

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ПРОПИКОНАЗОЛА В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

М.В. Ларькина, канд. биол. наук, старший научный сотрудник
Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора
(Россия, г. Мытищи)

DOI:10.24412/2500-1000-2026-6-2-21-27

Аннотация. Исследование посвящено изучению поведения триазольного фунгицида пропиконазола в реальных условиях сельскохозяйственного производства после обработки посевов озимой пшеницы препаратом, содержащим данное действующее вещество. Основной целью работы являлась оценка динамики содержания пропиконазола в различных компонентах агроценоза на протяжении периода вегетации культуры и к моменту уборки урожая. Аналитические исследования выполняли методом газовой хроматографии с электронно-захватным детектором (ГХ-ЭЗД), характеризующимся высокой чувствительностью и селективностью при определении остаточных количеств хлор- и галогенсодержащих органических соединений, включая триазольные пестициды. Подготовка проб предусматривала многостадийное выделение и концентрирование анализируемого вещества. Из образцов зерна пропиконазол извлекали органическим растворителем, после чего полученные экстракты подвергали дополнительной очистке на хроматографической колонке, заполненной оксидом алюминия и активированным углём, что позволяло эффективно удалять сопутствующие матричные компоненты и минимизировать их влияние на результаты анализа. Результаты проведённых наблюдений показали, что после последней обработки посевов концентрация пропиконазола в растительном материале снижалась достаточно интенсивно и уже через десять суток демонстрировала выраженную тенденцию к уменьшению. К периоду полного созревания озимой пшеницы остаточные количества действующего вещества в зерне и соломе не обнаруживались на уровне чувствительности применяемого аналитического метода. Полученные данные свидетельствуют о сравнительно быстром разложении и выведении пропиконазола из растительных объектов, а также указывают на низкую вероятность формирования значимой профессиональной и экологической нагрузки при условии строгого соблюдения установленных регламентов применения препарата. Это подтверждает возможность безопасного использования препаратов на основе пропиконазола для защиты зерновых культур без риска накопления остаточных количеств действующего вещества в товарной продукции.

Ключевые слова: пропиконазол; озимая пшеница; остаточные количества; ГХ-ЭЗД; безопасность применяемых технологий.

Зерновые культуры представляют собой основу мировой агропродовольственной системы и являются одним из важнейших факторов обеспечения продовольственной безопасности населения. Их исключительная роль обусловлена не только значительными объёмами производства и потребления, но и высокой биологической и пищевой ценностью зерна, которое служит источником легкоусвояемых углеводов, растительного белка, пищевых волокон, витаминов и незаменимых минеральных элементов. Продукты переработки зерна формируют существенную долю ежедневного рациона человека, обеспечивая организм энергией и необходимыми нутриентами. В связи с устойчивым ростом численности

населения планеты и увеличением потребности в продовольственных ресурсах возрастает необходимость повышения эффективности производства зерновой продукции при сохранении её качества и безопасности.

Интенсификация сельскохозяйственного производства неизбежно сопровождается усилением антропогенной нагрузки на агроэкосистемы и требует применения современных технологий, направленных на минимизацию потерь урожая от воздействия биотических стрессоров. На протяжении всего периода вегетации зерновые культуры подвергаются негативному влиянию фитопатогенных микроорганизмов, насекомых-вредителей и сорной растительности, способных существенно

снижать урожайность, ухудшать технологические свойства зерна и вызывать накопление микотоксинов и других нежелательных примесей. В этих условиях химическая защита растений остаётся одним из наиболее эффективных инструментов регулирования фитосанитарного состояния посевов и обеспечения стабильности производства.

Современные системы возделывания зерновых культур основаны на принципах интегрированной защиты растений, предусматривающей рациональное сочетание агротехнических, селекционных, биологических и химических методов контроля вредных организмов. При этом применение пестицидов рассматривается как необходимый элемент технологии, позволяющий предотвратить значительные потери урожая и обеспечить получение продукции, соответствующей установленным требованиям качества и безопасности. Одновременно использование химических средств защиты требует постоянного контроля их остаточных количеств в объектах окружающей среды и сельскохозяйственной продукции, поскольку вопросы оценки потенциального риска для здоровья человека и состояния экосистем приобретают всё большее значение в условиях интенсивного земледелия.

