

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Оригинальная научная статья
 УДК 633.853.483:633.11:632.4(470.311)
 doi: 10.26897/2949-4710-2023-2-118-127



Экологическая характеристика микотоксина Альтерналиол в зеленой массе яровой пшеницы и горчицы белой в условиях Московского региона

Людмила Владимировна Мосина, Павел Феликсович Васильков

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Васильков Павел Феликсович, p.f.vasilkov@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты изучения влияния агроэкологических факторов на содержание микотоксинов в зеленой массе культуры горчицы белой (*Sinapis alba*) и яровой пшеницы сорта Любава (*Triticum aestivum* L.). Исследование проводили на опытном поле «Южное» экологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с использованием химических и микробиологических методов. Агроэкологические факторы оценивали по следующим параметрам: содержание гумуса; кислотность почвы; содержание фосфора, калия и свинца. Для установления содержания микотоксинов в вегетативной массе культур горчицы белой и яровой пшеницы (по фазам развития) применяли иммуноферментный метод. В итоге, в период середины созревания сельскохозяйственных культур, зафиксирована самая высокая зараженность культур микотоксином, превышающая средний уровень загрязнения в 8-11 раз у культуры пшеницы, и в 4-5 раз – у горчицы белой. Установлена наибольшая обратная корреляционная связь содержания альтерналиола в изученных сельскохозяйственных культурах с показателем температуры почвы верхнего слоя гумусового горизонта 0-5 см, что дает основание для более детального изучения действия данного экологического фактора

Ключевые слова: микотоксины, зеленая масса, пшеница яровая, горчица белая, загрязнение окружающей среды Московского региона, иммуноферментный метод, альтерналиол, альтерналиоз, почвенно-экологическая характеристика экологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, корреляционный анализ.

Для цитирования. Мосина Л.В., Васильков П.Ф. Экологическая характеристика микотоксина Альтерналиол в зеленой массе яровой пшеницы и горчицы белой, произрастающих в условиях Московского региона // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 2. – С. 118-127. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-2-118-127>

© Мосина Л.В., Васильков П.Ф., 2023

Original article
 doi: 10.26897/2949-4710-2023-2-118-127



Ecological characterisation of the mycotoxin Alternariol in the green mass of spring wheat and white mustard under the conditions of the Moscow region

Lyudmila V. Mosina, Pavel F. Vasil'kov

ECOLOGY, SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Pavel F. Vasil'kov, e-mail: p.f.vasilkov@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of the study of the influence of agro-ecological factors on the content of mycotoxins in the green mass of white mustard (*Sinapis alba*) and the spring wheat variety Lyubava (*Triticum aestivum* L.). The study was conducted at the experimental field “Yuzhnoe” of the Ecological Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy using chemical and microbiological methods. Agro-ecological factors were evaluated by the following parameters: humus content, soil acidity, phosphorus, potassium and lead content. The immunoenzyme method was used to determine the content of mycotoxins in the vegetative mass of white mustard and spring wheat (according to development stages). As a result, the highest levels of mycotoxin contamination were found in the mid-ripe stage of the crops, exceeding the average level of contamination by 8-11 times in wheat and 4-5 times in white mustard. The highest inverse correlation was found between the Alternariol content in the studied crops and the soil temperature of the upper layer of the humus horizon of 0-5 cm. This fact justifies a more detailed study of the effect of this environmental factor.

Key words: mycotoxins, green mass, spring wheat, white mustard, environmental pollution of the Moscow region, immunoenzyme method, Alternariol, Alternaria, soil-ecological characteristics of the Ecological Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, correlation analysis.

For citation. Mosina L.V., Vasil'kov P.F. Ecological characterisation of the mycotoxin Alternariol in the green mass of spring wheat and white mustard under the conditions of the Moscow region. Timiryazev Biological Journal. 2023; 2: 118-127. (In Rus.) <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-2-118-127>

Введение

В условиях загрязнения окружающей среды, ставшего глобальной экологической проблемой, особенно уязвимой является почва, которая превратилась в «депо» токсикантов. Это делает проблематичной получение экологически безопасной продукции, а следовательно, проблематичным и влияние на здоровье человека.

Опасность загрязнения возрастает на фоне снижения естественных механизмов защиты, то есть снижения содержания гумуса в почве, увеличения кислотности почвы, ее уплотнения, снижения биоразнообразия и др. В этих условиях происходят существенные изменения в биологической компоненте почвы – в частности, в микробном ценозе. На фоне снижения биологической активности почвы изменяется структура микробного ценоза в сторону возрастания доли микроскопических грибов, активность которых усиливается в результате изменения характера метаболизма, позволяющего сохранять функционирование данной группы организмов за счет продуцирования токсичных веществ – микотоксинов, вызывающих тяжелые заболевания человека и сельскохозяйственных животных [7].

Одним из примеров являются микотоксины, образуемые грибами рода альтернария (*Alternaria*). Практически все штаммы альтернарии образуют ядовитые вещества, относящиеся к виду наземно-воздушных (или листо-стеблевых). Эти патогены заражают зерновые (ежегодно поражается более 60% зерна), а также томаты, цитрусовые, яблоки, картофель и продукты их переработки [12, 13]. Метаболиты, образуемые патогенами, способны вызывать мутации генов в культивируемых клетках человека и животных и разрывы ДНК [11, 14], а также рак пищевода [14]. Они производят более десятка опасных токсинов, в том числе альтернариол, тенеазоновую кислоту и др. Образующие альтернарией микотоксины изучены слабо и в зерне, и зернопродуктах в РФ не определяются [2, 15, 16].

