ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 664.34, 631.95
DOI: https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-115-123

Токсиколого-биохимическая модель оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции

А.Д. Цикуниб✉, Ю.А. Демченко

Адыгейский государственный университет, г. Майкоп, Российская Федерация

Аннотация. *В настоящее время общемировой тенденцией является формирование рынков экологически чистой продукции, развитие которых сопряжено с целым рядом трудностей, связанных не только с недостаточностью знаний и практической подготовки в области экологического сельского хозяйства, но и с необходимостью совершенствования и развития методологической базы. Использование биотестов, основанных на ферментативных методах в токсиколого-биохимическом мониторинге сельскохозяйственной продукции, является одним из наиболее перспективных направлений. Цель работы заключалась в разработке токсиколого-биохимической модели оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции на примере масличных культур. Разработанная токсиколого-биохимическая модель оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции представляет собой единую систему, включающую тест-объект, стандартизованный по ключевым физико-химическим показателям, тест-маркер и тест-реакцию, а также методику выполнения качественной оценки, имеющую свой критериальный аппарат оценки воздействия факторов среды в соответствии с выбранными методами детекции. В качестве исследуемого объекта выбраны семена подсолнечника. Установлен органоспецифический фермент – липаза, для которой определены оптимальные условия для протекания тест-реакции, а также характер и условия влияния тест-субъектов. Разработан метод определения экологической чистоты семян подсолнечника на основе изменения активности органоспецифического фермента в сравнении с референтной величиной. Определены его аналитические характеристики. Предлагаемая нами модель имеет ряд инновационных подходов и отличительных особенностей, таких как использование исследуемого объекта (целостного растения, семян, плодов и т.д.) в качестве тест-объекта, содержащего тест-маркер со специфической тест-реакцией; экстраполяция понятия «референтная величина» в область токсиколого-биохимической оценки безопасности пищевого сырья; введение показателя «динамика изменения активности органоспецифического фермента» относительно референтной величины, позволяющего характеризовать продукцию как экологически чистую.*

Ключевые слова: *активность липазы, референтная величина, семена подсолнечника, токсиколого-биохимическая модель*

Благодарности. *Авторы работы выражают благодарность ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта» (г. Краснодар) за предоставление сортовых проб семян подсолнечника для проведения исследований.*

Для цитирования: Цикуниб А.Д., Демченко Ю.А. Токсиколого-биохимическая модель оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. N 1. С. 115–123. https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-115-123.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

A toxicological and biochemical model for assessing the ecological quality of agricultural products

Aminet D. Tsikunib✉, Yulia A. Demchenko

Adyghe State University, Maykop, Russian Federation

Abstract. *The development of organic agricultural markets is associated with a number of difficulties, including the lack of theoretical and practical knowledge in the field of organic farming. The application of enzymatic biotests in the toxicological and biochemical monitoring of agricultural products seems to be a promising direction. In this work, we develop a toxicological and biochemical model for assessing the ecological quality of agricultural products on the example of oilseed crops. The developed unified model includes a test-object, which is standardized according to the key physical and chemical parameters, a test-marker and a test-reaction, as well as a qualitative assessment technique. The latter is based on criteria for evaluating the impact of environmental factors in accordance with the selected detection methods. The developed model was tested on sunflower seeds. For lipase, which was established to be an organ-specific enzyme, the optimum conditions for a test reaction were determined, as well as the nature and conditions of the influence of*

© Цикуниб А.Д., Демченко Ю.А., 2023

test subjects. A method for determining the ecological quality of sunflower seeds based on changes in the activity of the organ-specific enzyme in comparison with the reference value was developed. The main analytical characteristics of the method were determined. The proposed model is characterized by a number of innovative features. Among them are the use of the object under study (an entire plant, seeds, fruits, etc.) as a test-object containing a test-marker with a specific test reaction; introduction of the 'reference value' concept into the field of toxicological and biochemical assessment of agricultural products; introduction of the indicator 'the dynamics of the activity of an organ-specific enzyme' relative to the reference value, which allows products to be characterized in terms of their ecological purity.

Keywords: *lipase activity, reference value, sunflower seeds, toxicological and biochemical model*

Acknowledgements. *The authors express their gratitude to the All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoit (Krasnodar), for the provision of varietal samples of sunflower seeds for research.*

For citation: Tsikunib A.D., Demchenko Yu.A. A toxicological and biochemical model for assessing the ecological quality of agricultural products. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology.* 2023;13(1):115-123. (In Russian). https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-115-123.

ВВЕДЕНИЕ

Продвижение идей здорового питания среди населения всех развитых стран является современной тенденцией и активно поддерживается не только государством, но и бизнесом, наукой, производством, а также самими потребителями. В качестве нового вектора устойчивого развития страны в последние годы выступает зеленая экономика [1, 2], направленная на производство экологически чистой и безопасной продукции, являющейся основой для обеспечения здоровья населения [3–6]. В официальном документе под названием «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденном Президентом Российской Федерации 30 апреля 2012 года, в качестве одной из приоритетных задач намечено формирование рынка экологичной продукции, технологий и оборудования, позволяющего производить экологически чистую продукцию. Однако переход на такого рода производство, несмотря на растущий спрос, сопряжен с целым рядом трудностей, связанных не только с недостаточностью знаний и практической подготовки в области экологического сельского хозяйства, но и с необходимостью совершенствования и развития методологической базы для оценки соответствия показателей качества пищевой продукции [7, 8], что особенно подчеркивается в «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», принятой Распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 года № 1364-р. В системе экологического мониторинга объектов окружающей среды (воды, почвы, воздуха) для комплексной оценки экологической безопасности наработан определенный опыт использования различных биотестов (биомаркеров), основанных на ферментативных реакциях [9–12], в то же время такой методологический подход для сельскохозяйственного сырья практически не применяется. Вместе с тем использование ферментативных методов в токсиколого-биохимическом мониторинге является одним из наиболее перспективных направлений благодаря высокой каталитической активности и специфичности действия биокатализаторов. Изменение ферментативной активности представляет собой ключевой сигнал в комплексе реакций живых организмов в ответ на воздействие химических загрязнителей различной природы [13].