Особое место среди зерновых культур занимает озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), которая относится к числу стратегически значимых сельскохозяйственных культур мирового земледелия. По площади посевов и валовым сборам зерна она стабильно занимает лидирующие позиции и является основным сырьём для производства хлеба и широкого ассортимента продуктов питания. Более половины населения земного шара регулярно использует продукты переработки пшеницы в качестве одного из ключевых компонентов пищевого рациона, что определяет её фундаментальное значение для обеспечения глобальной продовольственной безопасности.

Зерно озимой пшеницы характеризуется высокой питательной ценностью и содержит комплекс биологически значимых веществ, включая крахмал, белки, витамины группы В, макро- и микроэлементы. Благодаря своим технологическим свойствам пшеница находит широкое применение в мукомольной, хлебопекарной, кондитерской, спиртовой и комбикормовой промышленности. В Российской

Федерации возделывание озимой пшеницы является одним из приоритетных направлений растениеводства и сосредоточено преимущественно в регионах с благоприятными почвенно-климатическими условиями. Высокая хозяйственная ценность культуры и необходимость получения стабильно высоких урожаев обуславливают применение современных технологий её возделывания, включающих обязательное проведение мероприятий по защите посевов от комплекса заболеваний и других неблагоприятных факторов [1-2].

Пшеница является одной из наиболее распространённых и социально значимых сельскохозяйственных культур в мире. Она занимает ведущие позиции в структуре мирового растениеводства и играет ключевую роль в обеспечении населения продовольствием. По современным оценкам, мировое производство пшеницы превышает 800 млн тонн в год, а в отдельные сельскохозяйственные сезоны достигает 840 млн тонн, что делает её второй по объёму производства зерновой культурой после кукурузы. Пшеница обеспечивает около 20% потребляемых человечеством калорий и растительного белка, являясь основным сырьём для производства хлебобулочных, макаронных и крупяных изделий. Высокий спрос на зерно и необходимость получения стабильных урожаев обуславливают широкое внедрение интенсивных технологий её возделывания. В процессе выращивания посевы пшеницы подвергаются воздействию многочисленных фитопатогенов, сорной растительности и насекомых-вредителей, что может приводить к значительным потерям урожая и ухудшению качества продукции. В связи с этим системы защиты посевов предусматривают комплексное применение химических средств защиты растений, среди которых наибольшее значение имеют фунгициды, гербициды и инсектициды. Наиболее широко при возделывании озимой пшеницы используют фунгициды на основе триазольных соединений (пропиконазол, тебуконазол, ципроконазол, дифеноконазол), стробилуринов и карбоксамидов, предназначенные для контроля септориоза, бурой и стеблевой ржавчины, мучнистой росы и других экономически значимых заболеваний. Кроме того, применяются гербициды для борьбы с однолетними и многолетними сорняками и инсектицидные препараты для защиты посевов от

комплекса вредителей, что позволяет существенно снизить потери урожая и обеспечить получение высококачественного зерна [3-4].

Пропиконазол (±)-1-[2-(2,4-дихлорфенил)-4-пропил-1,3.-диоксолан-2-илметил] -1H-

1,2,4-триазол относится к системным фунгицидам группы триазолов и обладает выраженным защитным, лечебным и частично искореняющим действием.