У пшеницы грибы из рода *Alternaria* вызывают инфекционное заболевание растений, именуемое как альтернариоз, который проявляется на посевах зерновых культур в виде темных пятен на колосковых чешуйках (рис. 1) в период цветения растений и молочной спелости зерна. Проникновение инфекции *Alternaria* в ткани колосковых чешуй происходит в фазу колошения, а когда начинается формирование зерна, инфекция начинает проникать и в зерно.

У горчицы белой грибы из рода *Alternaria* также вызывают альтернариоз (или черную пятнистость), который проявляется на стеблях в виде продолговатых бурых пятен. На листьях пятна являются округлыми или угловатыми. Пораженные листья засыхают, скручиваются, стручки растрескиваются: две створки и срединная пластинка образуют характерный «трезубец» – симптом альтернариоза. Распространяясь, мицелий гриба как местно, так и диффузно, пронизывает створки стручка и заражает семена. Они становятся тусклыми, шуплыми, недоразвитыми и теряют всхожесть.

Опасность микотоксинового загрязнения имеет широкое распространение [5, 8]. Например, в Гонконге и Тайланде около 80% образцов арахиса и 50% риса, кукурузы, бобов и других семян поражены плесенью, причем содержание афлатоксинов в арахисовом шроте составляет 85% [8].

Опасность микотоксинов, ставшая глобальной экологической проблемой, существенно зависит от ряда экологических факторов, среди которых особую роль играют почва и ее экологические свойства [7].

Между тем изученность этого вопроса является крайне слабой. В этой связи **цель нашей работы** – изучение микологического состояния культур пшеницы яровой мягкой сорта Любава (*Triticum aestivum* L.) и горчицы белой (*Sinapis alba*) в условиях Московского региона.

Методика исследований

Исследования проводили на опытном поле Южное (рис. 2), которое является экспериментальным участком экологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Участок находится в ведении лаборатории агроэкологического мониторинга кафедры экологии.



Рис. 1. Альтернариоз пшеницы [10]
Fig. 1. Alternaria of wheat [10]

Количественный и качественный состав микотоксинов анализировали в вегетативной массе изучаемых культур, отобранных по фазам развития, на содержание альтернариола (АОЛ).

Посев культур производился 15 мая 2021 г., начало цветения – 1 июля 2021 г. Начало отбора проводилось 2 июля 2021 г., и последующие отборы происходили каждые две недели, после фазы цветения.

Для анализа было отобрано по 100 образцов пшеницы яровой мягкой сорта Любава и горчицы белой, из которых было составлено по 20 смешанных образцов. В них иммуноферментным методом [7] определяли содержание микотоксинов в динамике, начиная фазой цветения и заканчивая сбором урожая данных сельскохозяйственных культур.

Изучение почвенно-экологической характеристики территории, на которой произрастали изучаемые культуры, проводили по следующим параметрам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213-91; подвижные фосфор (P_2O_5) и калий (K_2O) – по Кирсанову в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26207-91; pH (солевой) (потенциометрический) – в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26483-85. Загрязнение Pb определяли по общему содержанию (валовое содержание) и наличию подвижных форм (вытяжка CH_3COONH_4) атомно-абсорбционным методом [1]. Принимая во внимание значимость температурного фактора, влияющего на рост грибов и образование токсинов, изучали температуру почвы почвенным термометром на разной глубине верхнего гумусового горизонта: 0-5 см и 0-10 см в разное время суток (полдень, полночь). Все исследования проводили по фазам развития изучаемых сельскохозяйственных культур в 4-кратной повторности, за исключением содержания микотоксина. Изучение содержания микотоксина проводили в 3-кратной повторности и приводили к среднеарифметическому значению из 3 показателей.

