

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКОВ ПРИСУТСТВИЯ МИКОТОКСИНОВ В ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

И.Ю. Потороко, *potorokoi@susu.ru*

А.А. Руськина, *ruskinaaa@susu.ru*

В. Анйум, *aniumv@susu.ru*

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Вторичные метаболиты токсигенных плесеней, как природные контаминанты, в случае присутствия в составе пищевых продуктов и кормов представляют огромную проблему для обеспечения задач продовольственной безопасности. Содержание микотоксинов в пищевых продуктах строго регламентируется, однако интенсификация технологий возделывания и глобальные изменения климата провоцируют для зерновых культур увеличение рисков их накопления. Особую угрозу представляют маскированные формы микотоксинов, связанные с макромолекулами зерновых культур. В данном исследовании изучается возможность образования устойчивых комплексов микотоксинов, маскированных в белковые и крахмальные конструкции зерна пшеницы. С использованием метода молекулярного докинг-моделирования описана конструкция на уровне углеводно-протеиназного комплекса, что определяет необходимость разработки технологий мягких воздействий для процессов детоксикации зерновых масс. В рамках настоящего исследования с целью формирования достоверной оценки глубины взаимодействия микотоксинов с протеинами и углеводами в пищевой системе был проведен прогностический анализ. Установлен механизм встраивания в белково-углеводный комплекс микотоксина ZEN (метаболит *Fusarium spp.*). 3D-модели конструкций наглядно отображают типы связей, а сравнивая значения скоринговых функций, можно увидеть, что именно ZEN имеет лучшие стыковки с белками-рецепторами клейковинного комплекса зерна пшеницы: Glutenin Score XP –7.9 ккал/моль и α -Gliadin Score XP –8.0 ккал/моль. Таким образом, прогностическая оценка возможных механизмов образования устойчивых комплексов микотоксинов и макромолекул зерна, в случае его контаминации, позволяет говорить о наиболее вероятном связывании микотоксинов с белковыми конструкциями клейковинного комплекса и требует особого внимания для обеспечения биобезопасности готовых продукции.

Ключевые слова: микотоксины, маскированные формы, белок, крахмал, молекулярный докинг

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 24-16-20028.

Для цитирования: Потороко И.Ю., Руськина А.А., Анйум В. Прогнозирование рисков присутствия микотоксинов в пищевых системах, полученных на основе зернового сырья // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2024. Т. 12, № 2. С. 38–47. DOI: 10.14529/food240205

Original article
DOI: 10.14529/food240205

PREDICTING THE RISKS OF THE PRESENCE OF MYCOTOXINS IN FOOD SYSTEMS OF GRAIN RAW MATERIALS

I.Yu. Potoroko, *potorokoi@susu.ru*

A.A. Ruskina, *ruskinaaa@susu.ru*

V. Anjum, *animumv@susu.ru*

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Secondary metabolites of toxigenic molds, as natural contaminants, if present in food and feed, pose a huge problem to ensure food safety. The content of mycotoxins in food products is strictly regulated, however, the intensification of cultivation technologies and global climate change provoke an increase in the risks of their accumulation for grain crops. Masked forms of mycotoxins associated with macromolecules of grain crops pose a particular threat. This study examines the possibility of the formation of stable mycotoxin complexes masked in protein and starch structures of wheat grain. Using the method of molecular docking modeling, a structure at the level of a carbohydrate-proteinase complex is described, which determines the need to develop soft impact technologies for the detoxification of grain masses. In the framework of this study, a prognostic analysis was carried out in order to form a reliable assessment of the depth of interaction of mycotoxins with proteins and carbohydrates in the food system. The mechanism of incorporation of mycotoxin ZEN (a metabolite of *Fusarium spp*) into the protein-carbohydrate complex has been established. 3D structural models clearly display the types of interactions, and comparing the values of scoring functions, it can be seen that ZEN has the best connections with the receptor proteins of the gluten complex of wheat grain: Glutenin Score XP -7.9 kcal/mol and α -Gliadin Score XP -8.0 kcal/mol. Thus, a prognostic assessment of the possible mechanisms of formation of stable complexes of mycotoxins and macromolecules of grain, in case of contamination, suggests the most likely binding of mycotoxins to protein structures of the gluten complex and requires special attention to ensure the biosafety of finished products.

