УДК 633.854.78:615.9

doi: 10.15389/agrobiology.2018.3.485rus

ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА (Helianthus annuus L.) ДЛЯ ПИЩЕВЫХ И КОРМОВЫХ ЦЕЛЕЙ

(обзор)

Г.П. КОНОНЕНКО, М.И. УСТЮЖАНИНА, А.А. БУРКИН

Риски, связанные с контаминацией агропродукции микотоксинами, были и остаются в центре пристального внимания мировой науки. В последние десятилетия особая обеспокоенность была связана с состоянием урожая зерна, предназначенного для продовольственных и кормовых целей. В настоящее время в большинстве зернопроизводящих стран достигнут значительный прогресс в идентификации основных токсинообразующих микромицетов и оценке опасности, обусловленной распространением микотоксинов (Т.Yu. Gagkaeva c coabt., 2004; Г.П. Кононенко с соавт., 2008, 2009; Р.М. Scott с соавт., 2012). Для второй по значимости группы сельскохозяйственных растений — масличных культур (подсолнечник, соя, арахис, рапс, хлопчатник) в подобных исследованиях наблюдается значительное отставание. Подсолнечник возделывается практически во всех регионах мира, пригодных для земледелия. Ареал его промышленного выращивания также чрезвычайно широк. В группу мировых лидеров по производству семян подсолнечника входят Российская Федерация, Украина, Аргентина, Индия, Китай. Целью настоящего обзора стала систематизация и сравнительная оценка мировых сведений о составе микобиоты и характере контаминации микотоксинами семян подсолнечника (Helianthus annuus L.) и продуктов их переработки. В процессе обследований, выполненных в странах Ближнего Востока, Африки, Южной и Юго-Восточной Азии, в составе микобиоты семян было установлено доминирование грибов рода Aspergillus с типичным видом A. flavus и достаточно частое выявление A. niger. Для менее распространенных грибов Penicillium, Alternaria и Fusarium общих закономерностей не прослеживалось. В Индии, Пакистане Танзании, Малайзии, Иране и Египте загрязненность семян афлатоксинами оценивалась как весьма высокая, а продукты переработки семян на масло сохраняли тот же тип контаминации, но с повышенной частотой обнаружения и более интенсивным накоплением микотоксинов (S. Dawar c coabt., 1991; S.K. Abdullah c coabt., 2010; H.R. Beheshti с соавт., 2013; Ј.А. Мтопдоуо с соавт., 2017). Экспериментально доказано, что при хранении семян, особенно в условиях повышенной влажности и температуры, интенсивность накопления афлатоксинов резко возрастает (Н.Н. Casper c coaвт., 1982; Р. Jeswal c coaвт., 2013). В странах Южной Америки (Аргентина, Бразилия) в семенах подсолнечника преобладали грибы родов АІternaria и Fusarium и альтернариотоксины (С.R. Розді с соавт., 2005). В европейских странах грибы родов Alternaria и Fusarium также отнесены к числу основных компонентов микобиоты семян подсолнечника, однако данные о видовом составе этих микромищетов и характере загрязненности семян микотоксинами весьма ограничены. Многолетними исследованиями, выполненными в Российской Федерации, показано широкое распространение на вегетирующих растениях и семенах подсолнечника грибов рода Alternaria, чаще всего мелкоспоровых неспециализированных видов A. tenuissima, A. alternata и комплекса A. infectoria (М.В. Ивебор с соавт., 2012). Фузариоз в европейском ареале возделывания проявляется ежегодно, при этом видовое многообразие весьма значительно (А.А. Выприцкая, 2015). Тем не менее, микотоксикологическая оценка урожая семян подсолнечника на основных территориях его промышленного выращивания в нашей стране не проводилась. Во время мониторинговых обследований подсолнечных жмыхов и шротов установлена множественная сочетанная загрязненность микотоксинами с доминированием альтернариола и охратоксина А при значительном вкладе Т-2 токсина, а также цитринина, эмодина, микофеноловой кислоты и циклопиазоновой кислоты (Е.В. Зотова с соавт., 2017). Характер контаминации этого кормового сырья в России принципиально отличается от описанного в других странах прежде всего отсутствием афлатоксина В1 и значительной встречаемостью охратоксина А, часто совместно с цитринином. Для гарантии безопасного использования подсолнечника в пищевых и кормовых целях необходимо продолжить исследования, направленные на развитие научно обоснованного подхода к микотоксикологическому контролю семенного сырья и продуктов его переработки.

Ключевые слова: *Helianthus annuus* L., подсолнечник, семена, жмыхи, шроты, микромицеты, грибные болезни, микотоксины.

Риски, связанные с контаминацией агропродукции микотоксинами, были и остаются в центре пристального внимания мировой сельскохозяйственной науки. В последние десятилетия особая обеспокоенность связана с состоянием урожая зерна, производимого для продовольственных и

кормовых целей. В большинстве зернопроизводящих стран уже достигнут значительный прогресс в идентификации основных токсинообразующих микромицетов и оценке распространенности микотоксинов в зернопродукции (1-3). Главным итогом микологических и микотоксикологических обследований, выполненных в зонах, где регистрируют фузариоз колосовых культур и кукурузы, стало понимание того, что эта глобальная проблема имеет региональную приуроченность и для ее успешного решения требуются специальные подходы с учетом мест произрастания (4-6).

Для второй по значимости группы сельскохозяйственных растений — масличных культур, представленной главным образом подсолнечником, соей, арахисом, рапсом и хлопчатником, в этих исследованиях наблюдается отставание, которое только предстоит преодолеть, а существующая база данных нуждается в обобщении и анализе.

Цель настоящего обзора — систематизация и сравнительная оценка мировых сведений о составе микобиоты и характере контаминации микотоксинами семян подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) при сборе и хранении урожая и в продуктах переработки, используемых на корм.

Культура подсолнечника распространена практически во всех регионах мира, пригодных для земледелия. Ареал ее промышленного выращивания тоже чрезвычайно широк. Семена этого растения — ценный пищевой продукт и сырье для кондитерской и масложировой перерабатывающих отраслей, а отходы от производства подсолнечного масла (жмыхи и шроты) востребованы в качестве комбикормового сырья. Богатая белком зеленая масса высокорослых сортов считается пригодной для консервирования (силос и сенаж), скот охотно поедает корзинки растений, убранных во время цветения, остатки зрелых растений после уборки (стебли, листья, корзинки) также используют на корм животным (7).

Опасения по поводу негативных последствий от потребления подсолнечника связаны в основном с давно установленным фактом предрасположенности растений к заболеваниям, которые вызывают несовершенные мицелиальные, пикнидиальные и склероциальные, а также базидиальные, низшие и сумчатые грибы (7). Основные санитарно значимые микотоксины для большинства фитопатогенов не входят в число физиологически активных метаболитов. Однако возбудители альтернариоза (Alternaria spp.), синдрома пятнистости семян (Alternaria alternata, Cladosporium sp.), трахеомикозного увядания и розовой гнили корзинок (Fusarium spp.) представляют интерес с токсикологической точки зрения, а для грибов Penicillium sp., Aspergillus sp., Trichoderma sp., Cladosporium sp., которые вызывают широко распространенное плесневение семян, известна способность к токсинообразованию (8, 9). Многие из них обнаружены в составе микопопуляций, сопровождающих процессы патогенеза.

В группу мировых лидеров по производству семян подсолнечника входят Российская Федерация, Украина, Аргентина, Индия и Китай, но эту культуру в значительных масштабах возделывают и в других странах. Почвенно-климатические, экологические, агротехнические условия, как известно, имеют определяющее значение для формирования микобиоты растений (10). В связи с этим риски накопления микотоксинов в агропродукции по ареалам необходимо оценивать по основным таксонам грибов с выявлением потенциально токсигенных видов и подтверждением возможностей для реализации их генетически детерминированных способностей.