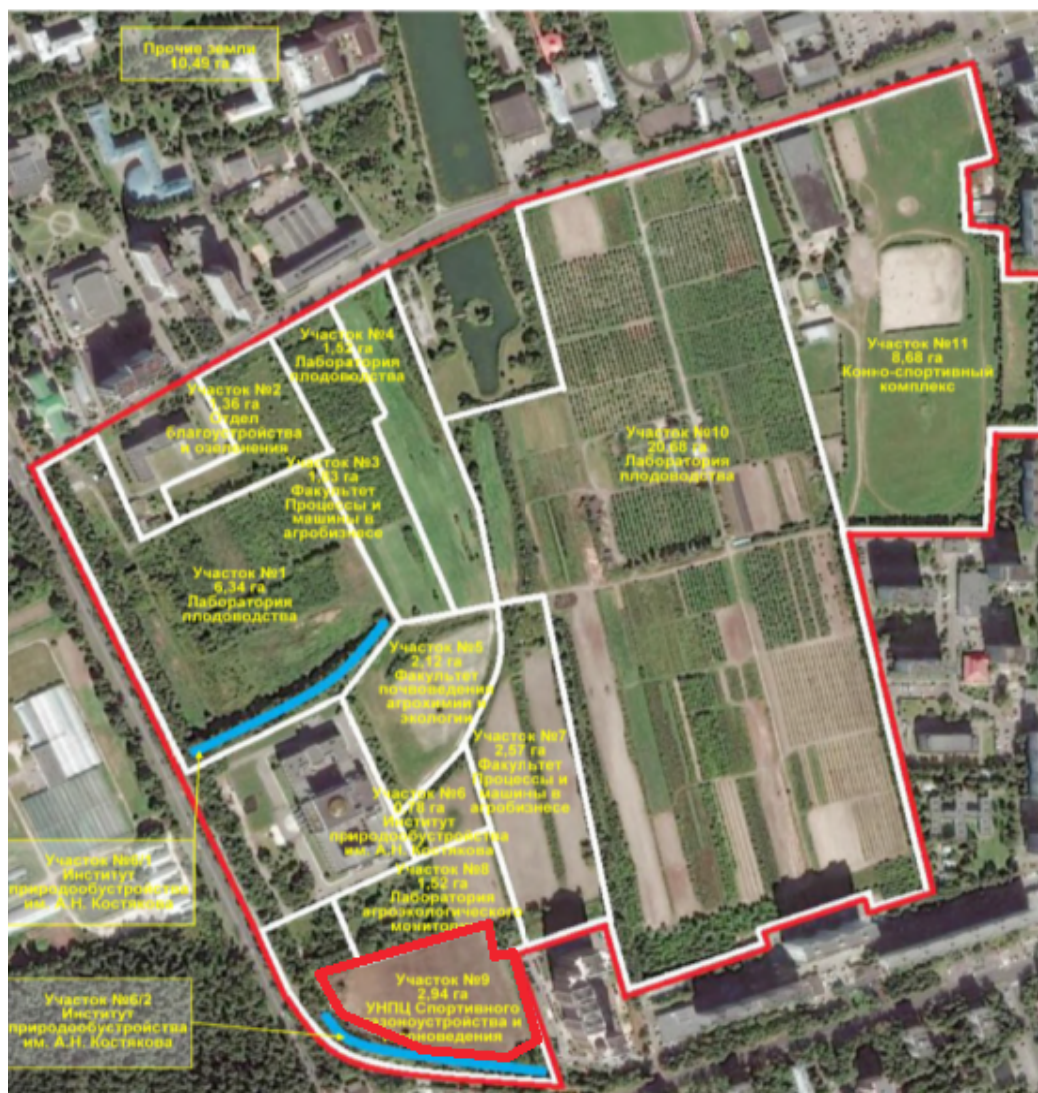


Рис. 2. Опытное поле Южное РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Fig. 2. Experimental Field "Yuzhnoe" of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Результаты и их обсуждение

Температура почвы в разное время суток и на разной глубине колебалась по фазам вегетации растений (табл. 1).

Температура почвы полуденного времени за период наблюдения колебалась в широких пределах: от $10,6 \pm 0,9$ до $20,3 \pm 1,8^\circ\text{C}$. Минимальное значение температуры отмечалось в конце и середине вегетационного периода (30.08 и 16.07), что, вероятно, обусловлено сильными дождями в этот период. В ночное время колебание температуры носило более сглаженный характер и составляло от $12,3 \pm 1,1$ до $20,3 \pm 1,9^\circ\text{C}$. Поверхность почвы характеризовалась также существенными температурными изменениями и колебалась от $16,2 \pm 1,5$ до $26,3 \pm 2,5^\circ\text{C}$.

На разной глубине прогреваемость почвы примерно была одинаковой, и температура составляла от $17,1 \pm 1,6$ - $18,9 \pm 1,7$ до $24,1 \pm 2,3$ - $25,3 \pm 2,3^\circ\text{C}$. Минимальное значение отмечалось к концу периода вегетации (16.08 и 30.08), максимальное – 16.07. Благоприятная температура для развития плесеней находится в пределах от 15 до 30°C с оптимумом при 20 - 25°C .

Содержание органического вещества в почве на исследуемой территории составляет $7,81 \pm 0,11$, что свидетельствует о повышенном содержании гумуса в дерново-подзолистой почве (а это свидетельствует о внесении органических удобрений ранее).

Степень кислотности почвы составляет $6,75 \pm 0,9$, то есть почва имеет нейтральную степень кислотности.

Обеспеченность подвижным фосфором составляет $893,7 \pm 80,1$ мг/кг, обменным калием – $569,3 \pm 51,4$ мг/кг, что относится к группе с очень высокой обеспеченностью (по Кирсанову).

В качестве загрязнителя изучали содержание Pb – наиболее приоритетного тяжелого металла (ТМ) городских почв как одного из токсичных тяжелых металлов, вызывающих заболевания человека и сельскохозяйственных животных [6]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) назвала свинец одним из 10 химических элементов, вызывающих основную озабоченность в области общественного здравоохранения. По оценкам ВОЗ, воздействие Pb вызывает 143000 смертей в год [3].

Таблица 1

Температура почвы по срокам отбора

Дата отбора	t °C в почве				
	Полдень	Полночь	На поверхности (средняя)	На глубине, см	
				0-5	0-10
2.07	$19,1 \pm 1,7$	$18,4 \pm 1,3$	$21 \pm 1,9$	$20,8 \pm 1,9$	$20,8 \pm 1,9$
16.07	$14,5 \pm 1,3$	$20,3 \pm 1,9$	$26,3 \pm 2,5$	$25,3 \pm 2,4$	$24,1 \pm 2,3$
30.07	$20,3 \pm 1,8$	$17,2 \pm 1,6$	$22,3 \pm 2,1$	$20,6 \pm 1,9$	$20,6 \pm 1,9$
16.08	$17,6 \pm 1,6$	$19,3 \pm 1,8$	$17,8 \pm 1,6$	$17,6 \pm 1,6$	$18,9 \pm 1,7$
30.08	$10,6 \pm 0,9$	$12,3 \pm 1,1$	$16,2 \pm 1,5$	$17,1 \pm 1,6$	$18,9 \pm 1,7$

Table 1

Soil temperature by sampling time

Date of sampling	t °C in soil				
	Noon	Midnight	On the surface (average)	At depth, cm	
				0-5	0-10
2.07	19.1 ± 1.7	18.4 ± 1.3	21 ± 1.9	20.8 ± 1.9	20.8 ± 1.9
16.07	14.5 ± 1.3	20.3 ± 1.9	26.3 ± 2.5	25.3 ± 2.4	24.1 ± 2.3
30.07	20.3 ± 1.8	17.2 ± 1.6	22.3 ± 2.1	20.6 ± 1.9	20.6 ± 1.9
16.08	17.6 ± 1.6	19.3 ± 1.8	17.8 ± 1.6	17.6 ± 1.6	18.9 ± 1.7
30.08	10.6 ± 0.9	12.3 ± 1.1	16.2 ± 1.5	17.1 ± 1.6	18.9 ± 1.7

Пестрота почвенного покрова отражена и в уровне загрязнения свинцом, концентрация которого колеблется от 14,31 до 16,1 мг/кг (рис. 3), что примерно в 1,5 раза выше кларкового (среднего содержания элемента в земной коре) содержания данного элемента (10 мг/кг).