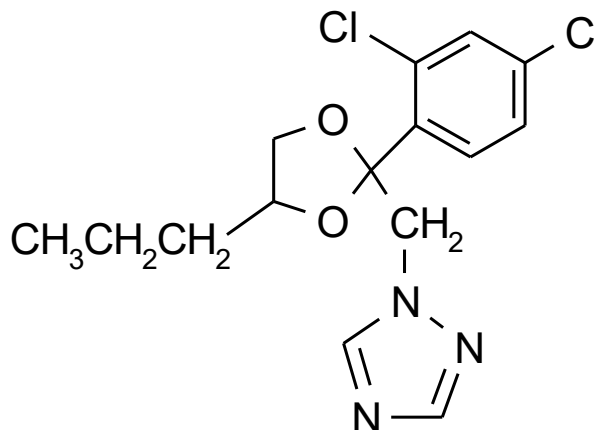


Рис. 1. Структурная формула пропиконазола

Препарат быстро поглощается листьями и стеблями растений и перемещается преимущественно акропетально по ксилеме, обеспечивая защиту вновь формирующихся тканей. Механизм его действия связан с ингибированием фермента 14α-деметилазы (CYP51), участвующего в биосинтезе эргостерола – основного структурного компонента клеточных мембран грибов. Нарушение синтеза эргостерола приводит к подавлению роста мицелия и прекращению развития фитопатогенов. На зерновых культурах пропиконазол применяют преимущественно путём наземного опрыскивания посевов в период вегетации для профилактики и лечения наиболее распространённых заболеваний, включая септориоз листьев и колоса, бурую, жёлтую и стеблевую ржавчину, мучнистую росу, пиренофороз и ряд других микозов. Использование препаратов на основе пропиконазола способствует сохранению ассимиляционной поверхности листьев, продлению периода активного фотосинтеза и повышению урожайности, а также улучшению технологических показателей качества зерна [5-6].

Пропиконазол характеризуется умеренной токсичностью для человека. При профессиональном контакте основными путями поступления являются ингаляционный и кожный, а острое воздействие может проявляться раздражением слизистых оболочек, кожи и развитием общетоксических симптомов (головная

боль, головокружение, тошнота). При соблюдении регламентов применения риск неблагоприятного воздействия на здоровье работников является незначительным.

Расширение масштабов применения препаратов на основе пропиконазола обуславливает необходимость проведения систематического аналитического контроля его содержания в компонентах агроэкосистем и сельскохозяйственном сырье. Важным условием объективной оценки потенциальных рисков для здоровья человека и окружающей среды является наличие высокочувствительных, селективных и воспроизводимых методов определения остаточных количеств фунгицида в растительной продукции.

Настоящая работа посвящена валидации аналитического метода определения остаточных количеств пропиконазола в зерновых культурах и исследованию кинетики его остаточного содержания в пшенице в течение периода после применения фунгицидного препарата на основе данного действующего вещества.

Для приготовления градуировочных растворов был использован аналитический стандартный образец пропиконазола с содержанием основного компонента 99,8%, хранение которого полностью соответствовало описанному в сертификате: холодильная камера + (2-6 °C).

Пшеница относится к сложным растительным матрицам, содержащим преимущественно крахмал и белки, тогда как содержание липидов невелико, а влажность зерна после созревания и хранения обычно не превышает 10-14 %. Такие особенности состава требуют применения эффективных методов экстракции и очистки проб при анализе остаточных количеств пестицидов [7].

Этапы пробоподготовки образцов пшеницы включали извлечение пропиконазола из образцов зерна органическим растворителем, очистку экстракта на колонке с оксидом алюминия и активированным углем, соломы – смесью ацетона с водой и дальнейшее перераспределение между двумя несмешивающимися растворителями (рис. 2).