Описывая многообразие состава микобиоты семян подсолнечника перед уборкой, в послеуборочный период и при хранении, исследователи в странах Ближнего Востока, Африки, Южной и Юго-Восточной Азии под-

черкивали явное доминирование некоторых родов и видов (табл. 1). Грибы Aspergillus выявляли постоянно, их типичным представителем был A. flavus, достаточно часто обнаруживали A. niger, реже — A. terreus и A. fumigatus. По видовому составу менее распространенных грибов, принадлежащих родам Penicillium, Alternaria и Fusarium, общих закономерностей не прослеживалось. Результаты обследования урожая семян в Индии (11, 12, 18), Пакистане (13, 14) и данные локальных национальных проектов, выполненных в разные годы в Иране (19), Нигерии (20), Судане (21), ЮАР (17), Колумбии (22), Ираке (15), Малайзии (16), Танзании (23), показали, что грибы рода Aspergillus характеризуются наибольшей частотой встречаемости и интенсивностью инфицирования в сравнении с представителями других родов.

1. Видовой состав основных представителей микобиоты семян подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) в странах Ближнего Востока, Африки, Южной и Юго-Восточной Азии

Регион	Таксон (род)	Вид	Ссылка
Индия (штат Тами	л-Aspergillus	A. flavus	(11)
Наду)			
Индия (штат Бихар)	Aspergillus	A. flavus	(12)
	Penicillium	P. citrinum,	
		P. verrucosum	
	Fusarium	F. moniliforme	
Пакистан	Aspergillus	A. flavus, A. niger	(13)
	Alternaria	A. alternata,	
		A. tenuissima	
	Fusarium	F. moniliforme,	
		F. solani	
	Aspergillus	A. flavus,	(14)
		A. niger,	` ´
		A. terreus	
	Alternaria	A. alternata	
	Fusarium	F. moniliforme,	
		F. pallidoroseum	
Ирак	Aspergillus	A. flavus,	(15)
		A. niger,	
		A. fumigatus,	
		A. terreus	
	Penicillium	P. expansum,	
		P. brevicompactum	
	Alternaria	A. alternata	
	Fusarium	F. oxysporum,	
		F. solani	
Малайзия	Aspergillus	A. flavus, (16)	
		A. niger	
ЮАР (провинция Квазулу-Натал)	Aspergillus	A. flavus	(17)

Виды Aspergillus, Penicillium, Fusarium, Alterna*ria*, идентифицированные в семенах подсолнечника в этих ареалах, известны как токсинообразующие (24). Штаммы Aspergillus flavus, выделенные из семян в Индии, продуцировали афлатоксин B_1 (25). Для изолятов этого же вида в Пакистане была экспериментально подтверждена способность к биосинтезу афлатоксинов: 29 штаммов из 41 продуцировали афлатоксин В₁, 8 также афлатоксин B_2 (26). Чтобы моделировать условия, приближенные к естественным, токсинообразование грибов изучали на семенах подсолнечника. Однако принципиально ли использование того же субстрата для корректного подхода к оценке участия грибов в контаминации

биообъектов токсичными метаболитами, еще предстоит выяснить. Для двух штаммов *A. flavus* было установлено замедление процесса накопления афлатоксинов на семенах в сравнении с зерновыми субстратами и образование наибольших количеств только через 12 и 18 сут (27).

В Индии, Пакистане, Танзании, Малайзии и Иране загрязненность семян афлатоксинами оценивалась как весьма высокая (табл. 2). В Индии, наряду с афлатоксинами, в семенах выявлены охратоксин А, цитринин и зеараленон (12), а также циклопиазоновая кислота — токсин, свойственный грибам рода Aspergillus (29). Побочные продукты переработки семян на масло в этих странах сохраняли тот же тип контаминации, что был свойствен семенам, но частота обнаружения и накопление микотоксинов повышались. В Индии при исследовании жмыхов афлатоксины обнаружили во всех изученных пробах в количествах, превышавших 30 мкг/кг (30), циклопиазоновая кислота — в 10 пробах (300-29000 мкг/кг) (28), охраток-

син А — в 48 и 76 % проб в летний и зимний периоды в количествах соответственно 31,84 и 76,52 мкг/кг (31). В Танзании, по данным 2014-2015 годов, 80,4 % образцов жмыха (n=92) от местных производителей масла содержали афлатоксины в количествах от 1,4 до 598,4 мкг/кг (23), что превышало частоту в урожае семян при той же контаминации (табл. 2). Для образца жмыха из восточной части ЮАР была установлена загрязненность афлатоксинами (84 мкг/кг) при значительной пораженности видами $A.\ flavus$ и $A.\ tamarii$ (17). Недавно в партии шрота, импортированного в Малайзию, были найдены афлатоксины B_1 (37,8 мкг/кг), G_1 (57,8 мкг/кг) и B_2 (7,0 мкг/кг) (32).

2. Микотоксины, обнаруженные в семенах подсолнечника в странах Южной Америки, Ближнего Востока, Африки, Южной и Юго-Восточной Азии

Регион возделывания, п	Микотоксин	Частота обнаружения, количество, мкг/кг	Ссылка	
Индия (штат Бихар), семена до и после уборки	Афлатоксин В1	30 % (43-1070)	(12)	
(n = 240)	Афлатоксин G ₁	20 % (17-247)		
	Охратоксин А	17 % (49-248)		
	Цитринин	15 % (23-433)		
	Зеараленон	3 % (111-125)		
Пакистан, семена из разных провинций ($n = 24$)	Афлатоксин В ₁	54 % (≤ 437)	(26)	
	Афлатоксины $B_1 + B_2$	21 % (≤ 14)		
Танзания, семена из разных мест, урожай				
2014, 2015 годов ($n = 90$)	Афлатоксины	59 % (1,4-662,7)	(23)	
ЮАР (провинция Квазулу-Натал) ($n=1$)	Афлатоксины	5,6	(17)	
Малайзия	Афлатоксин В ₁	82,1 % (0,54-5,33)	(16)	
Иран (область Хорасан), разные торговые	Афлатоксин В1	13 % (≤ 168)	(28)	
точки $(n = 50)$	Афлатоксин В2	8 % (≤12,8)		
Π р и м е ч а н и е. n — число исследованных с	<u>–</u> образцов.			

В Египте обнаружены региональные различия в составе микобиоты семян. В 36 пробах урожая 1985 года, отобранных на рынках страны, выявлено 63 вида и 3 разновидности грибов, принадлежащих 18 родам (33). Среди них по встречаемости доминировали представители родов Aspergillus (100 %) и *Penicillium* (88,9 %), далее следовали грибы, принадлежащие роду Fusarium (36,1 %). Интенсивность инфицирования семян Aspergillus spp. оказалась наибольшей, Penicillium и Fusarium — на порядок меньше. Грибы рода Aspergillus были представлены видами A. niger, A. flavus, A. fumigatus, A. terreus, A. flavus var. columnaris, A. nidulans, A. sydowi, A. tamari, среди Репicillium встречались P. chrysogenum и P. corylophilum, среди Fusarium — F. oxysporum, F. moniliforme, F equiseti, F. semitectum (первые два чаще), виды Alternaria spp. обнаруживались крайне редко. В другой работе в 16 пробах семян, отобранных на опытных станциях университетов Александрии, Нобарии и Мении, идентифицировали Alternaria alternata, F. proliferatum, F. semitectum и F. semitectum var. majus (34). В 10 пробах из мухафазы Асьют преобладали A. niger (16,5 %), A. flavus (13,8 %) и Alternaria alternata (15,3 %), реже встречались P. digitatum и F. oxysporum, F. moniliforme, F. semitectum (35).