Достаточно высокая дифференциация содержания свинца в верхнем плодородном слое почвы характерна для легколетучего свинца, поступления этого элемента в легкорастворимой форме – например, в виде оксидов с аэрозолями, выделяющихся в результате сгорания газов, бензина и т.д. или поступающих в форме легкорастворимых солей (карбонатов, гидросульфатов и т.д., с известью и удобрениями [9], что отражает воздействие антропогенного загрязнения. Однако данное содержание свинца не превышает значения его предельно допустимой концентрации (ПДК) (32 мг/кг), что, возможно, объясняется защитной ролью зеленых насаждений, произрастающих вдоль границ опытного поля.

Если валовое содержание Pb не превышает значения ПДК, то вызывает вопрос достаточно высокое содержание его подвижных форм, концентрация которых колеблется от 10,15 до 13,72 мг/кг, что превышает значение ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) (6 мг/кг) в 1,5-2,17 раза. При этом доля подвижных форм Pb составляет 69,29-86,57% (рис. 4), что, вероятно, может быть обусловлено особенностью экологического состояния исследуемой территории: высоким содержанием гумуса ($7,81 \pm 0,11$ мг/кг), нейтральной реакцией среды (рН $6,75 \pm 0,9$), а также высоким содержанием подвижного P_2O_5 ($893,7 \pm 80,1$) и обменного K_2O ($569,3 \pm 51,4$).

На рисунке 5 представлена диаграмма с содержанием альтернариола в пшенице мягкой.

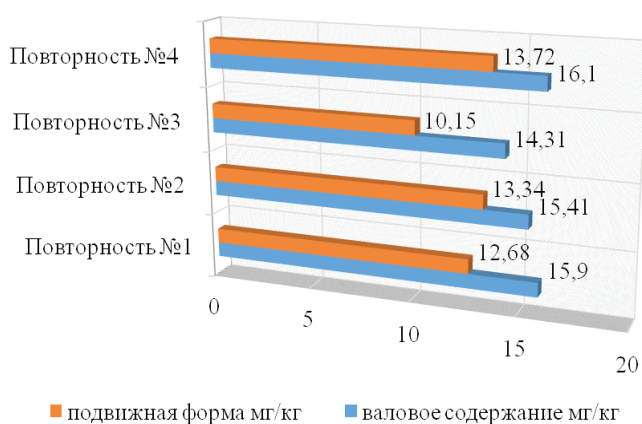


Рис. 3. Соотношение в почве свинца в виде валового содержания, мг/кг, и подвижной формы, мг/кг