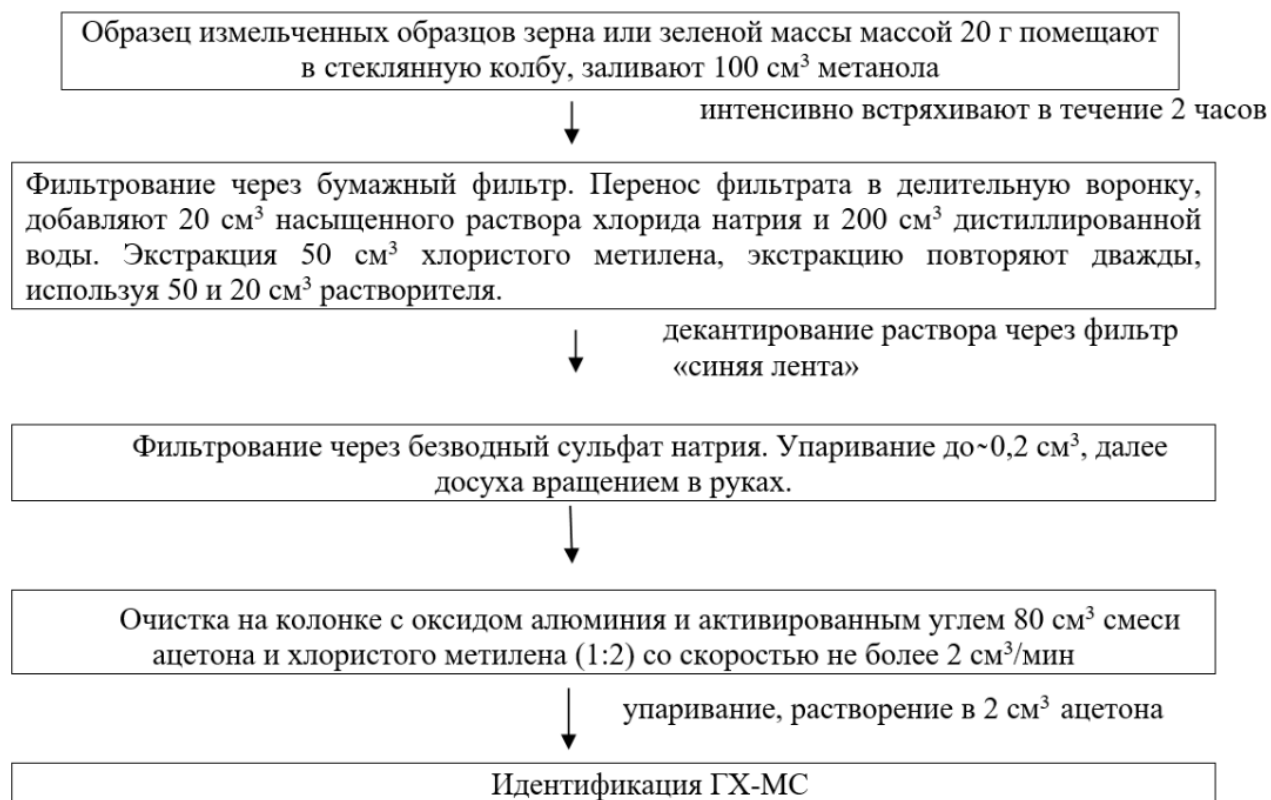


Рис. 2. Схема пробоподготовки образцов зерна и зеленой массы на определение остаточных количеств пропиконазола

Для проведения количественного определения пропиконазола был приготовлен исходный градуировочный раствор вещества в ацетоне с концентрацией 100 мкг/см³. Из данного раствора методом разбавления получали промежуточный раствор с концентрацией 10,0 мкг/см³, который использовали для построения градуировочной зависимости и приготовления модельных образцов. Рабочие

стандартные растворы в диапазоне концентраций от 0,05 до 0,5 мкг/см³ готовили последовательным разбавлением промежуточного раствора ацетоном непосредственно перед проведением анализа. График зависимости площади хроматографического пика от концентрации пропиконазола в растворе представлен на рисунке 3

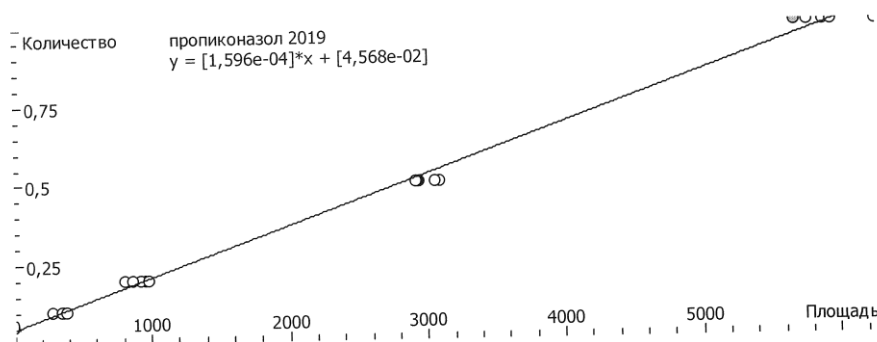


Рис. 3. График зависимости площади хроматографического пика от концентрации пропиконазола в растворе

Определение остаточных количеств пропиконазола в образцах зерна и соломы осуществляли методом газовой хроматографии с использованием хроматографа «Кристалл 2000М». Разделение компонентов выполняли на капиллярной кварцевой колонке VF-5ms длиной 15 м и внутренним диаметром 0,53 мм, содержащей неподвижную фазу на основе 5 %-фенил-95 %-диметилполисилоксана с толщиной плёнки 0,5 мкм. Температура испарителя составляла 260 °С, детектора – 300 °С.