Keywords: *mycotoxins, masked forms, protein, starch, molecular docking*

Acknowledgments. The article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 24-16-20028.

For citation: Potoroko I.Yu., Ruskina A.A., Anjum V. Predicting the risks of the presence of mycotoxins in food systems of grain raw materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 38–47. (In Russ.) DOI: 10.14529/food240205

Введение

Агропромышленный комплекс Уральского федерального округа (АПК УрФО) является отраслью, которая обеспечивает значительную часть внутреннего регионального стратегического продукта. Известно, что в период летней засухи и осенних дождей прошлого 2023 года значительная часть урожая оказалась низкого качества, с рисками присутствия токсигенных плесеней и их вторичных метаболитов. Возникший погодный коллапс, который пришелся на уборочный период, охватил значительную часть территорий АПК УрФО, отведенных под возделывание

зерновых культур, и спровоцировал проблемы, которые отразились на состоянии урожая зерновых и зернобобовых культур. Для сохранения технологической устойчивости перерабатывающей отрасли АПК за счет государственных субсидий будут компенсированы затраты производителей пшеницы, ржи, кукурузы и ячменя. В приоритетном порядке средства получают аграрии, чьи доходы ниже среднероссийских, в том числе из-за специфики климатических условий [3]. Обозначенная ситуация применительно к зерновому сырью требует детального изучения с целью готовности производителей сырья к сохранению

объемов полученного урожая на всех этапах товародвижения в цепочке от поля до конечного потребителя.

Экстремальные погодные условия на фоне изменения климата стали причинами не только утраты качественных характеристик зерна, но и возможности контаминации микотоксинами, ввиду высокой вероятности развития токсигенных плесеней (*Alternaria alternate*, *Aspergillus candidus*, *Fusarium spp*, *Penicillium spp* и др.), и как следствие, накопление в зерновой массе их вторичных метаболитов (Афлатоксин В, Дезоксиниваленол (DON), Т-2 токсин, Зеараленон (ZEN), Охратоксин А) [4, 10, 13, 14]. Триггером также являются интенсивные технологии возделывания, которые на фоне экстремальных условий изменения климата провоцируют для зерновых культур увеличение числа фитопатогенов, в том числе высокотоксичных микромицетов и их вторичных метаболитов [6, 9]. Последствия контаминации микотоксинами могут проявляться через десятилетие и в различной этиологии: нервные расстройства, подавление иммунной системы, снижение репродуктивных способностей, развития злокачественных новообразований [4].

Как правило, споры токсигенных плесеней сосредоточены на поверхности зерновки, но в процессе переработки наблюдается их перераспределение по структурным элементам, а затем миграция в продукты переработки и проявление на различных этапах товародвижения [1, 7, 11, 16]. Рост рисков биоконтаминации продуктов переработки зерна возможен за счет значительного увеличения встречаемости новых форм микотоксинов с высоким уровнем токсичности, а также различных типов их комбинаций.

Наибольший интерес в связи с распространением в зерновых массах и продуктах их переработки вызывают вторичные метаболиты *Fusarium spp*, в частности: ниваленол (NIV), боверицин (BEA) и энниатин (ENN) А, ENN А1, ENN В и ENN В1. Отмечены чрезвычайно высокие вариативности концентрации их накопления в зерновых массах. Так, концентрации NIV, BEA и ENN во всех сельскохозяйственных товарах варьировались от 0,1 до 15 600, от 0,01 до 8854 и от 0,25 до 10 000 мкг/кг соответственно [8].