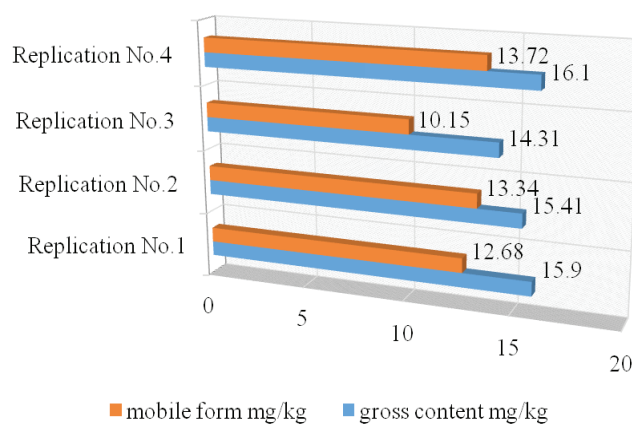


Fig. 3. Ratio of lead in soil as gross content, mg/kg, and mobile form, mg/kg

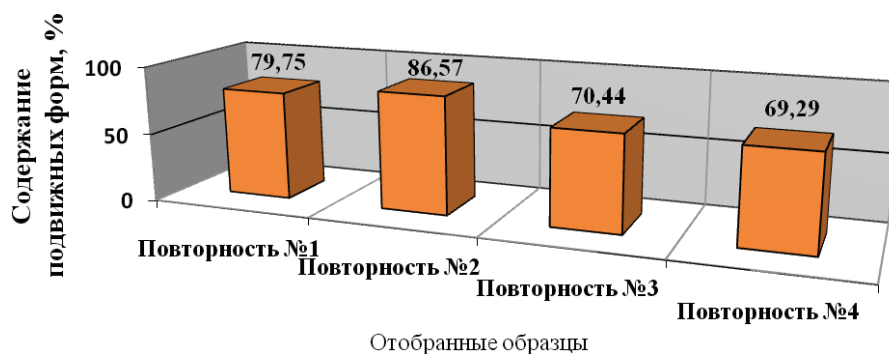


Рис. 4. Содержание подвижной формы Pb, %

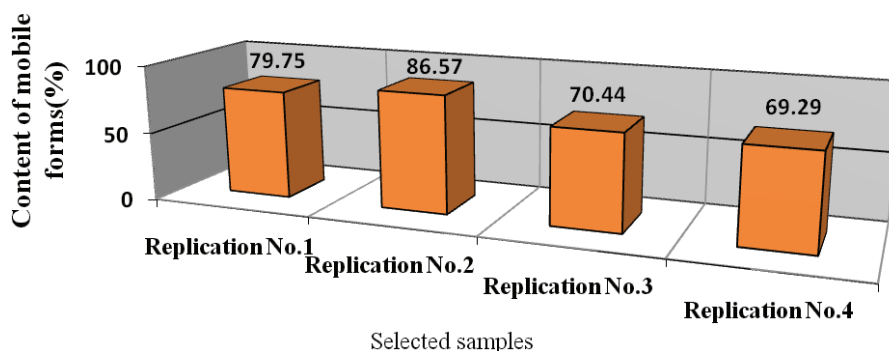


Fig. 4. Content of the mobile form Pb, %

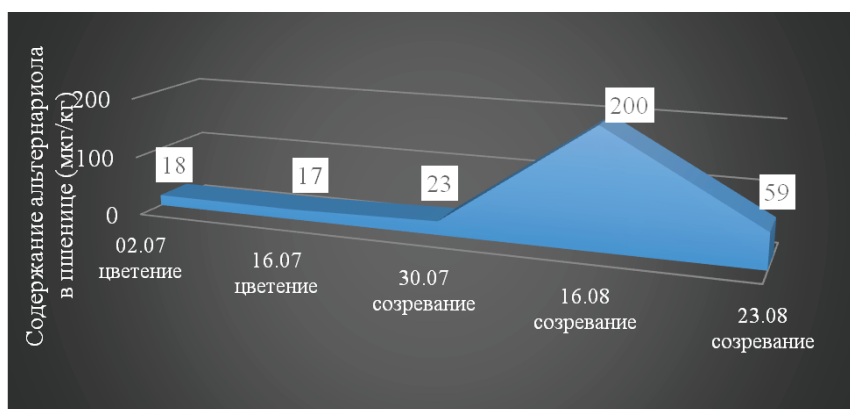


Рис. 5. Содержание альтернариола в динамике по фазам развития в пшенице мягкой

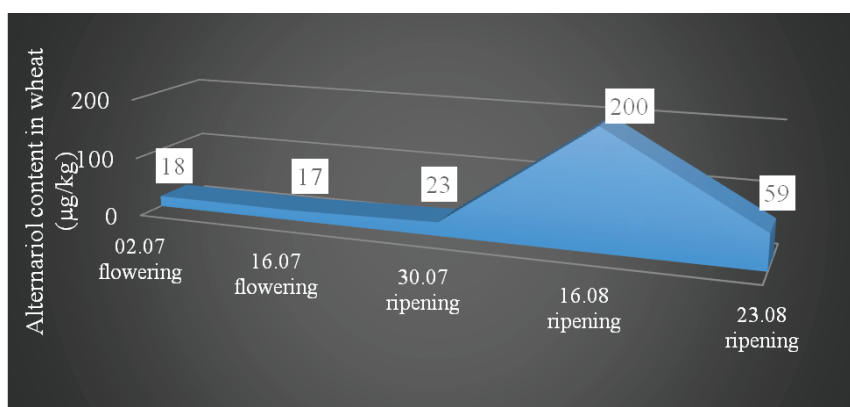


Fig. 5. Alternariol content in dynamics by development phases in soft wheat

Содержание альтернариола в пшенице колеблется от 17 до 200 мкг/кг в зависимости от фазы развития исследуемой культуры. Как общая тенденция, отмечается рост заражения культуры пшеницы по мере ее созревания. Минимальные значения (18 и 17 мкг/кг) установлены для фазы цветения (соответственно 02.07-16.07), максимальные (23-200 мкг/кг) – для стадии созревания (30.07-23.08). При этом различия отмечены для каждого периода вегетации. В период цветения, который характеризуется низким содержанием микотоксина, зафиксирована наиболее высокая концентрация альтернариола – 18 мкг/кг. В начальный период цветения (02.07) концентрация альтернариола ниже содержания в более поздний срок (17 мкг/кг 16.07), что, возможно, связано с выпавшими в этот период атмосферными осадками.

Период созревания пшеницы характеризовался исключительно сложной динамикой содержания АОЛ, пик которого (200 мкг/кг) приходился на средний срок созревания – 16.08. Данный период характеризовался не столь значительной прогреваемостью почвы – всего $17,6 \pm 1,6$ в полдень и $17,6 \pm 1,6$ и $18,9 \pm 1,7$ верхнего 05 см и 0-10 см пахотного горизонта. Возможно, в этот период более значимыми выступали другие экологические факторы, что требует дополнительного исследования. А использование вегетативной массы пшеницы в этот период, например, для корма скота, может представлять определенную опасность. Снижение же концентрации АОЛ к концу вегетации, по мере созревания пшеницы (59 мкг/кг) (30.08), возможно, обусловлено снижением температуры в полуденные и полночные часы (до $10,6 \pm 0,9$ и $12,3 \pm 1,1$ град.).

На рисунке 6 представлена диаграмма с содержанием альтернариола в горчице белой.

Содержание АОЛ в горчице белой также обнаружено во все фазы развития и колеблется от 21 до 117,7 мкг/кг. Однако динамика аккумуляции данного токсина по фазам вегетации горчицы белой отличается от динамики в пшенице. В отличие от культуры пшеницы в горчице белой содержание АОЛ снижается с начала цветения до начала созревания с 29 до 21 мкг/кг. В середине созревания, как и в культуре пшеницы, отмечается максимальное его содержание, пик концентрации – 117,7 мкг/кг. В более поздний период созревания (23.08) содержание АОЛ резко снижается до 71 мкг/кг. Снижение содержания микотоксинов, вероятно, связано со снижением влажности растений по мере созревания, что лимитирует развитие альтернарии.

Значение температурного фактора в аккумуляции АОЛ, мкг/кг, пшеницей и горчицей в процессе вегетации отражено в таблице 2. Коэффициент корреляции Пирсона для всех 5 вариантов при $p < 0,05$ составил 0,878.