Анализ проводили в режиме программирования температуры термостата колонки. Начальную температуру поддерживали на уровне 160 °С в течение 4 мин, затем осуществляли нагрев со скоростью 10 °С/мин до 190 °С с последующей выдержкой в течение 2 мин. На заключительном этапе температуру повышали со скоростью 20 °С/мин до 270 °С. В качестве газа-носителя использовали азот при давлении 55 кПа. Объём вводимой в хроматограф пробы составлял 2 мм³ (2 мкл). При этом отношение сигнал/шум на уровне нижнего предела количественного определения соответствовало значению 10:1, что свидетельствует о высокой чувствительности применяемого аналитического метода.

Метод был валидирован на 20 образцах зерна, с внесением минимального количественного определения – 0,01 мг/кг, двух, десяти и двадцати минимальных количеств определения (мг/кг): 0,02, 0,05, 0,1, 0,2.

Установлено, что провалидированный метод обеспечивает удовлетворительную степень выделения пропиконазола из исследуемых матриц. Полнота извлечения действующего вещества из зерна находилась в пределах

76-85% при среднем значении около 80% и стандартном отклонении 3,0% (n = 10). Для соломы соответствующие показатели составляли 78-85%, 82% и 3,2% соответственно. Полученные данные указывают на хорошую воспроизводимость аналитической процедуры и её пригодность для контроля остаточных количеств фунгицида в объектах растительного происхождения.

Контрольными образцами явились образцы пшеницы, реализуемые на потребительском рынке в Московской области.

Достигнутый диапазон определения в образцах зерновых культурах: 0,005-0,05 мг/кг, в образцах соломы 0,02 мг/кг.

Полевой опыт был заложен в трех регионах Российской Федерации: Московской, Воронежской и Волгоградской областей, обработка пшеницы проведена с максимальной рекомендуемой нормой расхода по препарату 1,0 л/га.

Отбор образцов для анализа проведен в 0-й, на 10-й день, на 20-й день, на 30-й день (надземная часть растений) и на 40-й день через после обработки препаратом (зерно и солома).

Результаты полевых исследований показали, что содержание пропиконазола в растительном материале озимой пшеницы зависело от почвенно-климатических условий региона и закономерно снижалось по мере увеличения срока после обработки.

В опытах, проведенных в Московской области (1-я почвенно-климатическая зона), действующее вещество было обнаружено только в надземной части растений непосредственно после применения препарата в концентрации 0,023 мг/кг. Во все последующие сроки

наблюдения (10, 20, 30 и 40-е сутки после обработки) остаточные количества пропиконазола в образцах вегетативной массы, зерна и соломы не определялись и находились ниже нижних пределов количественного определения метода, составлявших 0,005 мг/кг для зерна и надземной части растений и 0,02 мг/кг для соломы.

В условиях Воронежской области (2-я почвенно-климатическая зона) в день обработки содержание пропиконазола в надземной части растений достигало 0,033 мг/кг. Через десять суток концентрация действующего вещества снижалась до 0,009 мг/кг, а начиная с 20-го дня после обработки и вплоть до окончания периода наблюдений остаточные количества фунгицида в образцах растений, зерна и соломы находились ниже пределов количественного определения применяемого аналитического метода.

Наиболее длительное сохранение пропиконазола отмечено в Волгоградской области (3-я почвенно-климатическая зона). В день обработки концентрация действующего вещества в надземной части озимой пшеницы составляла 0,060 мг/кг, на 10-е сутки уменьшалась до 0,021 мг/кг, а к 20-му дню снижалась до 0,009 мг/кг. При последующих отборах проб (30-е и 40-е сутки после обработки) пропиконазол не обнаруживался ни в вегетативной массе растений, ни в зерне и соломе, поскольку его содержание было ниже нижних пределов количественного определения метода.

Таким образом, независимо от региона проведения исследований отмечалась выраженная тенденция к постепенному уменьшению содержания пропиконазола в объектах агроценоза озимой пшеницы. К завершающим этапам вегетации остаточные количества фунгицида не идентифицировались, что свидетельствует об отсутствии его накопления в товарной продукции и побочной растительной массе.

Исследование образцов, отобранных в полевых условиях, показало закономерное уменьшение остаточных количеств пропиконазола в надземной массе озимой пшеницы по мере увеличения времени после обработки. К периоду созревания культуры действующее вещество не обнаруживалось на уровне чувствительности применяемого аналитического

метода. Полученные данные имеют существенное значение для санитарно-гигиенической оценки и свидетельствуют о безопасности применения препаратов на основе пропиконазола при соблюдении установленных регламентов использования.