Эти результаты вполне согласуются с характером контаминации семян микотоксинами. В сборах 1985 года (33) положительными оказались 26 проб (72 %), при этом афлатоксины были найдены более чем в половине из них (15/26). Группа афлатоксинов в 10 положительных пробах оказалась представлена всеми четырьмя метаболитами, в 5 — только двумя (афлатоксины B_1 и B_2). Реже встречались фузариотоксины — диацетоксисцирпенол (5/26), T-2 токсин (4/26), зеараленон (2/26), а также стеригматоцистин (3/26) и охратоксин A (1/26), но, к сожалению, количественные измерения не были выполнены. Позже сообщалось о выявлении зеараленона и альтернариола в семенах в том же регионе (36).

В США сведения об обнаружении афлатоксин В₁ в семенах под-

солнечника впервые получены учеными Университета штата Северная Дакота: при анализе 11 образцов урожая 1978 года в 9 был найден афлатоксин В₁ в количествах от 10 до 225 мкг/кг (37, 38). Этот факт стал поводом для более тщательных исследований, в процессе которых была показана важная роль условий хранения для накопления афлатоксина В₁. Так, в 1979-1981 годах в партиях от разных производителей, обеспечивающих половину производства масла в этом штате, контаминация афлатоксином B_1 не превышала допустимую (20 мкг/кг), однако в пробах из хранилищ, где наблюдалось плесневение и слеживание, его содержание достигало 100-1100 мкг/кг (37, 38). Все это указывало на то, что ключевым фактором роста контаминации было послеуборочное хранение. При обследовании продовольствия и кормов, импортированных в США за 1982-1986 годы, в одной пробе семян подсолнечника нашли афлатоксины в количестве 179 мкг/кг (39). Впоследствии было заявлено, что в образце из партии плесневелых семян подсолнечника, вызвавшей интоксикацию свиней, обнаружена циклопиазоновая кислота в крайне высокой концентрации — 10000 мкг/кг (40). По-видимому, при определенных условиях возможна резкая интенсификация роста отдельных высококонкурентных токсигенных видов из числа вызывающих плесневение семян.

Усиление накопления микотоксинов при хранении семян, особенно в условиях повышенной влажности и температуры, подтверждено и в других странах. По сообщению исследователя из Индии, содержание афлатоксинов в свежеубранных и хранившихся семенах подсолнечника составляло соответственно 1000 и 2200 мкг/кг (30). При хранении партии семян подсолнечника в специализированном металлическом ангаре при 25-32 °C через 7 мес количество афлатоксина В₁ возрастало более чем в 2 раза (с 205 мкг/кг до 520 мкг/кг) (41). На увеличение контаминации семян при послеуборочном хранении указывают и недавние данные индийских авторов, полученные в штате Бихар (12). Возрастала не только частота обнаружения четырех микотоксинов, но и степень контаминации: до уборки выявляли афлатоксин B_1 (16/120, 43-355 мкг/кг), афлатоксин G_1 (11/120, 17-85 мкг/кг), охратоксин А (14/120, 1-3 мкг/кг) и цитринин (11/120, 23-65 мкг/кг), после уборки — афлатоксин B_1 (56/120, 463-1070 мкг/кг), афлатоксин G_1 (36/120, 129-338 мкг/кг), охратоксин A (27/120, 121-415 мкг/кг), цитринин (26/120, 65-433 мкг/кг), зеараленон (7/120, 111-125 мкг/кг).

Судя по опубликованным данным, в странах Южной Америки микотоксикологическая ситуация с подсолнечником кардинально отличается от описанной для других регионов. Здесь микобиота семян представлена преимущественно грибами родов Alternaria и Fusarium (42). В Бразилии в семенах, собранных в одном из штатов, пораженность Fusarium verticillioides составила 70 %, Alternaria alternata — 46 %, Cladosporium spp. — 18 %, остальными (A. flavus, Penicillium spp., Scopulariopsis spp.) — от 2 до 10 % (42). В Аргентине в семенах часто выявляли альтернариотоксины — альтернариол и его метиловый эфир (в 76 % из 50 проб) (43). В Бразилии (Sao Paulo, Nova Odessa) загрязненность этими токсинами составила соответственно 18 и 10 % при содержании 24,9-170,9 и 14,1-108,6 мкг/кг (41). В шротах среди наиболее частых контаминантов обнаружены альтернариол (35-792 мкг/кг) и его метиловый эфир (9-630 мкг/кг), а также найдена тенуазоновая кислота (44).

В европейских странах грибы родов *Alternaria* и *Fusarium* нередко называют в числе основных компонентов микобиоты семян подсолнечника, однако данных о видовом составе приводится немного. В Сербии (провинция Воеводина) из семян, ядер и шелухи были выделены грибы,

принадлежащие к 8 родам и 13 видам: Alternaria alternata, Arthrinium phaeospermum, Aspergillus candidus, A. flavus, A. niger, A. ochraceus, A. versicolor, A. wentii, Cladosporium cladosporioides, Eurotium herbariorum, Penicillium aurantiogriseum, Rhizopus stolonifer, Trichoderma harzianum (45). Из пораженных органов растений в Финляндии выделили 20 видов грибов, среди которых 4 вида Fusarium — F. avenaceum (Fr.) Sacc., F. equiseti (Corda) Sacc., F. oxysporum Schlecht. и F. sambucinum Fuckel (46). Оценка роли токсинообразующих грибов Fusarium и Alternaria трудна не столько из-за сложности состава комплекса представленных видов, сколько из-за проблем с видовой идентификацией. Вклад этих грибов в контаминацию семян, зеленой массы и продуктов переработки на корм пока мало изучен. Способность к токсинообразованию известна только для немногих видов Fusarium, обнаруженных в семенах и пораженных наземных органах этих растений. Многие виды рода Alternaria Nees также относят к потенциально токсигенным. Однако каких-либо сведений о продуцировании микотоксинов изолятами из семян подсолнечника, относящимися к конкретным видам *Fusarium*, Penicillium, Cladosporium, Scopulariopsis vi Aspergillus (A. niger, A. fumigatus, A. terreus, A. candidus, A. ochraceus, A. versicolor, A. wentii, A. nidulans, A. sydowii, A. tamari) мы не нашли.

Сообщения о встречаемости фузарио- и альтернариотоксинов в семенах и продуктах их переработки пока весьма немногочисленны. Так, на юге Италии в одной пробе семян, инфицированных *А. alternata*, обнаружили альтернариол (360 мкг/кг) и его метиловый эфир (130 мкг/кг) (47, 48). В Венгрии для 22 образцов шротов установлена контаминация Т-2 токсином с частотой 13,6 % и высоким накоплением (237-500 мкг/кг, в среднем 230 мкг/кг). Дезоксиниваленол выявляли реже и в меньших количествах (4,5 %, 150 мкг/кг), зеараленон отсутствовал (49).