В результате корреляционного анализа выявлено, что между показателями температурой почвы, $^{\circ}\text{C}$, в разные сроки и на разной глубине и накоплением АОЛ, мкг/кг, в пшенице и горчице белой значимая корреляционная связь не обнаружена. Однако можно отметить наибольшую обратную корреляционную связь содержания АОЛ в пшенице и горчице с показателем температуры почвы верхнего 0-5 см слоя гумусового горизонта.

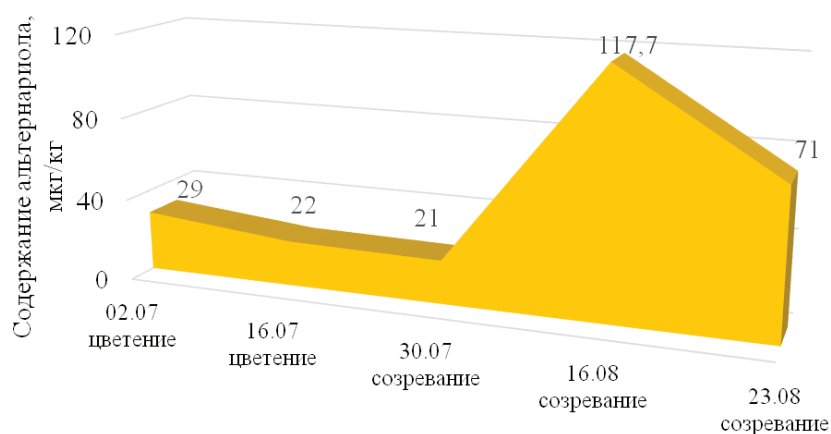


Рис. 6. Содержание альтернариола в динамике по фазам развития в горчице белой

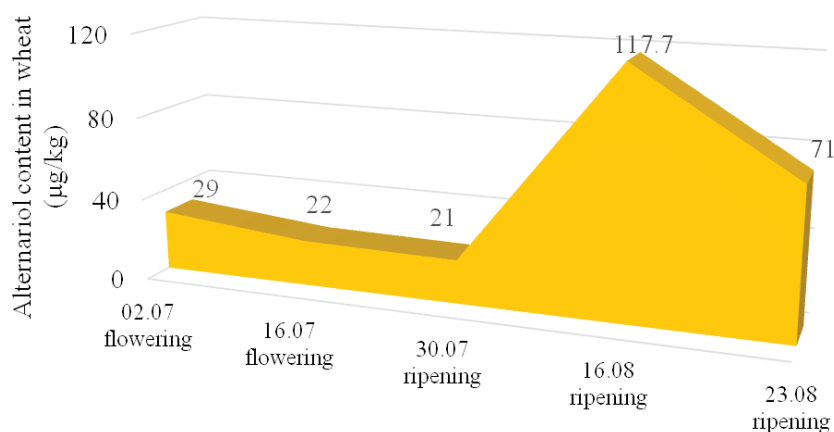


Fig. 6. Alternariol content in dynamics by developmental phases in white mustard

Таблица 2

Результат корреляционного анализа влияния содержания АОЛ, мкг/кг, в пшенице и горчице белой в зависимости от температурного фактора почвы

Дата отбора	Температура, $^{\circ}\text{C}$, в почве					Сод. АОЛ, мкг/кг
	В полдень	В полночь	На поверхности	На глубине 0-5 см	На глубине 0-10 см	
2.07	19,3±1,7	18,2±1,3	21,5±1,9	20,9±1,9	21,0±1,9	18
16.07	14,3±1,3	20,10±1,9	26,4±2,5	25,2±2,4	24,0±2,3	17
20.07	20,3±1,8	17,60±1,6	22,3±2,1	20,4±1,9	20,5±1,9	23
16.08	17,4±1,6	19,10±1,8	17,9±1,6	17,4±1,6	18,8±1,7	200
23.08	10,5±0,9	12,50±1,1	16,4±1,5	17,8±1,6	18,5±1,7	59
Значимые коэффициенты корреляции с содержанием АОЛ, мкг/кг, в пшенице	-0,002	0,113	-0,576	-0,606	-0,595	1

Table 2

Result of correlation analysis of the effect of Alternariol content, µg/kg, in wheat and white mustard depending on soil temperature factor

Date of sampling	Temperature, C°, in soil					Alternariol content, µg/kg
	At noon	At midnight	On the surface	At a depth of 0-5 cm	At a depth of 0-10 cm	
2.07	19.3±1.7	18.2±1.3	21.5±1.9	20.9±1.9	21.0±1.9	18
16.07	14.3±1.3	20.10±1.9	26.4±2.5	25.2±2.4	24.0±2.3	17
20.07	20.3±1.8	17.60±1.6	22.3±2.1	20.4±1.9	20.5±1.9	23
16.08	17.4±1.6	19.10±1.8	17.9±1.6	17.4±1.6	18.8±1.7	200
23.08	10.5±0.9	12.50±1.1	16.4±1.5	17.8±1.6	18.5±1.7	59
Significant correlation coefficients with Alternariol content, µg/kg, in wheat	-0.002	0.113	-0.576	-0.606	-0.595	1

Выводы

Исследования проводили на фоне высокого содержания гумуса, нейтральной реакции среды, высокой степени подвижности фосфора и обменного калия на дерново-подзолистых почвах Московского региона. Проведенные исследования показали зараженность микотоксином альтернариол зеленой массы яровой пшеницы и горчицы белой за весь период вегетации, что делает опасным использование вегетативной массы исследуемых культур для кормления сельскохозяйственных животных. Вместе с тем в данной почве отмечалось валовое содержание свинца ниже значения ПДК при достаточно высоком содержании его подвижных форм, превышающем значение ОДК в 1,5-2 раз и более, что, возможно, объясняется особенностями данной территории. В этих условиях использование вегетативной массы исследуемых культур для кормления сельскохозяйственных животных представляет опасность.