Целью работы явилась разработка токсиколого-биохимической модели оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции на примере масличных культур.

Под предлагаемым нами термином «токсиколого-биохимическая модель» (ТБМ) оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции понимается единая система, включающая тест-объект, стандартизованный по ключевым физико-химическим показателям, тест-маркер и тест-реакцию, а также методику выполнения качественной оценки, имеющую свой критериальный аппарат оценки воздействия факторов среды в соответствии с выбранными методами детекции.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Тест-объектом выступили семена подсолнечника (n = 75) из коллекции Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур им. В.С. Пустовойта, представленные следующими сортами: Орешек, СПК, Юбилейный-60, Лакомка, Пионер, пробы с реперных точек агрохимцентра Республики Адыгея, заводские смеси, а также подсолнечник, выращенный на почве, пригодной для посадки однолетних масличных культур без применения химической обработки для борьбы с сорняками, вредителями и без внесения синтетических удобрений. Отбор проб проводили по ГОСТ 10852-86 в период с 2016 по 2019 гг. Оценку основных физико-химических показателей качества и безопасности семян подсолнечника проводили согласно следующим нормативным документам: кислотное число – по ГОСТ 10858-77, влажность – по ГОСТ 10856-96, масличная и сорная примесь – по ГОСТ 10854-2015, засоренность вредителями – по ГОСТ 10853-88, тяжелые металлы – по МУК 4.1.986-00 для кадмия и свинца, МУК 4.1.1472-2003 для ртути, ГОСТ Р 51766-2001 для мышьяка, пестициды – по МУК 6129-91, афлатоксин В1 – по ГОСТ 31748-2012. Активность липазы определяли общепринятым титриметрическим методом [14].

Определение тяжелых металлов проводили на приборе Квант-Z.ЭТА (ООО «Кортэк», Россия), пестициды и микотоксины – на приборе Agilent 1260 Infinity (Agilent Technologies Inc., США).

Контаминацию ядер семян подсолнечника тяжелыми металлами в модельных условиях осуществляли аликвотами водных растворов (5 мл) хлоридов ртути,

свинца, кадмия и мышьяка на уровне 0,5; 1,0; 2,0 и 4,0 предельно допустимых концентраций (ПДК) и их сочетаниями. Согласно ТР ТС 015/2011, ПДК свинца в семенах подсолнечника составляет 1,0 мг/кг, мышьяка – 0,3 мг/кг, ртути – 0,05 мг/кг, кадмия – 0,1 мг/кг.

Сообразно цели исследования и в соответствии с критериями ГОСТ 22391-2015 пробы семян подсолнечника были разделены на две группы: высококачественные (ВКСП) и экологически чистые (ЭЧСП). Критериями включения в группу ВКСП явились следующие параметры: влажность – не менее 6,5% и не более 8%; кислотное число – не более 0,8 мг КОН; сорная и масличная примеси – не более 1,5 и 3,5% соответственно; отсутствие пестицидов, радионуклидов, микотоксинов; уровень контаминации тяжелыми металлами не превышает 0,25 ПДК по каждому элементу. В группу ЭЧСП включены семена с такими же показателями качества и безопасности, но выращенные на экологически чистой территории без применения пестицидов.

За окончательный результат в расчетах принимали среднее арифметическое значение результатов пяти измерений, полученных в условиях повторяемости. Проверку дисперсии на однородность, статистические разбросы метода выполняли по критерию Фишера с использованием программного обеспечения Excel 2016 и Statistica 6.1.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

ТБМ оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции включает в себя 7 этапов (рис. 1).

I этап. Выбор анализируемого объекта и тест-объекта. В качестве анализируемого объекта выбраны семена масличных культур, в частности семена подсолнечника, как основное сырье для получения растительного масла, выступающего в качестве одного из ключевых компонентов здорового питания [15]. Выбор семян подсолнечника основывается на широкой распространенности данной культуры во многих регионах Российской Федерации, в том числе Республики Адыгея (рис. 2).

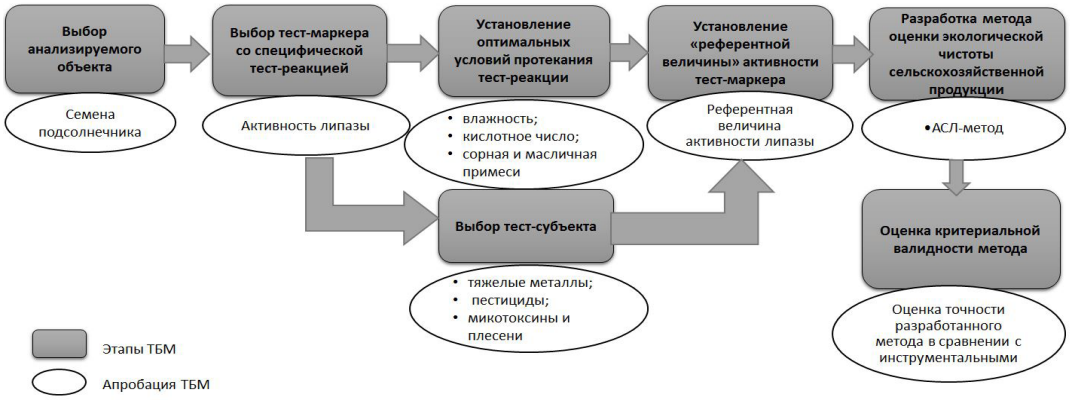

Рис. 1. Токсиколого-биохимическая модель оценки экологической чистоты сельскохозяйственного сырья