Результаты ежегодного мониторинга пищевых продуктов, организованного с 1983 года в США и странах ЕС, показывают, что семена подсолнечника, поставляемые на продовольственные рынки этих стран, в целом слабо контаминированы микотоксинами и не представляют угрозы для населения. Тем не менее, в Италии при обследовании ввезенных семян содержание афлатоксина В₁ в двух образцах составило 50 и 90 мкг/кг (50). Недавно в трех образцах смесей, приготовленных с добавлением семян подсолнечника, найдены афлатоксины в количестве менее 20 мкг/кг, а в семенах — охратоксин А (20 мкг/кг) (51). В 11 пробах семян, отобранных в январе-феврале 2013 года в торговой сети г. Уппсала (Швеция) и имеющих подтверждение китайского производства или без каких-либо указаний на происхождение, афлатоксины и охратоксин А не были выявлены, но в микобиоте повсеместно встречались грибы рода Penicillium, представленные токсигенными видами P. expansum, P. chrysogenum, P. verrucosum, P. crustosum, P. albocoremium, P. brevicompactum, P. citrinum, P. rugulosum, P. polonicum (52). Исследование в Нидерландах в 2013-2014 годах показало, что загрязненность альтернариотоксинами пищевых продуктов (семена, масло и паста, приготовленная его гидрированием) имеет стабильный характер и семена чаще контаминированы тенуазоновой кислотой (8/10, 240 мкг/кг), чем альтернариолом (1/10, 5,4 мкг/кг) и его метиловым эфиром (1/10, 1, 1 мкг/кг) (53, 54), при этом модифицированные формы этих токсинов (сульфаты и сульфогликозиды) не обнаружены.

Первые сообщения об обнаружении микотоксинов в продуктах переработки семян на масло на европейском рынке появились, когда о проблеме загрязненности семян было практически ничего не известно (50). В Германии в одном из четырех образцов жмыха, импортированного в 1972-

1973 годах, обнаружили афлатоксин B_1 (17 мкг/кг). В Венгрии 9,6 % от 73 партий, ввезенных в 1975 году, содержали афлатоксины. Во всех 22 пробах шрота, импортированного в Великобританию из Аргентины, Индии и стран ЕС, была установлена контаминация альтернариолом (180 мкг/кг), его метиловым эфиром (100 мкг/кг) и тенуазоновой кислотой (1900 мкг/кг) (56). В 2011 году Европейской комиссией (European Commission), в том числе на основе данных российских ученых, поставлен на рассмотрение вопрос о контаминации пищевых продуктов и кормов токсинами грибов *Alternaria* и сделано заключение об особенно высоких рисках загрязнения семян, жмыхов и шротов из подсолнечника (57).

В Российской Федерации на долю подсолнечника приходится до 70 % посевных площадей масличных культур, которые сосредоточены главным образом в Южном, Центральном и Приволжском федеральных округах. Изучение возбудителей болезней и грибов, ассоциированных с этим растением, имеет богатую историю, значительные успехи в настоящем и перспективу развития в будущем. Многолетние исследования показали широкое распространение на вегетирующих растениях и семенах подсолнечника грибов рода Alternaria, а в последние годы удалось уточнить их видовой состав. По данным фитоэкспертизы, в 62 партиях семян из Краснодарского края, Воронежской и Волгоградской областей, заготовленных в 2010-2011 годах, чаще всего встречались мелкоспоровые неспециализированные виды: A. tenuissima (52 %), комплекс A. infectoria (25 %) и A. alternata (14 %) (58). Результаты 25-летнего мониторинга в Краснодарском крае показали значительную пораженность альтернариями корней, стеблей, листьев, корзинок и семянок (59). В Тамбовской области во всех обследованных районах в 1992-2015 годах грибы рода Alternaria обнаруживались на 4,3-100 % вегетирующих растений (чаще всего на корзинках и семенах) при незначительной интенсивности поражения (60). Подробное описание видового состава возбудителей альтернариоза в разных регионах страны дано в работе Ф.Б. Ганнибала (61).

В последние десятилетия особенно возросло внимание к фузариозу подсолнечника в европейском ареале возделывания этой культуры (62). Изучена распространенность и видовой состав возбудителей в южных регионах России (63-65). В Тамбовской области на растениях показано доминирование *F. oxysporum* (24,1 %) и *F. verticillioides* (20,4 %), на семенах — *F. oxysporum* (21,8 %) и *F. oxysporum* var. *orthoceras* (20,0 %) (66). Фузариоз проявлялся ежегодно в разной степени (от единичных заболеваний до распространения на 13,3 % растений и более), при этом видовое многообразие было весьма значительным — до 20 видов (60).

Такие грибы, как Aspergillus spp., Aureobasidium pulullans, Cladosporium spp., Epicoccum spp., Monillia sitophila, Mucor spp., Penicillium spp., Stachybotris spp., Oedocephalum spp. и Trichothecium spp., отечественные исследователи относят к сопутствующим, поскольку они встречаются, как правило, совместно с другими возбудителями и с частотой менее 1 % (58-60).

Обследование кормовой продукции из семян подсолнечника на загрязненность микотоксинами начато в нашей стране в 2002 году (67). Для 42 образцов жмыхов и шротов контаминация микотоксинами оказалась достаточно высокой (54 %) и в половине проб обеспечивалась главным образом охратоксином А. Т-2 токсин был найден в 16 % (7,5-39,5 мкг/кг), зеараленон — лишь в одной пробе (77,5 мкг/кг), афлатоксин B_1 и стеригматоцистин не обнаружили. В дальнейшем была подтверждена значительная контаминация охратоксином А жмыхов и шротов — соответственно 45,5 и 58,8 % с содержанием более 50 мкг/кг в 6,6 % проб от числа поло-

жительных и 4-48 мкг/кг — в остальных (68).

В 2003-2006 годах при анализе производственных партий жмыхов и шротов в 28,4 % образцов из 116 был выявлен другой нефротоксин цитринин (от 14 до 300 мкг/кг), чаще совместно с охратоксином А (в 30 из 33 положительных проб) (69). Среди контаминантов впервые найден токсин антрахинонового ряда эмодин (в 4 образцах из 7) в количестве 20-30 мкг/кг (70), в двух образцах жмыха из 58 — циклопиазоновая кислота (50 и 63 мкг/кг) (71). По обобщенным данным, в 2004-2009 годах частота встречаемости охратоксина А и цитринина составила 50 % (58/116) (как правило, при совместном присутствии). Сочетанная контаминация сопровождалась общей количественной закономерностью в их соотношении: содержание цитринина было выше, чем охратоксина А, хотя совпадения или близкие значения также наблюдались (72). Учитывая известную для цитринина роль биоактиватора охратоксина А (73), следует признать важное значение этого факта для оценки риска воздействия указанных токсинов на животных. Полученные результаты позволили высказать предположение о вероятных источниках контаминации — видах Aspergillus и/или Penicillium, способных продуцировать названные токсины раздельно или совместно.

3. Встречаемость (%) и содержание микотоксинов (минимальное-среднее-максимальное, мкг/кг) в подсолнечных жмыхах и шротах в России (74)

Микотоксин	Шроты, жмыхи, $n = 334$	По видам сырья (2009-2016 годы)	
Микотоксин	(1997-2016 годы)	шроты, $n = 57$	жмыхи, $n = 45$
Т-2 токсин	17 (4-16-93)	23 (4-9-16)	36 (5-13-25)
Диацетоксисцирпенол	_	_	_
Дезоксиниваленол	4 (40-92-375)	2 (375)	_
Зеараленон	0,6 (66-72-78)	2 (66)	_
Фумонизины	_	_	_
Эргоалкалоиды	3 (5-17-40)	2 (11)	7 (5-19-40)
Альтернариол	77 (19-262-1990)	77 (19-315-1990)	78 (20-205-955)
Роридин А	_	_	_
Афлатоксин В ₁	0,3 (3)	_	_
Стеригматоцистин	6 (4-7-12)	9 (4-7-12)	20 (4-6-11)
Циклопиазоновая кислота	21 (50-80-142)	18 (50-79-125)	44 (50-82-140)
Эмодин	26 (20-217-5000)	32 (20-93-280)	31 (20-440-5000)
Охратоксин А	59 (4-19-200)	82 (4-15-93)	69 (4-15-62)
Цитринин	33 (19-85-1020)	46 (20-93-1020)	20 (50-88-125)
Микофеноловая кислота	25 (20-93-379)	35 (25-95-380)	16 (20-93-335)
PR-токсин	· _ ·		

 $\overline{\Pi}$ р и м е ч а н и е. n — число исследованных образцов. Прочерк означает, что образцы, содержащие микотоксин, не обнаружены.