Для прогнозирования рисков присутствия микотоксинов в пищевых системах зернового сырья возможно применение метода молеку-

лярного докинг-моделирования, который основан на прогнозировании взаимного положения, ориентации и конформаций молекул, образующий молекулярный комплекс пищевой матрицы. Молекулярный докинг часто используется в виртуальном скрининге как часть рационального дизайна комплекса молекул, на изучение которых направлено данное исследование. Определение наиболее устойчивых связей позволит на супрамолекулярном уровне установить целенаправленные подходы их выделения из системы для последующей инактивации [2, 15].

Цель исследования – на основе молекулярного докинг моделирования в системе лиганд-рецептор осуществить прогнозирование рисков устойчивого присутствия микотоксинов в пищевых системах белковых и крахмальных конструкций зернового сырья.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были определены микотоксины, продуцируемые идентифицированными в пробах зерна пшеницы токсигенными плесенями: *Alternaria alternate*; *Aspergillus candidus*; *Fusarium spp* [4, 8, 12].

Среди известных факторов риска безопасности зерновой продукции токсичные метаболиты микроскопических грибов: фумонизины (FUM), дезоксиниваленол (DON), афлатоксины (AF), зеараленон (ZEN), токсин Т-2/HT-2 и охратоксины (OT) (табл. 1), которые по-прежнему строго регламентируются как важные предикторы с точки зрения безопасности пищевых продуктов и кормов из-за их частого предельного накопления в массе продукта [5, 12, 15].

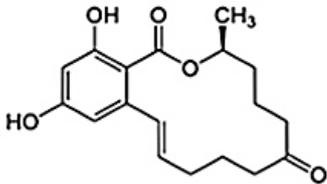
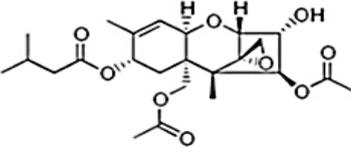
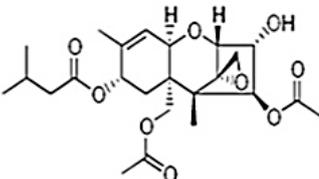
Для прогнозирования возможности образования маскированных форм микотоксинов в структуре зернового сырья применили метод *in silico*. Для проведения анализа стыков использовали следующую методологию.

Подготовка лиганда с соблюдением правила Липинского. Исключение по пяти правилам: молекулярная масса менее 500 Да; высокая липофильность (выраженная как LogP менее 5); менее 5 доноров водородных связей; менее 10 акцепторов водородных связей; молярная рефракция от 40 до 130.

Загрузка лигандов. Лиганды загружали в виде трехмерной структуры SDF-файлов из PubChem, оптимизированной с использованием Ligands Input в AD 4.2. Молекулы оптимизированного лиганда были состыкованы с

Таблица 1

Общие сведения и риски токсичности отдельных видов микотоксинов

1	Зеараленон (ZEN)	 ZEN	ZEN опасен для различных органов, включая печень, почки, иммунные клетки и кишечника
2	Дезоксиниваленол (DON)	 DON	DON воздействует на рибосомы, вызывая риботоксический стресс, воспалительные реакции и апоптоз
3	T-2/HT-2	 T-2 toxin	T-2, может вызвать алиментарно-токсическую алейкию с тяжелыми симптомами: некротическая стенокардия, лихорадка, судороги, включая летальный исход

очищенными рецепторами с помощью AutoDock 4.2 как SDF-файлы 3D-структуры из PubChem и оптимизированы с использованием Ligands Input в AD 4.2 [5].

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках настоящего исследования с целью формирования достоверной оценки глубины взаимодействия микотоксинов с протеинами и углеводами в пищевой системе был проведен прогностический анализ с целью установления механизма встраивания в белково-углеводный комплекс микотоксинов *Fusarium spp.* Полученные 3D-модели конструкций с белком в присутствии фракций крахмала позволили осуществить прогнозирование возможности образования устойчивых связей микотоксинов в конструкциях эндосперма зерна.