Особую опасность в отношении заражения представляет период середины созревания сельскохозяйственных культур, когда зараженность микотоксином превышала средний уровень загрязнения: в 8-11 раз – у культуры пшеницы; в 4-5 раз – у горчицы белой. Это еще более увеличивает опасность использования их вегетативной массы для пищевых целей. Возможно, в тот период более значимыми выступали другие экологические факторы, так как температурные условия (снижение прогреваемости почвы) были менее благоприятными для продуцирования микотоксинов, что требует дополнительных исследований. Бесспорно, загрязнение сельскохозяйственных культур микотоксинами окажет влияние и на почву, и на ее экологическое здоровье.

Если принимать во внимание опасность действия микробных ядов, учитывая биологические особенности их продуцентов, есть основания утверждать, что наличие микотоксинов в продукции или в кормах может иметь непредсказуемые экологические последствия. В этой связи изучение микологической системы «Почва-растение» будет способствовать пониманию процессов, происходящих в живой компоненте почвы, с целью улучшения здоровья почвы, особенно в условиях высокого антропогенного загрязнения. Отсутствие значимой корреляционной связи между накоплением (аккумуляцией) АОЛ, мкг/кг, в культурах пшеницы и горчицы белой в процессе вегетации в зависимости от температурных параметров почвы свидетельствует о влиянии ряда неучтенных экологических факторов. Вместе с тем близость корреляционной связи с показателем температуры почвы верхнего 0-5 см слоя гумусового горизонта дает основание для более детального изучения данного экологического фактора.

Список источников

References

1. Аша В. Атомно-абсорбционная спектроскопия с электротермической атомизацией: Справочник. – СПб.: Профессия, 2021. – 352 с.
2. Буркин А.А., Кононенко Г.П., Мосина Л.В. Первое микотоксикологическое исследование горчицы белой (*Sinapis alba* L.) // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 1. – С. 186-194. doi: 10.15389/agrobiology.2019.1.186rus.
3. ВОЗ. Информационный бюллетень. 2018. Май. 70 лет Всемирной организации здравоохранения // Социальные аспекты здоровья населения. – 2018. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voz-informatsionnyy-byulleten-may-2018-70-let-vsemirnoy-organizatsii-zdravoohraneniya>.
4. Кононенко Г.П. Совершенствование микотоксикологического контроля кормов // Главный зоотехник. – 2008. – № 12. – С. 27-29.
5. Кравченко А.В., Захарова Л.П., Обольский О.Л. Фузариотоксины в зерне: результаты мониторинга // Питание и здоровье людей. – 1998. – № 1. – С. 3-5.
6. Ливанов П.А., Соболев М.Б., Ревич Б.А. Свинцовая опасность и здоровье населения // Российский семейный врач. – 1999. – № 2. – С. 18-26.
7. Мосина Л.В., Довлетярова З.А., Ефремова С.Ю. Микотоксины как экологическая опасность: монография. – Иркутск: ООО «Мегапринт», 2017. – 144 с.
8. Позняковский В.М. Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза продуктовых товаров: учебник. – Новосибирск: Издательство НГУ, 1999. – 447 с.
9. Овчинников Р.С., Капустин А.В., Лаишевцев А.И., Савинов В.А. Микотоксины и микотоксикозы животных – актуальная проблема сельского хозяйства // Российский журнал проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2018. – С. 114-123. doi: 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201801020.
10. Соколова О.Я., Науменко О.А., Бибарцева Е.В., Евстифеева Т.А. Валовое содержание свинца и его подвижных форм в почвах районов Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – С. 189-191.
11. Фомина Л.М. и др. Профилактика микотоксикозов в промышленном птицеводстве и прудовом рыболовстве Ростовской области: монография. – Новочеркасск, 1988. – 108 с.
12. Шамрай С.М. Микотоксины – постоянная угроза со стороны «экологически чистых» природных ядов // Биология: все для учителя. – 2010. – С. 7-14.
13. Anqi Chen, Xin Mao, Qinghui Sun et al. Alternaria Mycotoxins: An Overview of Toxicity, Metabolism and Analysis in Food // Journal of Agricultural Food Chem. – 2021. – Jul 21; 69 (28). – Pp. 7817-7830. doi: 10.1021/acs.jafc.1c03007.
14. Benassi F., Gallerme C., Sharaf E.I. et al. Cell death induced by the Alternaria mycotoxin Alternariol // Toxicology in Vitro. – 2012. – V. 26 (6). – Pp. 915-923. doi: 10.1016/j.tiv.2012.04.014.
15. Fehr M., Pahike G., Fritz J. et al. Alternariol acts as a topoisomerase poison, preferentially affecting the Halpha isoform // Moll. Nutr Food Res. – 2009. – V. 53. – Pp. 441-451. doi: 10.1002/mnfr.200700379.
1. Asha V. Atomic Absorption Spectroscopy with Electrothermal Atomization: Handbook. SPb.: Profesiya, 2021: 352. (In Rus.).
2. Burkin A.A., Kononenko G.P., Mosina L.V. The First Mycotoxicological Study of White Mustard (*Sinapis alba* L.). Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 2019; 54; 1: 186-194. doi: 10.15389/agrobiology.2019.1.186rus. (In Rus.).
3. WHO. News Bulletin. 2018. May. 70 Years of the World Health Organization. Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya. 2018; 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voz-informatsionnyy-byulleten-may-2018-70-let-vsemirnoy-organizatsii-zdravoohraneniya>. (In Rus.).
4. Kononenko G.P. Improving Mycotoxicological Control of Feed. Glavniy zootekhnik. 2008; 12: 27-29. (In Rus.).
5. Kravchenko A.V., Zakharova L.P., Obol'skiy O.L. Fusariotoxins in Grain: Monitoring Results. Pitanie i zdorov'e lyudey. 1998; 1: 3-5. (In Rus.).
6. Livanov P.A., Sobolev M.B., Revich B.A. Lead Danger and Public Health. Rossiyskiy semeyniy vrach. 1999; 2: 18-26. (In Rus.).
7. Mosina L.V., Dovletyarova Z.A., Efremova S.Yu. Mycotoxins as an Environmental Hazard: Monograph. Irkutsk: ООО "Megaprint", 2017: 144. (In Rus.).
8. Poznyakovskiy V.M. Hygienic Fundamentals of Food, Safety and Examination of Food Products: Textbook. Novosibirsk: Izdatel'stvo NGU, 1999: 447. (In Rus.).
9. Ovchinnikov R.S., Kapustin A.V., Laishetsev A.I., Savinov V.A. Mycotoxins and Mycotoxicoses of Animals – an Urgent Problem in Agriculture. Rossiyskiy zhurnal problemy veterinarnoy sanitarii, gigiyeny i ekologii. 2018: 114-123. doi: 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201801020. (In Rus.).
10. Sokolova O.Ya., Naumenko O.A., Bibartseva E.V., Evstifeeva T.A. Gross Content of Lead and Its Mobile Forms in Soils of the Orenburg Region. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015: 189-191. (In Rus.).
11. Fomina L.M. et al. Prevention of Mycotoxicosis in Industrial Poultry Farming and Pond Fishing in the Rostov Region: Monograph. Novocherkassk, 1988: 108. (In Rus.).
12. Shamray S.M. Mycotoxins as a Constant Threat from "Environmentally Friendly" Natural Poisons. Biologiya: vse dlya uchitelya. 2010: 7-14. (In Rus.).
13. Anqi Chen, Xin Mao, Qinghui Sun et al. Alternaria Mycotoxins: An Overview of Toxicity, Metabolism and Analysis in Food. Journal of Agricultural Food Chem. 2021; 69 (28): 7817-7830. doi: 10.1021/acs.jafc.1c03007.
14. Benassi F., Gallerme C., Sharaf E.I. et al. Cell death induced by the Alternaria mycotoxin Alternariol. Toxicology in Vitro. 2012; 26 (6): 915-923. doi: 10.1016/j.tiv.2012.04.014.
15. Fehr M., Pahike G., Fritz J. et al. Alternariol acts as a topoisomerase poison, preferentially affecting the Halpha isoform. Moll. Nutr Food Res. 2009; 53: 441-451. doi: 10.1002/mnfr.200700379.