В 2008-2010 годах были зафиксированы первые случаи обнаружения в жмыхах и шротах альтернариола, микофеноловой кислоты, Т-2 токсина, дезоксиниваленола, стеригматоцистина и циклопиазоновой кислоты.

Судя по результатам, полученным за весь период мониторинга с 1997 по 2016 год (табл. 3), для жмыхов и шротов характерна обширная сочетанная контаминация с наиболее частым обнаружением альтернариола и охратоксина А и несколько меньшим распространением цитринина, эмодина, циклопиазоновой кислоты, Т-2 токсина и микофеноловой кислоты. Остальные микотоксины (дезоксиниваленол, зеараленон, эргоалкалоиды, стеригматоцистин) встречались в единичных случаях или не были найдены (диацетоксисцирпенол, фумонизины, роридин А и PR-токсин). Оба вида сырья (см. табл. 3) имели сходный тип загрязненности: тот же набор основных контаминантов и близкие степени накопления, но для жмыхов отмечалась несколько большая частота встречаемости эргоалкалоидов, стеригматоцистина и циклопиазоновой кислоты. В одном образце обнаружено аномально высокое накопление эмодина (до 5000 мкг/кг) (74).

Многолетнее обследование жмыхов и шротов на значительной вы-

борке (334 образца) позволило установить, что тип их контаминации в России принципиально отличается от многократно описанного в других странах прежде всего отсутствием афлатоксина B_1 и значительной встречаемостью охратоксина A, часто совместно с цитринином. Присутствие охратоксина A в шротах ранее обнаружено в Венгрии (18,2 % из 22 образцов, 100-260 мкг/кг при среднем значении 160 мкг/кг) (49) и в Югославии (75).

Исследование производственных партий сырья (семян, предназначенных для получения масла) в нашей стране только началось, но первые оценки свидетельствуют о меньшей степени контаминации по сравнению с установленной для продуктов переработки. В 2017 году получены первые результаты анализа микотоксинов в семенах подсолнечника, предлагаемых для реализации населению. Контаминация микотоксинами была слабо выраженной. Из 27 образцов семян, отобранных на фермерских рынках г. Москвы в 2015-2016 годах, положительными оказались только 6: в двух были найдены альтернариол (42 и 48 мкг/кг) и эмодин (58 и 208 мкг/кг), в единичных — Т-2 токсин (158 мкг/кг) и микофеноловая кислота (250 мкг/кг) (74). В связи с этим активно предпринимаемые в отечественной литературе попытки обсуждать роль грибов рода Aspergillus, способных продуцировать афлатоксины, в ответ на рост требований к экологической безопасности продукции из подсолнечника в нашей стране (76) не имеют какихлибо оснований.

Безусловно, в дальнейшем для обоснованных выводов о микотоксикологическом статусе этого сырья, предназначенного для потребления населением и переработки, необходимо продолжать мониторинг по всей шкале санитарно значимых показателей. Однако уже сейчас по результатам оценки загрязненности семян и жмыхов/шротов можно заключить, что послеуборочный период, хранение и переработка — ключевые этапы для возможного усиления контаминации. Необходимость длительного выдерживания семян до реализации (фаза дозревания, запасы сырья), а также продолжительные сроки переработки и хранения создают благоприятные условия для динамичного развития микобиоты со сменой состава, при котором возможна активация роста и усиление метаболической активности конкурентных видов. В связи с этим чрезвычайно важно выявить и контролировать те факторы, которые значимы для обеспечения микотоксикологической безопасности запасов семенного сырья, технологических полупродуктов на перерабатывающих предприятиях и готовой продукции.

Следует учитывать и такую особенность послеуборочной обработки семян, как быстрое самосогревание влажного обмолоченного вороха, что может (особенно при сильной засоренности) существенно повлиять на их качество. Из-за неравномерности созревания семян влажность партий неоднородна. В тех случаях, когда активизация микобиоты происходит с преимуществом конкурентоспособных токсигенных видов, вероятно возникновение реальной угрозы очагового накопления микотоксинов.

В нашей стране для обеспечения безопасного использования семян подсолнечника в пищевых и кормовых целях необходимо пересмотреть подходы к регламентации содержания микотоксинов и ввести обоснованные критерии контроля. Очевидно, что действующие показатели не соответствуют реальной ситуации. В семенах, поставляемых на пищевые цели, ограничено содержание афлатоксина B_1 (5 мкг/кг, не более) (77-79), а на кормовые цели — афлатоксина B_1 (20 мкг/кг), охратоксина A (50 мкг/кг), T-2 токсина (100 мкг/кг), дезоксиниваленола (1000 мкг/кг) и зеараленона (1000 мкг/кг) (79). В подсолнечном шроте микотоксины не нормированы (80), а в жмыхе регламентированы T-2 токсин (не более 100 мкг/кг), дезок-

синиваленол (не более 1000 мкг/кг) и зеараленон (не более 1000 мкг/кг) (81).

Современной наукой накоплен значительный объем информации о пораженности микромицетами и встречаемости микотоксинов в других важнейших сельскохозяйственных растениях (сое и арахисе), которая также нуждается в обобщении и критическом анализе. Предпринимаются активные усилия по реализации аналогичного подхода для рапса, индивидуальный сегмент которого на современном рынке агропродукции постоянно растет (82). В отношении реже используемых, но весьма перспективных масличных и прядильных культур (клещевина, кунжут, сафлор, горчица, рыжик, крамбе, ляллеманция, хлопчатник, лен, кенаф) подобные исследования пока не проводились.

Фактические сведения о микотоксинах у вегетирующих растений подсолнечника пока что недостаточны для обсуждения проблемы. Однако, судя по первым экспериментальным данным, уже на начальной фазе роста, до формирования корзинок, происходит множественная контаминация, а в период созревания микотоксины распределяются по листьям, стеблям, корзинкам и семянкам неравномерно (74). В сравнении с зелеными частями зрелых растений (листьями, корзинками) загрязненность семянок оказалась весьма умеренной, что может быть общим феноменом, связанным с действием в растениях механизмов защиты генеративных органов от биоповреждений, который представляет научный интерес и заслуживает более детального рассмотрения. До сих пор не изучены процессы, связанные с появлением продуктов метаболизма микроскопических грибов в растениях подсолнечника от начала до конца вегетации, а также их локализация в растительном организме. Однако в последние годы начаты работы по идентификации низкомолекулярных соединений в железистых трихомах подсолнечника (83), которые, как предполагают, участвуют в защите организма от патогенов.