Fig. 1. Toxicological and biochemical model for assessing the ecological purity of agricultural raw materials

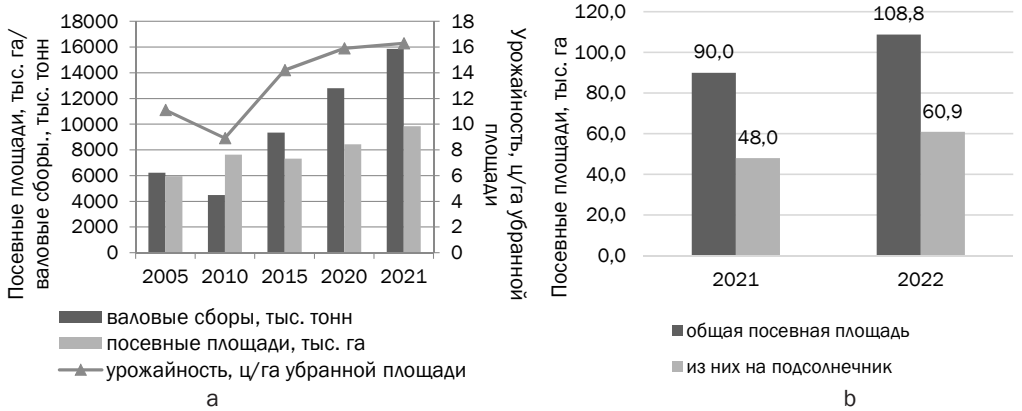

Рис. 2. Корреляция показателей валовых сборов, посевных площадей и урожайности подсолнечника в России в 2001–2021 гг.[1] (a); динамика роста посевных площадей в Республике Адыгея в 2021–2022 гг.[2] (b)

Fig. 2. Correlation of gross yields, cultivated areas and sunflower yield in Russia в 2001–2021 (a); growth dynamics of cultivated areas in the Republic of Adygea in в 2021–2022 (b)

[1]Бюллетень «Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2021 году» // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277 (08.02.2023).

[2]В Адыгее посевы подсолнечника для производства растительного масла увеличили почти на 30% // ТАСС [Электронный ресурс]. URL: https://tass.ru/ekonomika/14961921 (08.02.2023).

Уникальные биохимические свойства семян, которые на протяжении определенного времени сохраняют ключевые свойства живых объектов, позволяют рассматривать их не только как анализируемый объект, но и в качестве релевантных тест-объектов для оценки химического воздействия в экотоксикологии и биотестировании. Под термином «тест-объект» мы понимаем объект, обладающий чувствительностью к определенному фактору внешней среды либо к их комплексу, проявляющий достоверно измеряемую тест-реакцию. Выбранный нами тест-объект работает по аналогии с синтетическими биосенсорами, которые сохраняют селективность биорецептора к специфичному целевому аналиту даже при наличии других веществ в пробе [13].

II этап. Выбор тест-маркера со специфической тест-реакцией. Важнейшим условием при использовании того или иного тест-объекта является подбор специфичного и чувствительного биомаркера (тест-маркера). Под тест-маркером понимается органоспецифический фермент, характерный для тест-объекта, позволяющий оценить характер взаимодействия между биологической системой и фактором внешней среды (химическим, физическим или биологическим), а его функциональной характеристикой является способность к формированию специфического «ответа» на биохимическом уровне, который может обеспечить прямое доказательство воздействия стрессового фактора посредством тест-реакции. Важным параметром тест-реакции является возможность ее определения количественными методами, не требующими дорогого оборудования, реактивов и больших временных затрат. В предлагаемой нами модели тест-маркером выступает липаза, а тест-реакцией – динамика изменения активности липазы в условиях *in situ* в ответ на воздействие тест-субъекта.

Выбор тест-маркера основывался на мета-анализе научных данных о ферментных системах семян масличных культур, который показал, что при хранении и переработке семян подсолнечника наиболее важными с точки зрения их влияния на качество получаемых продуктов являются гидролитические ферменты, в первую очередь липазы. Активность и характер действия липазы имеет большое значение как в процессе хранения, так и переработки масличных семян, поскольку липаза, расщепляя триацилглицеролы, может привести к увеличению показателей кислотного числа масла в семенах, сокращению сроков хранения и ухудшению качества сырья [16].

III этап. Установление оптимальных условий протекания тест-реакции. Поскольку выбранный тест-маркер представляет собой сложно устроенную биологическую систему, то протекание тест-реакции будет зависеть от целого ряда факторов. Для семян сельскохозяйственных культур они определены, научно обоснованы и регламентированы в соответствующих нормативных документах. Так, важнейшими физико-химическими показателями для семян подсолнечника являются влажность, кислотное число, перекисное число, сорная и масличная примеси, засоренность вредителями. На основании проведенных нами исследований выявлена следующая закономерность: в семенах подсолнечника с влажностью не более 7,5% и масличной примесью не более 2,5% в течение месяца исходная активность липазы и кислотное число остаются стабильными (рис. 3).

При увеличении влажности на фоне засоренности масличной примесью более 2,5% активизируются гидролитические процессы и возрастает кислотное число тем больше, чем выше уровень влажности и масличной примеси. Установлено, что активность липазы находится в тесной обратно пропорциональной корреляционной зависимости от уровня масличной примеси и влажности, о чем свидетельствуют величины коэффициентов корреляции r = -0,96 и r = -0,90 соответственно.