16. Lee H.B., Patriarca A., Magan N. Alternaria in Food: Ecophysiology, Micotoxin Production and Toxicology, Micobiology. – 2015. – V. 43 (2). – Pp. 93-106. doi: 10.5941/MYCO.2015.43.2.93.

17. Ostry V. Alternaria micotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs // World Mycotoxin Journal. – 2008. – V. 1 (2). – Pp. 175-188. doi: 10.3920/WMJ2008.x013.

18. Qiaomei Qin, Yingying Fan, Qinlan Jia et al. The Potential of Alternaria Toxins Production by A. alternata in Processing Tomatoes // Toxins (Basel). – 2022. – Nov 24; 14 (12). – P. 827. doi: 10.3390/toxins14120827.

19. Fraeyman S., Croubels S., Devreese M. et al. Emerging Fusarium and Alternaria Mycotoxins: Occurrence, Toxicity and Toxicokinetics // Toxins (Basel). – 2017. – Jul 18; 9 (7). – P. 228. doi: 10.3390/toxins9070228.

Информация об авторах

Людмила Владимировна Мосина, профессор кафедры экологии, д-р биол. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: mosina.l.v@yandex.ru; orcid: 0000-0003-2120-0389.

Павел Феликсович Васильков, аспирант по направлению подготовки 06.06.01, 03.02.08 экология (биология), Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: p.f.vasilkov@yandex.ru; orcid: 0000-0002-1406-5118.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023

Одобрена после рецензирования 21.03.2023

Принята к публикации 20.09.2023

16. Lee H.B., Patriarca A., Magan N. Alternaria in Food: Ecophysiology, Micotoxin Production and Toxicology. Micobiology. 2015; 43 (2): 93-106. doi: 10.5941/MYCO.2015.43.2.93.

17. Ostry V. Alternaria micotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. World Mycotoxin Journal. 2008; 1 (2): 175-188. doi: 10.3920/WMJ2008.x013.

18. Qiaomei Qin, Yingying Fan, Qinlan Jia et al. The Potential of Alternaria Toxins Production by A. alternata in Processing Tomatoes. Toxins (Basel). 2022; 14 (12): 827. doi: 10.3390/toxins14120827.

19. Fraeyman S., Croubels S., Devreese M. et al. Emerging Fusarium and Alternaria Mycotoxins: Occurrence, Toxicity and Toxicokinetics. Toxins (Basel). 2017; 9 (7): 228. doi: 10.3390/toxins9070228.

About authors

Lyudmila V. Mosina, DSc (Bio), Professor, Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: mosina.l.v@yandex.ru; orcid: 0000-0003-2120-0389).

Pavel F. Vasil'kov, postgraduate student of the training program 06.06.01, 03.02.08 Ecology (Biology), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: p.f.vasilkov@yandex.ru; orcid: 0000-0002-1406-5118).

The article was submitted to the editorial office 31 Jan 2023

Approved after reviewing 21 Mar 2023

Accepted for publication 20 Sept 2023