Таким образом, предпринятое в настоящей работе сопоставление научных фактов по контаминации семян подсолнечника токсигенными грибами и микотоксинами позволило получить убедительное подтверждение актуальности обсуждаемой проблемы и ее чрезвычайной сложности. Различия в составе микобиоты и компонентов комплекса токсинов достаточно контрастны по ареалам возделывания этой культуры. При продолжительном хранении семян до переработки весьма высока вероятность быстрого и малопредсказуемого обострения ситуации из-за появления конкурентных преимуществ у высокоактивных продуцентов. Для гарантии безопасного использования подсолнечника в пищевых и кормовых целях необходимо продолжить исследования, направленные на развитие научно обоснованного подхода к микотоксикологическому контролю семенного сырья и продуктов его переработки. Учет известных и накопление новых сведений об особенностях контаминации семян токсинобразующими грибами и микотоксинами по основным территориям промышленного выращивания подсолнечника позволят в будущем рекомендовать более эффективные профилактические мероприятия, способные снизить или предотвратить угрозы микогенных интоксикаций человека и животных.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Gagkaeva T.Yu., Yli-Mattila T. Genetic diversity of *Fusarium graminearum* in Europe and Asia. *Eur. J. Plant Pathol.*, 2004, 110: 550-562 (doi: 10.1023/B:EJPP.0000032395.11246.d0).
- Jørgensen K. Occurrence of ochratoxin A in commodities and processed food a review of EU occurrence data. Food Addit. Contam., 2005, Suppl. 1: 26-30 (doi: 10.1080/02652030500344811).
- 3. Scott P.M., Zhao W., Feng S., Lau B.P.-Y. Alternaria toxins alternariol and alternariol

- monomethyl ether in grain foods in Canada. *Mycotoxin Res.*, 2012, 28(4): 261-266 (doi: 10.1007/s12550-012-0141-z).
- 4. Prodi A., Salomoni D., Bertacchini E., Alkadri D., Pisi A., Tonti S., Alberti I., Dal Pra M., Pancaldi D., Covarelli L., Nipoti P. Determination of deoxynivalenol and nivalenol producing chemotypes of *Fusarium graminearum* isolated from durum wheat in different Italian regions. *Plant Breeding and Seed Science*, 2011, 64(1): 75-80 (doi: 10.2478/v10129-011-0030-1).
- Кононенко Г.П., Буркин А.А. Контаминация фузариотоксинами зерна кукурузы и риса на основных территориях возделывания культур в Российской Федерации. Сельскохозяйственная биология, 2008, 5: 88-91.
- 6. Кононенко Г.П., Буркин А.А. О контаминации фузариотоксинами зерна злаков, используемых на кормовые цели. *Сельскохозяйственная биология*, 2009, 4: 81-88.
- 7. Лукомец В.М., Пивень В.Т., Тишков Н.М. Болезни подсолнечника. BASF, 2011.
- 8. Turner W.B., Aldridge D.C. Fungal metabolites II. Academic Press, London—NY—Paris, 1983.
- 9. Weidenbörner M. Encyclopedia of food mycotoxins. Springer, Berlin-Heidelberg-NY, 2001.
- 10. Handbook of applied mycology. V. 5: Mycotoxins in ecological systems /D. Bhatnagar, E.B. Lillehoj, D.K. Arora (eds.). Marcel Dekker, Inc., NY—Basel—Hong Kong, 1992.
- 11. Banu N., Muthumary J.P. Mycobiota of sunflower seeds and samples collected from vegetable oil refinery located in Tamilnadu, India. *Mycol. Prog.*, 2005, 4(3): 195-204 (doi: 10.1007/s11557-006-0123-7).
- 12. Jeswal P., Kumar D. Mycobiota and mycotoxins in sunflower seeds in pre and post-harvest condition from Bihar state, India. *International Journal of Environmental Engineering Science and Technology Research*, 2013, 1(12): 328-339.
- 13. Dawar S., Ghaffar A. Detection of the seedborne mycoflora of sunflower. *Pakistan J. Bot.*, 1991, 23(2): 173-178.
- 14. Sharfun-Nahar S., Mushtaq M., Hashmi M.H. Seed-borne mycoflora of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pakistan J. Bot.*, 2005, 37: 451-457.
- 15. Abdullah S.K., Al-Mosawi K.A. Fungi associated with seeds of sunflower (*Helianthus annuus*) cultivars grown in Iraq. *Phytopathologia*, 2010, 57: 11-20.
- 16. Reddy K.R.N., Farhana N.I., Salleh B. Occurrence of *Aspergillus* spp. and aflatoxin B_1 in Malaysian foods used for human consumption. *J. Food Sci.*, 2011, 76: T99-T104 (doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02133.x).
- 17. Mngadi P.T., Govinden R., Odhav B. Co-occurring mycotoxins in animal feeds. *Afr. J. Biotechnol.*, 2008, 7(13): 2239-2243.
- Godika S., Agrawal K., Sing T. Fungi associated with seeds of sunflower *Helianthus annuus* (L.) grown in Rajasthan and their phytopathological effects. *Journal of Phytological Research*, 1996, 9: 61-63.
- 19. Zad J. A note on the mycoflora of sunflower seeds in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 1979, 15: 953-956.
- Ataga A.E., Akueshi C.O. Fungi associated with sunflower seed in Nigeria. Seed Research, 1996, 24(1): 64-65.
- 21. Siddig A.A. Study of seed-borne fungi of sunflower (Helianthus annuus L.). A thesis for the Degree of M.Sc. in Crop Protection. University of Khartoon, Khartoon, 2008.
- 22. Diaz G., Lozano M., Acuca A. Prevalence of *Aspergillus* species on selected Colombian animal feedstuffs and ability of *Aspergillus* section Flavi to produce aflatoxins. *World Mycotoxin J.*, 2008, 2(1): 31-34 (doi: 10.3920/WMJ2008.1041).
- 23. Mmongoyo J.A., Wu F., Linz J.E., Nair M.G., Mugula J.K., Tempelman R.J., Strasburg G.M. Aflatoxin levels in sunflower seeds and cakes collected from micro- and small-scale sunflower oil processors in Tanzania. *PLoS ONE*, 2017, 12(4): 1-14 (doi: 10.1371/journal.pone.0175801).
- Cole R.J., Cox R.H. Handbook of toxic fungal metabolites. Academic Press, NY-London— Toronto, 1981.
- 25. Suryanarayanan T.S., Suryanarayanan C.S. Fungi associated with stored sunflower seeds. *Journal of Economic and Taxonomic Botany*, 1990, 14(1): 174-176.
- 26. Dawar S., Ghaffar A. Detection of aflatoxin in sunflower seed. *Pakistan J. Bot.*, 1991, 23(1): 123-126.
- 27. Mabrouk S.S., El Shayeb N.M.A., Osman H.G. Probability of aflatoxin formation or inhibition on some Egyptian agricultural food commodities. *Toxicon*, 1979, 17(Suppl. 1): 111.
- 28. Beheshti H.R., Asadi M. Aflatoxins in sunflower and safflower seeds from Iran. *Food Addit. Contam.*, 2013, 6(1): 68-71 (doi: 10.1080/19393210.2012.725227).
- Balachandran C., Parthasarathy K.R. Occurrence of cyclopiazonic acid in feeds and feedstuffs in Tamil Nadu, India. *Mycopathologia*, 1996, 133(3): 159-162 (doi: 10.1007/BF02373023).
- 30. Devi S.A. A study on the mycotoxin isolated from sunflower [Helianthus annuus (L.)]. Mysore J. Agr. Sci., 1988, 22(Suppl. 1): 236.
- 31. Suganthi M.P.F., Ravi R., Purushothaman M.R., Mohan B., Vasanthakumar P. Occurrence of ochratoxin A in sunflower cake and evaluation of detoxified sunflower cake in poultry. *Indian Journal of Poultry Science*, 2003, 38(1): 37-41.