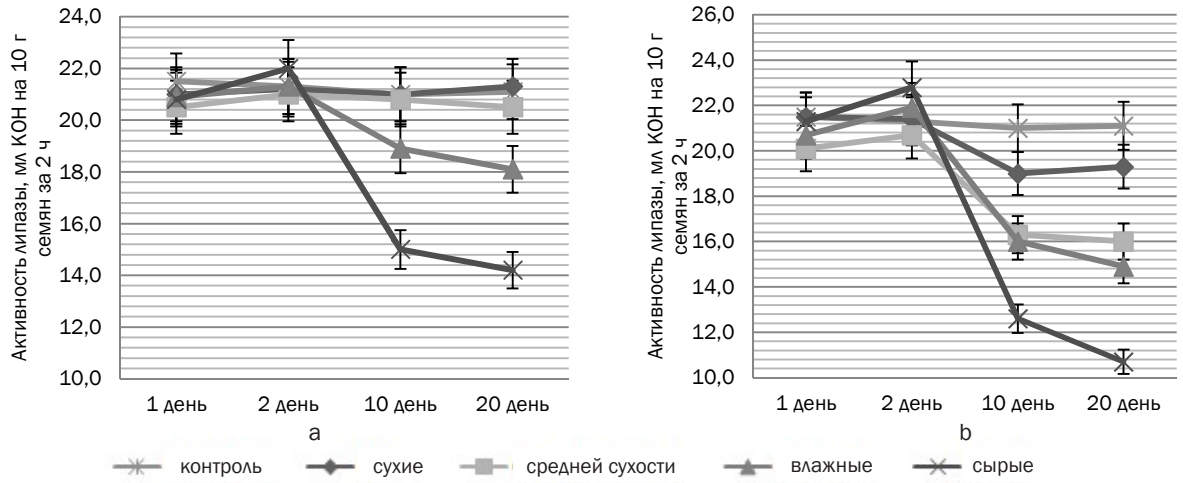

Рис. 3. Динамика активности липазы в семенах подсолнечника с различной масличной примесью в зависимости от продолжительности хранения и влажности: a – при 2,5%; b – при 7,5%

Fig. 3. Relationship between lipase activity in sunflower seeds with various oilseeds and storage duration and humidity: a – at 2.5%; b – at 7.5%

IV этап. Выбор тест-субъекта. В токсиколого-экологических исследованиях в качестве тест-субъекта принято выделять внешнее воздействие, обусловленное влиянием разного рода поллютантов, способных вызвать индикаторную реакцию с тест-маркером [17]. Наиболее активные и распространенные загрязняющие агенты установлены и регламентированы в разделе показателей безопасности по каждому виду сельскохозяйственной продукции. Тест-субъектами для семян масличных культур являются тяжелые металлы, микотоксины и пестициды. Анализ литературных данных, а также наши исследования показывают, что на выбранный нами тест-маркер наибольшее влияние оказывают тяжелые металлы, что связано с их способностью блокировать сульфгидрильные группы, находящиеся в активном центре фермента, и, как следствие, подавлять липолитическую активность. В наших исследованиях, проведенных в модельных условиях, токсичные элементы, такие как Pb, Hg, As, Cd, в концентрациях от 1,0 ПДК и выше показали обратно пропорциональную зависимость между содержанием токсичных элементов и активностью липазы с наибольшим ингибирующим эффектом ионов Hg++ [18]. Также установлено, что липаза дает выраженную тест-реакцию при суммарном содержании нескольких тяжелых металлов на уровне менее 1,0 ПДК. Так, суммарное присутствие в модельной пробе 2-х различных исследуемых металлов на уровне менее 0,5 ПДК каждого в большинстве случаев оказывает синергетический ингибирующей эффект на липазу в широком диапазоне (от 30 до 95% в зависимости от типа сочетаний ионов) [18] (рис. 4).

Проведенные ранее исследования показывают, что при инфицировании плесневым грибом *Aspergillus flavus*, продуцирующим афлатоксины, происходит активизация липолитических процессов в семенах масличных культур преимущественно за счет продуцируемой грибным мицелием липазы, активность которой начинает превышать собственную липолитическую активность семян, что приводит к быстрому росту кислотного числа масла [19–21]. В нашем примере эффект действия данного тест-субъекта выявляется на этапе установления физико-химических показателей качества масличного сырья, и такие пробы квалифицируются как нестандартные.

В соответствии с нормативными документами в семенах подсолнечника нормируется содержание пестицидов как запрещенных к применению (ГХЦГ, ДДТ и их изомеры), так и целого ряда разрешенных к применению пестицидов нового поколения [22, 23]. Определение остаточного количества пестицидов является одной из самых сложных аналитических задач в контроле экологической безопасности сельскохозяйственной продукции, что обусловлено рядом причин:

– большой и ежегодно расширяющийся ассортимент пестицидов (более 1000 наименований), каждый из которых имеет свои физико-химические свойства и токсикологические характеристики, требующие постоянного обновления, усовершенствования и оптимизации методов исследования;

– лаборатории, осуществляющие контроль за содержанием остаточных количеств пестицидов, оснащены оборудованием, позволяющим проводить исследования по принципу «вопрос-ответ», т.е. определяется конкретный пестицид. Таким образом, отсутствие полной и достоверной информации в сопроводительных документах об их применении, проведение дорогостоящих инструментальных исследований становится бессмысленным и неинформативным.

