурадова, Р. Т. Омаров // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2018.

Кравченко Н.А., Нефедьева Е.Э., Кравцов М.В., Плескачева В.В., Белопухов С.Л. Влияние гербицида на основе десмедифама и фенмедифама на физиологические характеристики пшеницы

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

– №4 (27). – С. 42-54.
=====

Цитирование:

Кравченко Н.А., Нефедьева Е.Э., Кравцов М.В., Плескачева В.В., Белопухов С.Л. Влияние гербицида на основе десмедифама и фенмедифама на физиологические характеристики пшеницы [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st_635.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202146635>.