Заключение.

В результате проведенных исследований валидирован метод определения остаточных количеств пропиконазола в зерне и соломе озимой пшеницы, обеспечивающий необходимую чувствительность и селективность для контроля содержания действующего вещества в объектах растительного происхождения.

Полевые испытания, проведенные в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации, показали, что динамика содержания пропиконазола в растительном материале озимой пшеницы определяется региональными особенностями условий выращивания и характеризуется последовательным снижением концентрации фунгицида после проведения обработки. Наиболее длительное сохранение действующего вещества отмечено в условиях Волгоградской области, однако даже в данном случае к 30-м суткам после применения препарата его остаточные количества снижались до уровней ниже пределов количественного определения метода.

Установлено, что к завершающим этапам вегетации и периоду созревания озимой пшеницы пропиконазол не обнаружен ни в надземной части растений, ни в соломе, независимо от региона проведения исследований. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии накопления фунгицида в товарной продукции и побочной растительной массе, а также указывают на низкую вероятность формирования значимой химической нагрузки на агроэкосистему и человека.

Таким образом, примененный метод может быть рекомендован для санитарно-гигиенического мониторинга остаточных количеств пропиконазола в объектах растениеводческой продукции, а результаты натурных исследований подтверждают безопасность применения препаратов на основе пропиконазола на посевах озимой пшеницы при соблюдении установленных регламентов использования.

Библиографический список

1. Wrigley C., Batey I., Miskelly D. Cereal Grains: Assessing and Managing Quality. 2nd ed. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. – 842 p.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Cereals and Cereal Products. Rome: FAO, 2024. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/cereals/en/>.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cereal Supply and Demand Brief. – Rome: FAO, 2026. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb>.
4. Organisation for Economic Co-operation and Development; Food and Agriculture Organization of the United Nations. OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029. Chapter 3.4. Wheat. – Paris: OECD Publishing, 2020. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oecd.org/en/publications/2020/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2020-2029_bfb66700/full-report/component-7.html.
5. Turner J.A. (Ed.). The Pesticide Manual. 19th ed. Alton: British Crop Production Council (BCPC), 2021. – 1517 p.
6. Crop Protection. Brent K.J., Hollomon D.W. Fungicide Resistance in Crop Pathogens: How Can It Be Managed? 2nd ed. – Brussels: Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), 2007. – 60 p.
7. EU Pesticides Database. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/mrl>.

ASSESSMENT OF THE APPLICATION OF A PROPICONAZOLE-BASED PREPARATION UNDER FIELD CONDITIONS

M.V. Larkina, *Senior Researcher*

F.F. Erisman *Federal Scientific Center of Hygiene of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor) (Russia, Mytishchi)*

Abstract. *The study was devoted to investigating the behavior of the triazole fungicide propiconazole under actual agricultural conditions following the treatment of winter wheat crops with a preparation containing this active ingredient. The main objective of the work was to assess the dynamics of propiconazole residues in different components of the agroecosystem throughout the growing season and by the time of harvest. Analytical investigations were performed using gas chromatography with an electron capture detector (GC-ECD), which is characterized by high sensitivity and selectivity in determining residual amounts of chlorine- and halogen-containing organic compounds, including triazole pesticides.*

Sample preparation involved a multistage procedure for the extraction and concentration of the analyte. Propiconazole was extracted from grain samples using an organic solvent, after which the obtained extracts were additionally purified on a chromatographic column packed with aluminum oxide and activated carbon. This purification procedure ensured the efficient removal of co-extracted matrix components and minimized their influence on the analytical results.

The findings demonstrated that, after the final treatment of the crops, the concentration of propiconazole in plant material decreased rather rapidly and showed a pronounced downward trend within ten days. By the stage of full maturity of winter wheat, residues of the active substance in grain and straw were below the detection capability of the analytical method used. The obtained data indicate a relatively rapid degradation and elimination of propiconazole from plant matrices and suggest a low probability of significant occupational and environmental exposure, provided that the approved application regulations are strictly observed. These findings confirm the safe use of propiconazole-based preparations for the protection of cereal crops without the risk of accumulation of the active substance residues in marketable products.

Keywords: *propiconazole; winter wheat; pesticide residues; GC-ECD; safety of agricultural practices.*