В предлагаемой нами модели важная задача – установить, какие из пестицидов могут повлиять на тест-объект, в соответствии с этим подбирается чувствительный тест-маркер. Для масличных культур среди всего многообразия пестицидов использование десикантов создает наибольший риск контакта с тест-маркером, поскольку их применение проводится в период физической спелости семян. Нами было установлено, что в семенах подсолнечника, подвер-

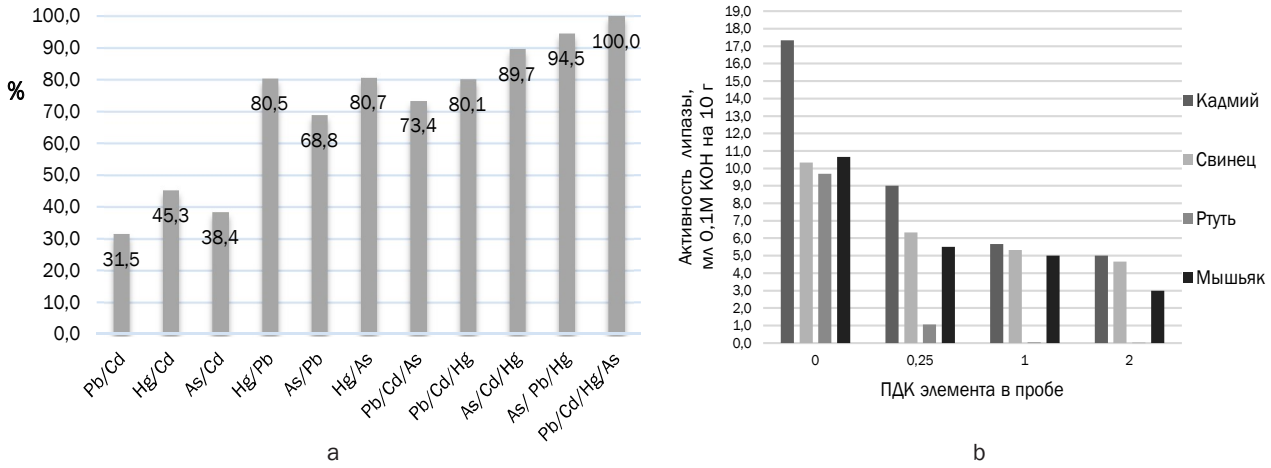

Рис. 4. Динамика активности липазы в зависимости от сочетаний токсичных элементов (a) и концентрации металла (b)

Fig. 4. Relationship between lipase activity and combinations of toxic elements (a) and metal concentration (b)

гнутых десикации глифосатом, активность липазы оказалась на уровне 10,6±0,3 мл КОН/10 г за 1 ч (таблица).

Как видно из таблицы, у семян, обработанных глифосатом, активность липазы и кислотное число существенно ниже, чем у семян, не подвергнутых десикации, в 1,7 и 3,8 раз соответственно, что может быть связано с тем, что в недозрелом обработанном подсолнечнике еще не завершились анаболические процессы, в том числе синтез органоспецифических ферментов и нейтрального жира.

V этап. Установление референтной величины активности тест-маркера. В качестве специфического критерия оценки сельскохозяйственного сырья как экологически чистого мы предлагаем ввести новый показатель – «референтная величина активности тест-маркера». По аналогии с подходами, принятыми в клинической биохимии для оценки состояния живых организмов [24], понятие референтной величины экстраполировано на значения маркерного органоспецифического фермента, характеризующего высокий уровень качества и безопасности тест-объекта, т.е. «здоровья», тест-объект рассматривается как «живой организм», в котором продолжают осуществляться биохимические процессы, напрямую влияющие на качественные показатели и функциональное состояние семян.

Показатель «референтная величина» впервые экспериментально рассчитан и применен по отношению к растительному ферменту. Установление референтной величины активности липазы проводили на группах ВКСП и ЭЧСП, соответствующих критериям ГОСТ 22391-89 и имеющих дополнительные ограничения по содержанию токсичных элементов и кислотному числу. На основании анализа полученных результатов было установлено значение референтной величины активности липазы в виде референтного предела не менее 15,2 мл КОН/10 г за 1 ч [25].

VI этап. Разработка биохимического метода оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции. На основе установленного референтного предела для изучаемого тест-маркера на данном этапе предполагается разработка методики оценки экологической безопасности сельскохозяйственного сырья. В нашем примере в качестве такого метода выступает определение активности собственной липазы *in situ* (АСЛ-метод), т.е. установление уровня контаминации семян подсолнечника поллютантами, основанное на сопоставлении активности тест-маркера в сравнении с установленным значением референтного предела, т.е. по степени и характеру изменения активности липазы судят об уровне внешнего воздействия на тест-объект [26].

VII этап. Оценка критериальной валидности метода. На данном этапе проводится оценка аналитических характеристик метода и проверка валидности. Апробация АСЛ-метода проводилась на заводских смесях семян подсолнечника, прошедших определение физико-химических показателей: кислотного числа, влажности, сорной и масличной примеси. После оценки содержания уровня токсичных веществ АСЛ-методом в тех же пробах проводили количественное определение тяжелых металлов, пестицидов и микотоксинов, предусмотренных нормативными документами.