- 32. Khayoon W.S., Saad B., Yan C.B., Hashim N.H., Ali A.S.M., Salleh M.I., Salleh B. Determination of aflatoxins in animal feeds by HPLC with multifunctional column clean-up. *Food Chem.*, 2010, 118: 882-886 (doi: 10.1016/j.foodchem.2009.05.082).
- 33. El-Maraghy S.S.M., El-Maghraby O.M.O. Mycoflora and mycotoxins of sunflower *Helianthus annus* (L.) seeds in Egypt. 1. Sugar fungi and natural occurrence of mycotoxins. *Qatar University Science Journal*, 1986, 6: 107-121.
- Shahda W.T., Tarabeih A.M., Michail S.H., Hemeda A.A.H. Fungi associated with sunflower seeds in Egypt with reference to chemical control measures. *Journal of King Saud University. Ag*ricultural Sciences, 1991, 3: 287-293.
- 35. El-Wakil D.A. Seed-borne fungi of sunflower *Helianthus annuus* (L.) and their impact on oil quality. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 2014, 6(6): 38-44.
- Arafa M.K.M., Hassan M.H.A., Abdel-Sater M.A. Sunflower seed discoloration and its relation to seed quality, mycotoxin production, and emergence damping-off. Assiut Journal of Agricultural Sciences, 2000, 31(1): 231-247.
- 37. Casper H., Backer L. Aflatoxins in sunflowers. N. Dak. Farm Res., 1982, 40(1): 9.
- 38. Casper H.H., Backer L.F., Kunerth W. Survey of North Dakota sunflower seeds for aflatoxin. *Journal of the Association of the Official Analytical Chemists*, 1981, 64(1): 228-230.
- 39. Wood G.E. Aflatoxins in domestic and imported foods and feeds. *Journal of the Association of the Official Analytical Chemists*, 1989, 72(4): 543-548.
- 40. Ross P.F., Rice L.G., Casper H.H., Crenshaw J.D., Richard J.L. Novel occurrence of cyclopiazonic acid in sunflower seeds. *Vet. Hum. Toxicol.*, 1991, 33(3): 284-285.
- 41. Etcheverry M., Dalcero A., Chulze S., Apro N., Fusero S., Farnochi M. Studies on damage to sunflower seeds: water activity, germination, acidity index and aflatoxin B₁ presence. *Int. J. Food Microbiol.*, 1989, 8(4): 363-365.
- 42. Pozzi C.R., Braghini R., Arcaro J.R.P., Zorzete P., Israel A.L.M., Pozar I.O., Denucci S., Corrêa B. Mycoflora and occurrence of alternariol and alternariol monomethyl ether in Brazilian sunflower from sowing to harvest. *J. Agr. Food Chem.*, 2005, 53(14): 5824-5828 (doi: 10.1021/jf047884g).
- 43. Torres A., Chulze S., Varsavasky E., Rodriguez M. *Alternaria* metabolites in sunflower seeds. Incidence and effect of pesticides on their production. *Mycopathologia*, 1993, 121(1): 17-20 (doi: 10.1007/BF01103349).
- 44. Combina M., Dalcero A., Varsavasky E., Torres A., Etcheverry M., Rodriguez M., Gonzalez Quintana H. Effect of heat treatments on stability of alternariol, alternariol monomethyl ether and tenuazonic acid in sunflower flour. *Mycotoxin Res.*, 1999, 15(1): 33-38 (doi: 10.1007/BF02945212).
- 45. Škrinjar M.M., Petrović Z.M., Blagojev N.T., Šošo V.M. Sunflower seed for human consumption as a substrate for the growth of mycopopulations. *Acta Periodica Technologica*, 2012, 43: 115-121 (doi: 10.2298/APT1243115S).
- 46. Koponen H., Tulisalo U. Fungi found on Helianthus annuus in Finland. Karstenia, 1982, 22(1): 9-10.
- 47. Palmisano F., Visconti A., Bottalico A., Sibilia A. Profiling of *Alternaria* mycotoxins in food-stuffs by high-performance liquid chromatography with diode-array ultra-violet detection. *J. Chromatogr.*, 1989, 465(2): 305-313.
- 48. Palmisano F., Zambonin P.G., Visconti A., Bottalico A. Determination of *Alternaria* mycotoxins in foodstuffs by gradient elution liquid chromatography with electrochemical detection. *Chromatographia*, 1989, 27(9-10): 425-430.
- 49. Rafai P., Bata A., Jakab L., Ványi A. Evaluation of mycotoxin-contaminated cereals for their use in animal feeds in Hungary. *Food Addit. Contam.*, 2000, 17(9): 799-808 (doi: 10.1080/026520300415354).
- 50. Food and nutrition paper, perspective on mycotoxins. FAO, 1979: 44-120.
- 51. Finoli C., Vecchio A., Sirtori C., Vercesi A. Fungal contamination and mycotoxin occurrence in raw materials and finished feeds. *Tecnica Molitoria*, 2004, 55(3): 223-234.
- 52. Eklöf D. Survey of mycotoxin producing fungi in goji berries, oil seeds and walnuts on the Swedish market. Degree report. Uppsala University, 2013. Режим доступа: http://files.webb.uu.se/uploader/271/BIOMSc-13-049-Eklof-Disa-report.pdf. Без даты.
- 53. Lypez P., Venema D., Mol H., Spanjer M., de Stoppelaar J., Pfeiffer E., de Nijs M. *Alternaria* toxins and conjugates in selected foods in the Netherlands. *Food Control*, 2016, 69: 153-159 (doi: 10.1016/j.foodcont.2016.04.001).
- 54. Lypez P., Venema D., de Rijk T., de Kok A., Scholten J.M., Mol H.G.J., de Nijs M. Occurrence of *Alternaria* toxins in food products in the Netherlands. *Food Control*, 2016, 60: 196-204 (doi: 10.1016/j.foodcont.2015.07.032).
- 55. Soukup S.T., Kohn B.N., Pfeifer E., Geisen R., Metzler M., Bunzel M., Kulling S.E. Sulfoglucosides as novel modified forms of the mycotoxins alternariol and alternariol monomethyl ether. *J. Agr. Food Chem.*, 2016, 64(46): 8892-8901 (doi: 10.1021/acs.jafc.6b03120).
- Nawaz S., Scudamore K.A., Rainbird S.C. Mycotoxins in ingredients of animal feeding stuffs: I.
 Determination of Alternaria mycotoxins in oilseed rape meal and sunflower seed meal. Food Ad