Полученные результаты подвергали анализу путем расчета аналитических характеристик: аналитическая чувствительность, аналитическая специфичность, предсказательная ценность отрицательного результата, предсказательная ценность положительного результата. Метрологический анализ показал, что АСЛ-метод характеризуется высокими показателями аналитической чувствительности и предсказательной ценности отрицательного результата (86,2 и 89,5%), что позволяет рекомендовать метод для скрининговых исследований. Относительная погрешность метода составляет ±10,6%, погрешность сходимости – 14,8%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Скрининговая интегральная оценка экологической чистоты семян масличных культур на основании ТБМ не заменяет количественный химический анализ, но существенно его дополняет и может его предварять благодаря низкой стоимости, получению быстрого ответа на токсическое воздействие, возможности оценки большого числа проб, простоты лабораторного оборудования, работы с небольшими объемами проб, портативности, а также возможности большого выбора тест-объектов.

Предлагаемая нами ТБМ оценки экологической чистоты сельскохозяйственной продукции включает ряд инновационных подходов:

– оценка влияния негативных экологических факторов на объекты окружающей среды, в частности на воду, почву и др. (исследуемые объекты), предполагает использование или тест-объекта, или выделенного тест-маркера со специфической тест-реакцией. В нашем случае, когда речь идет об оценке экологической чистоты сельскохозяйственной продукции, исследуемый объект (целостное растение, семена, плоды и т.д.) сам выступает в качестве тест-объекта, содержащего тест-маркер со специфической тест-реакцией;

– экстраполяция понятия «референтная величина» из предметной области клинической биохимии в область токсиколого-биохимической оценки безопасности пищевого сырья;

– введение показателя «динамика изменения активности органоспецифического фермента» относительно референтной величины, характеризующего продукцию

Влияние десикации на активность липазы и кислотное число семян подсолнечника

Effect of desiccation on lipase activity and acid number of sunflower seeds

Показатель	Пробы	
	Семена, подвергнутые десикации	Семена без использования десиканта
Активность липазы, мл КОН/10 г за 1 ч	10,6±0,3	18,3±0,2
Кислотное число, мл КОН/г	2,3	0,6

как экологически чистую, и разработка экспресс-метода определения данного показателя, основанного на регистрации тест-реакции количественным методом, не требующим дорогого оборудования, реактивов и больших временных затрат.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Девлет-Гельды Г.К., Голиков В.Д. Зеленая экономика: новый вектор государственно-частного партнерства в прорывном развитии России // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. N 2. С. 28–34. https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-10360.

2. Pan W., Hu C., Tu H., Zhao C., Yu D., Zheng G. Assessing the green economy in China: an improved framework // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 209. P. 680–691. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.267.

3. Елисеева Л.Г., Махотина И.А., Калачев С.Л. Обеспечение государственного контроля за безопасностью пищевой продукции в России // Национальная безопасность / Nota Bene. 2019. N 2. С. 1–14. https://doi.org/10.7256/2454-0668.2019.2.29063.

4. Казанцева А.Н. Государственная политика формирования и развития рынка экологически чистой продукции: выбор инструментария // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. N 3. С. 138–142.

5. Золотухина Г.В. Экологически чистые натуральные продукты собственного производства, влияние их на здоровье и продолжительность жизни местного населения (на примере Республики Абхазия) // 21 век: фундаментальная наука и технологии. 2019. С. 44–50.

6. Belyakova Z.Yu., Makeeva I.A., Stratonova N.V., Pryanichnikova N.S., Bogatyrev A.N., Friedhelm D., et al. The role of organic products in implementing the state policy of healthy nutrition in the Russian Federation // Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6, no. 1. P. 4–13. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-4-13.

7. Скворцова Г.Г., Григорьева В.В. Проблемы обеспечения качества и безопасности пищевой продукции // Экономика и управление предприятиями, отраслями и комплексами на современном этапе глобализации: сб. науч. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (г. Тверь, 11 декабря 2019 г.). Тверь: ТГТУ, 2020. Ч. 2. С. 167–170.

8. Оганесянц Л.А., Хуршудян С.А., Галстян А.Г. Мониторинг качества пищевых продуктов – базовый элемент стратегии // Контроль качества продукции. 2018. N 4. С. 56–59.

9. Akkilic N., Geschwindner S., Höök F. Single-molecule biosensors: recent advances and applications // Biosensors and Bioelectronics. 2020. Vol. 151. P. 111944. https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111944.

10. Колосова Е.М., Сутормин О.С., Есимбекова Е.Н., Лоншакова-Мукина В.И., Кратасюк В.А. Комплексный ферментативный биотест для оценки загрязнения почвы // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489. С. 103–107. https://doi.org/10.31857/S0869-56524891103-107.

11. Janicki T., Długoński A., Felczak A., Długoński J., Krupiński M. Ecotoxicological estimation of 4-cumylphenol, 4-t-octylphenol, nonylphenol, and volatile leachate phenol degradation by the microscopic fungus *Umbelopsis isabellina* using a battery of biotests // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. N 7. P. 4093. https://doi.org/10.3390/ijerph19074093.

12. Dincer C., Bruch R., Costa-Rama E., Fernández-Abedul M.T., Merkoçi A., Manz A., et al. Disposable sensors in diagnostics, food, and environmental monitoring // Advanced Materials. 2019. Vol. 31, no. 30. P. 1806739. https://doi.org/10.1002/adma.201806739.

13. Esimbekova E.N., Torgashina I.G., Kalyabina V.P., Kratasyuk V.A. Enzymatic biotesting: scientific basis and application // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14. P. 290–304. https://doi.org/10.1134/S1995425521030069.

14. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Л.: Колос, 1987. 456 с.

15. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Шарафетдинов Х.Х. Здоровое питание – основа здорового образа жизни и профилактики хронических неинфекционных заболеваний // Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы. Воронеж: Научная книга, 2019. Т. 3. С. 203–227.

16. Жакова К.И., Бабодей В.Н., Пчельникова А.В. Масложировая отрасль. Обзор фундаментальных исследований // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2021. Т. 14. N 2. С. 60–73. https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-2(52)-60-73.

17. Шилов В.В., Маркова О.Л., Кузнецов А.В. Биомониторинг воздействия вредных химических веществ на основе современных биомаркеров. Обзор литературы // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. N 6. С. 591–596. http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-591-596.

18. Дьяченко Ю.А., Цикуниб А.Д. Влияние тяжелых металлов на активность липаз семян подсолнечника *in situ* // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2016. N 1. С. 64–68.

19. Цикуниб А.Д., Белоглазова Л.К. Микрофлора рапса и ее влияние на липидный комплекс семян // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1991. N 4-6. С. 20–22.

20. Ghafarifarsani H., Imani A., Niewold T.A., Pietsch-Schmied C., Moghanlou K.S. Synergistic toxicity of dietary aflatoxin B1 (AFB1) and zearalenone (ZEN) in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) is attenuated by anabolic effects // Aquaculture. 2021. Vol. 541. P. 736793. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736793.

21. Khaledi N., Dehshiri A., Hassani F., Zare L. Evaluation of effect of seed-borne fungi on germination, health and quality of native Fennel seed populations // Iranian Journal of Seed Sciences and Research. 2021. Vol. 8, no. 2. P. 129–147. https://doi.org/10.22124/JMS.2021.5215.

22. Марущак Е.С., Алексеев А.Л. Контроль содержания пестицидов в продуктах питания. Химическая

безопасность продуктов питания // Теории, школы и концепции устойчивого развития науки в современных условиях. 2021. С. 51–55.

23. Qin S., Lü X. Do large-scale farmers use more pesticides? Empirical evidence from rice farmers in five Chinese provinces // Journal of Integrative Agriculture. 2020. Vol. 19, no. 2. P. 590–599. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62864-9.

24. Камышников В.С. Дифференциация состояний «норма–патология». Методология установления референтных величин, диагностической и предсказательной информативности показателей лабораторных тестов: принципы оценки // Лабораторная диагностика. Восточная Европа. 2018. Т. 7. N 1. С. 9–25.

25. Дьяченко Ю.А., Цикуниб А.Д. Активность липазы как показатель высокого качества и экологической чистоты семян подсолнечника // Техника и технология пищевых производств. Стандартизация, сертификация, качество и безопасность. 2017. Т. 44. N 1. С.118–124.

26. Дьяченко Ю.А., Цикуниб А.Д. Использование в системе химико-экологического мониторинга и технологического контроля АСЛ-метода определения содержания токсичных элементов в семенах подсолнечника // Перспективы науки – 2016: IV Международный конкурс научно-исследовательских работ. Казань: Научно-образовательный центр «Знание», 2016. С. 36–40.

REFERENCES

1. Devlet-Geldy G.K., Golikov V.D. Green economy: new vector of public-private partnership in russia's breakthrough development. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika = Economy and Business: Theory and Practice.* 2019;(2):28-34. (In Russian). https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-10360.

2. Pan W., Hu C., Tu H., Zhao C., Yu D., Zheng G. Assessing the green economy in China: an improved framework. *Journal of Cleaner Production.* 2019;209:680-691. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.267.

3. Eliseeva L.G., Makhotina I.A., Kalachev S.L. Ensuring government control over food safety in Russia. *Natsional'naya bezopasnost' / Nota Bene.* 2019;(2):1-14. (In Russian). https://doi.org/10.7256/2454-0668.2019.2.29063.

4. Kazantseva A.N. State policy for the formation and development of the ecologically pure product market: choice of tools. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta.* 2020;(3):138-142. (In Russian).

5. Zolotukhina G.V. Ecologically clean natural products of own production, impact on the health and life expectancy of the population of the environment (on the territory of the Republic of Abkhazia). *21 vek: fundamental'naya nauka i tekhnologii.* 2019;44-50. (In Russian).

6. Belyakova Z.Yu., Makeeva I.A., Stratonova N.V., Pryanichnikova N.S., Bogatyrev A.N., Friedhelm D., et al. The role of organic products in implementing the state policy of healthy nutrition in the Russian Federation. *Foods and Raw Materials.* 2018;6(1):4-13. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-4-13.

7. Skvortsova G.G., Grigoreva V.V. Problems of ensuring the quality and safety of food products. In: *Ekonomika i upravlenie predpriyatiyami, otraslyami i kompleksami na sovremennom etape globalizatsii: sbornik nauchnykh trudov V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Economics and management of enterprises, industries and complexes at the present stage of globalization: a collection of scientific papers in the V International Scientific and Practical Conference.* 11 December 2019, Tver'. Tver': TGTU; 2020, vol. 2, p. 167-170. (In Russian).

8. Oganesyants L.A., Khurshudyan S.A., Galstyan A.G. Food quality monitoring is a basic element of the strategy. *Kontrol' kachestva produktsii = Production Quality Control.* 2018;(4):56-59. (In Russian).

9. Akkilic N., Geschwindner S., Höök F. Single-molecule biosensors: recent advances and applications. *Biosensors and Bioelectronics.* 2020;151:111944. https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111944.

10. Kolosova E.M., Sutormin O.S., Esimbekova E.N., Lonshakova-Mukina V.I., Kratasyuk V.A. Set of enzymatic bioassays for assessment of soil contamination. *Doklady Akademii nauk = Doklady Biological Sciences.* 2019;489:103-107. (In Russian). https://doi.org/10.31857/S0869-56524891103-107.