- dit. Contam., 1997, 14(3): 249-262.
- 57. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of *Alternaria* toxins in feed and food. *EFSA Journal*, 2011, 9(10): 2407 (doi: 10.2903/j.efsa.2011.2407).
- 58. Ивебор М.В., Антонова Т.С. Грибы рода *Alternaria* Nees. на подсолнечнике. *Современная микология в России*, 2012, 3: 280-281.
- Горьковенко В.С., Смоляная Н.М. Структура патогенного комплекса микромицетов подсолнечника в условиях Краснодарского края. Современная микология в России, 2017, 7: 38-40.
- Выприцкая А.А. Микобиота подсолнечника в Тамбовской области: монография. Тамбов, 2015.
- 61. Ганнибал Ф.Б. Видовой состав, систематика и география возбудителей альтернариозов подсолнечника в России. *Вестник защиты растений*, 2011, 1: 13-19.
- 62. Якуткин В.И. Микобиота подсолнечника в России. *Современная микология в России*, 2012, 3: 325-326.
- 63. Маслиенко Л.В., Мурадосилова Н.В. Видовой состав грибов рода *Fusarium* на подсолнечнике. *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*, 2000, 123: 25-31.
- 64. Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Саукова С.Л. Распространение фузариоза подсолнечника в Краснодарском крае. *Доклады РАСХН*, 2002, 2: 6-8.
- 65. Котлярова И.А., Терещенко Г.А. Уточнение видового состава грибов рода *Fusarium* на подсолнечнике. *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*, 2013, 2(155-156): 115-123.
- 66. Выприцкая А.А., Пучнин А.М., Кузнецов А.А. Грибы рода *Fusarium* Link et Fr. на подсолнечнике в Тамбовской области. *Вестинк ТГУ*, 2012, 17(1): 394-398.
- 67. Буркин А.А., Кононенко Г.П. Микотоксины в кормовом сырье растительного происхождения. *Современная микология в России*, 2002, 1: 263.
- 68. Буркин А.А., Кононенко Г.П., Соболева Н.А. Контаминация зерновых кормов охратоксином А. *Доклады РАСХН*, 2005, 2: 47-49.
- 69. Kononenko G.P., Burkin A.A. A survey on the occurrence of citrinin in feeds and their ingredients in Russia. *Mycotoxin Research*, 2008, 24(1): 3-6.
- 70. Кононенко Г.П., Буркин А.А. Эмодин: контаминация зерновых кормов. *Успехи медицинской микологии*, 2007, 9: 88-89.
- 71. Кононенко Г.П., Буркин А.А. Токсинообразующая способность грибов рода *Aspergillus* и оценка загрязненности циклопиазоновой кислотой кормовой продукции. *Микология* и фитопатология, 2008, 42(2): 178-184.
- 72. Kononenko G.P., Burkin A.A. Peculiarities of feed contamination with citrinin and ochratoxin A. *Agricultural Sciences*, 2013, 4(1): 34-38.
- 73. Pfohl-Leszkowicz A., Manderville R.A. Ochratoxin A. An overview on toxicity and carcinogenicity in animals and humans. *Mol. Nutr. Food Res.*, 2007, 51(1): 61-99 (doi: 10.1002/mnfr.200600137).
- 74. Зотова Е.В., Кононенко Г.П., Буркин А.А. Микотоксины в подсолнечнике (*Helianthus annuus* L.): компонентный состав и распределение по растению. *Современная микология в России*, 2017, 7: 202-205.
- 75. Jurić V., Pelagić V.R., Ušćebrka G. Ochratoxin A in feedstuffs possible source of meat contamination. *Technologija Mesa*, 2001, 42(1/2): 83-86.
- 76. Назарько М.Д., Очередько Н.С. Влияние микотоксинов на качество семян подсолнечника. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, 2006, 2-3: 109-110.
- 77. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. М., 2008.
- 78. *ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой про- дукции»*. Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880.
- 79. *ТР ТС 015/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности зерна»*. Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 874. М., 2011.
- 80. ГОСТ 11246-96 Шрот подсолнечный. Технические условия. М., 1996.
- 81. ГОСТ 80-96 Жмых подсолнечный. Технические условия. М., 1996.
- 82. Егорова Т.А., Ленкова Т.Н. Рапс (*Brassica napus* L.) и перспективы его использования в кормлении птицы. *Сельскохозяйственная биология*, 2015, 50(2): 172-182 (doi: 10.15389/agrobiology.2015.2.172rus).
- 83. Spring O., Pfannstiel J., Klaiber I., Conrad J., Beifuß U., Apel L., Aschenbrenner A.K., Zipper R. The nonvolatile metabolome of sunflower linear glandular trichomes. *Phytochemistry*, 2015, 119: 83-89 (doi: 10.1016/j.phytochem.2015.09.007).

ФГБНУ Всероссийский НИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии, 123022 Россия, г. Москва, Звенигородское ш., 5,

Поступила в редакцию 19 июля 2017 года Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2018, V. 53, № 3, pp. 485-498

THE PROBLEM OF SAFE SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) USE FOR FOOD AND FODDER PURPOSES

(review)

G.P. Kononenko, M.I. Ustyuzhanina, A.A. Burkin

All-Russian Research Institute of Sanitary, Hygiene and Ecology, Federal Agency of Scientific Organizations, 5, Zvenigorodskoe sh., Moscow, 123022 Russia, e-mail kononenkogp@mail.ru (⊠ corresponding author), ustpuma@list.ru, aaburkin@mail.ru ORCID:

Kononenko G.P. orcid.org/0000-0002-9144-615X Burkin A.A. orcid.org/0000-0002-5674-2818 The authors declare no conflict of interests Received July 19, 2017 Ustyuzhanina M.I. orcid.org/0000-0001-7405-7577

doi: 10.15389/agrobiology.2018.3.485eng

Abstract

Risks associated with the contamination of agricultural products with mycotoxins have been and still remain under the close attention of the world's biological science. In recent decades, special concern was related to the state of the grain harvest, intended for food and feed purposes. In most grain-producing countries, significant progress has been made in the identification of toxinforming micromycetes and assessing the risk caused by the spread of mycotoxins (T.Yu. Gagkaeva et al., 2004; G.P. Kononenko et al., 2008, 2009; P.M. Scott et al., 2012). For the second most important group of agricultural plants, the oilseeds represented mainly by sunflower, soybean, peanut, rapeseed and cotton, there is a significant lag in such studies, which only has to be overcome. Helianthus annuus L. is cultivated everywhere, practically in all regions of the world, suitable for agriculture, and the area of its commercial cultivation is also extremely wide. The group of world leaders in the production of sunflower seeds includes the Russian Federation, Ukraine, Argentina, India and China, but this crop is also cultivated on a significant scale in other countries. The purpose of this review was to systematize and compare the world data on the composition of mycobiota and the nature of contamination by mycotoxins of sunflower (Helianthus annuus L.) seeds and the products of their processing. In surveys conducted in the Middle East, Africa, South and South-East Asia, the mycobiota of the seeds revealed the dominance of fungi of the genus Aspergillus with the typical species A. flavus and the frequent detection of A. niger, and for less common fungi Penicillium, Alternaria and Fusarium common regularities were not traced. In India, Pakistan, Tanzania, Malaysia, Iran and Egypt, the contamination of seeds by aflatoxins was assessed as very high, and the seed processing products for oil retained the same type of contamination, but with an increased detection rate and a more intensive accumulation of mycotoxins (S. Dawar et al., 1991; S.K. Abdullah et al., 2010; H.R. Beheshti et al., 2013; J.A. Mmongoyo et al., 2017). In a number of works, experimental confirmation was obtained that, when storing seeds, especially in conditions of high humidity and temperature, the accumulation of aflatoxins sharply increases (H.H. Casper et al., 1982; P. Jeswal et al., 2013). In the countries of South America (Argentina, Brazil), fungi of the genera Alternaria, Fusarium and alterniotoxins predominated in sunflower seeds (C.R. Pozzi et al., 2005). In European countries, the fungi of the genera Alternaria and Fusarium are also classified as the main components of the mycobiota of sunflower seeds, but the data on the species composition of these micromycetes and the contamination of the seeds with mycotoxins are very limited. Long-term studies performed in the Russian Federation show widespread distribution of fungi of the genus Alternaria on the vegetative plants and sunflower seeds, most often of small-spore unspecialized species A. tenuissima, A. alternata and 'A. infectoria' complex (M.V. Ivebor et al., 2012). Fusarium infection in the European area of cultivation is shown annually, while the species diversity is very significant (A.A. Vypritskaya, 2015). Nevertheless, until now, mycotoxicological evaluation of the yield of sunflower seeds in the main areas of commercial cultivation of the crop in our country has not been carried out. During monitoring surveys of sunflower oil cakes and meals, multiple combined contamination by mycotoxins was established with dominance of alternariol and ochratoxin A and a significant contribution of T-2 toxin, as well as citrinin, emodin, mycophenolic acid and cyclopiazonic acid (E.V. Zotova et al., 2017). The nature of the contamination of this feed raw material in the Russian Federation is fundamentally different from that described in the countries of the Middle East, Africa, South and South-East Asia, primarily due to the absence of aflatoxin B₁ and the significant occurrence of ochratoxin A, often in conjunction with citrinin. The generalization and comparative analysis of the broad database of scientific data, undertaken in this paper, allow us to identify ways of eliminating shortcomings in restricting the standardization of mycotoxins and to outline the most relevant areas for future research.

Keywords: *Helianthus annuus* L., sunflower, seeds, sunflower meal, oilcake, micromycetes, fungal diseases, mycotoxins.