11. Janicki T., Długoński A., Felczak A., Długoński J., Krupiński M. Ecotoxicological estimation of 4-cumylphenol, 4-t-octylphenol, nonylphenol, and volatile leachate phenol degradation by the microscopic fungus *Umbelopsis isabellina* using a battery of biotests. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2022;19(7):4093. https://doi.org/10.3390/ijerph19074093.

12. Dincer C., Bruch R., Costa-Rama E., Fernández-Abedul M.T., Merkoçi A., Manz A., et al. Disposable sensors in diagnostics, food, and environmental monitoring. *Advanced Materials.* 2019;31(30):1806739. https://doi.org/10.1002/adma.201806739.

13. Esimbekova E.N., Torgashina I.G., Kalyabina V.P., Kratasyuk V.A. Enzymatic biotesting: scientific basis and application. *Contemporary Problems of Ecology.* 2021;14:290-304. https://doi.org/10.1134/S1995425521030069.

14. Ermakov A.I. (ed.) *Methods of biochemical research of plants.* Leningrad: Kolos; 1987. 456 p. (In Russian).

15. Tutel'yan V.A., Nikityuk D.B., Sharafetdinov Kh.Kh. Healthy nutrition is the basis of a healthy lifestyle and prevention of chronic non-communicable diseases. In: *Zdorov'e molodezhi: novye vyzovy i perspektivy = Youth health: new challenges and perspectives.* Voronezh: Nauchnaya kniga; 2019, vol. 3, p. 203-227. (In Russian).

16. Zhakova K.I., Babodey V.N., Pchelnikova A.V. Oil and food industry. Review of fundamental research. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii = Food Industry: Science and Technology.* 2021;14(2):60-73. (In Russian). https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-2(52)-60-73.

17. Shilov V.V., Markova O.L., Kuznetsov A.V. Biomonitoring of influence of harmful chemicals on the basis of the modern biomarkers. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation.* 2019;98(6):591-596. (In

Russian). https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-6-591-596.

18. Dyachenko Y.A., Tsikunib A.D. Effect of heavy metals on activity of lipase sunflower seeds *in situ*. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy.* 2016;(1):64-68. (In Russian).

19. Tsikunib A.D., Beloglazova L.K. Rape microflora and its effect on the lipid complex of seeds. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya = Izvestia Vuzov. Food Technology.* 1991;(4-6):20-22. (In Russian).

20. Ghafarifarsani H., Imani A., Niewold T.A., Pietsch-Schmied C., Moghanlou K.S. Synergistic toxicity of dietary aflatoxin B1 (AFB1) and zearalenone (ZEN) in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) is attenuated by anabolic effects. *Aquaculture.* 2021;541:736793. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736793.

21. Khaledi N., Dehshiri A., Hassani F., Zare L. Evaluation of effect of seed-borne fungi on germination, health and quality of native Fennel seed populations. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research.* 2021;8(2):129-147. https://doi.org/10.22124/JMS.2021.5215.

22. Marushchak E.S., Alekseev A.L. Monitoring the content of pesticides in food. Chemical safety of food. *Teorii, shkoly i kontseptsii ustoichivogo razvitiya nauki v sovremennykh usloviyakh.* 2021;51-55. (In Russian).

23. Qin S., Lü X. Do large-scale farmers use more pesticides? Empirical evidence from rice farmers in five Chinese provinces. *Journal of Integrative Agriculture.* 2020;19(2):590-599. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62864-9.

24. Kamyshnikov V.S. Differentiation of states "norm-pathology". Methodology for establishing reference values, diagnostic and predictive information content of laboratory test indicators: assessment principles. *Laboratornaya diagnostika. Vostochnaya Evropa = Laboratory Diagnostics Eastern Europe.* 2018;7(1):9-25. (In Russian).

25. Dyachenko Yu.A., Tsikunib A.D. Lipase activity as factor of high quality and ecological purity of sunflower seeds. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. Standartizatsiya, sertifikatsiya, kachestvo i bezopasnost' = Food Processing: Techniques and Technology.* 2017;44(1):118-124. (In Russian).

26. Dyachenko Yu.A., Tsikunib A.D. Use in the system of chemical-ecological monitoring and technological control of the ASL method for determining the content of toxic elements in sunflower seeds. In: *Perspektivy nauki – 2016: IV Mezhdunarodnyi konkurs nauchno-issledovatel'skikh rabot = Perspectives of Science – 2016: IV International Competition of Research Papers.* Kazan': Nauchno-obrazovatel'nyi tsentr "Znanie"; 2016, p. 36-40. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Цикуниб Аминет Джахфаровна,
д.б.н., профессор, заведующая лабораторией нутрициологии, экологии и биотехнологии,
Адыгейский государственный университет,
385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 208,
Российская Федерация,
✉cikunib58@mail.ru
http://orcid.org/0000-0002-7491-0539

Демченко Юлия Александровна,
к.т.н., эксперт-биохимик,
Адыгейский государственный университет,
385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 208,
Российская Федерация,
jesi-001@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3033-1145

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 22.11.2022.
Одобрена после рецензирования 31.01.2023.
Принята к публикации 28.02.2023.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aminet D. Tsikunib,
Dr. Sci. (Biology), Professor,
Head of the Laboratory of Nutritionology,
Ecology and Biotechnology,
Adyghe State University,
208, Pervomaiskaya St., Maykop, 385000,
Russian Federation,
✉cikunib58@mail.ru
http://orcid.org/0000-0002-7491-0539

Yulia A. Demchenko,
Cand. Sci. (Engineering), Expert Biochemist,
Adyghe State University,
208, Pervomaiskaya St., Maykop, 385000,
Russian Federation,
jesi-001@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-3033-1145

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 22.11.2022.
Approved after reviewing 31.01.2023.
Accepted for publication 28.02.2023.