Для оценки клейковинного комплекса зерна пшеницы, определяющего функционально-

технологические свойства и пригодность в технологиях переработки, были получены скрининговые оценки (табл. 2) для трех наиболее критичных с точки зрения распространенности микотоксинов (ZEN, DON, T-2 Toxin), но именно ZEN показал самые высокие энергии взаимодействия с клейковинными белками.

3D-модели конструкций (рис. 1 и 2) наглядно фиксируют типы взаимодействий, а сравнивая значения скоринговых функций можно увидеть, что именно ZEN имеет лучшие стыковки с белками-рецепторами клейковинного комплекса зерна пшеницы: Glutenin Score XP $-7,9$ ккал/моль; α - Gliadin Score XP $-8,0$ ккал/моль.

Было установлено, что основная конструкция ZEN формируется на уровне белков клейковинного комплекса с наиболее сильными связями Score XP на уровне $-8,0$ ккал/моль и $-7,9$ ккал/моль соответственно.

Таблица 2

Результаты молекулярного докинга исследуемых соединений микотоксинов

№ п/п	Лиганды	Рецептор	Score XP		
			DON	T-2	ZEN
1	Glutenin	6PX6	-6,4	-6,5	-7,9
2	α - Gliadin	8W83	-7,9	-7,1	-8,0

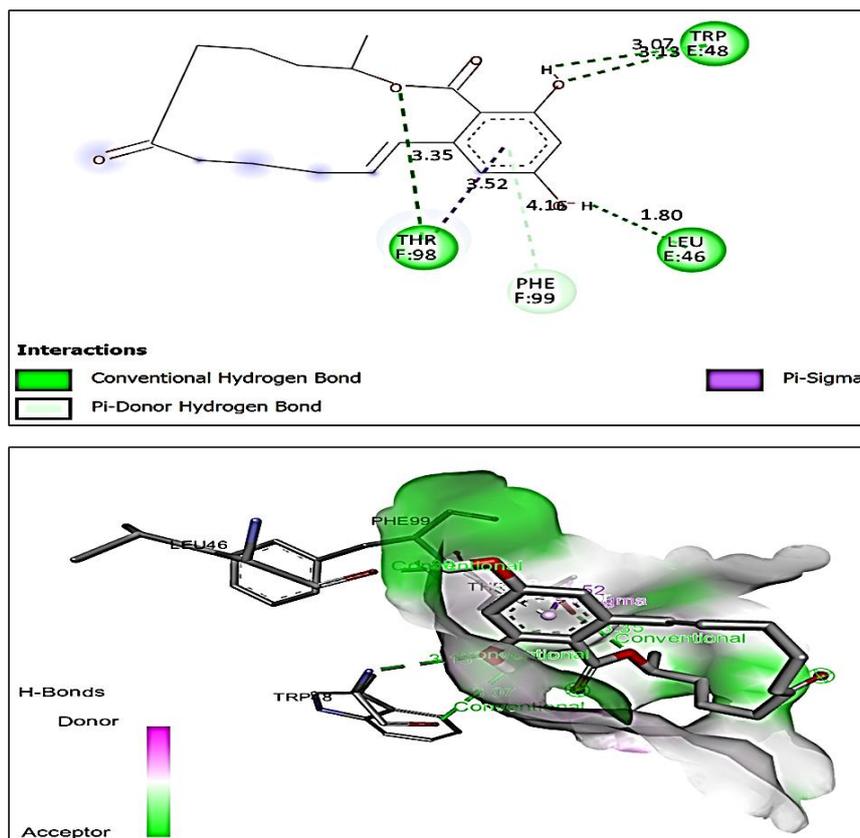


Рис. 1. Взаимодействие соединения α -Gliadin (8W83) с ZEN Binding Energy (–8 ккал/моль)

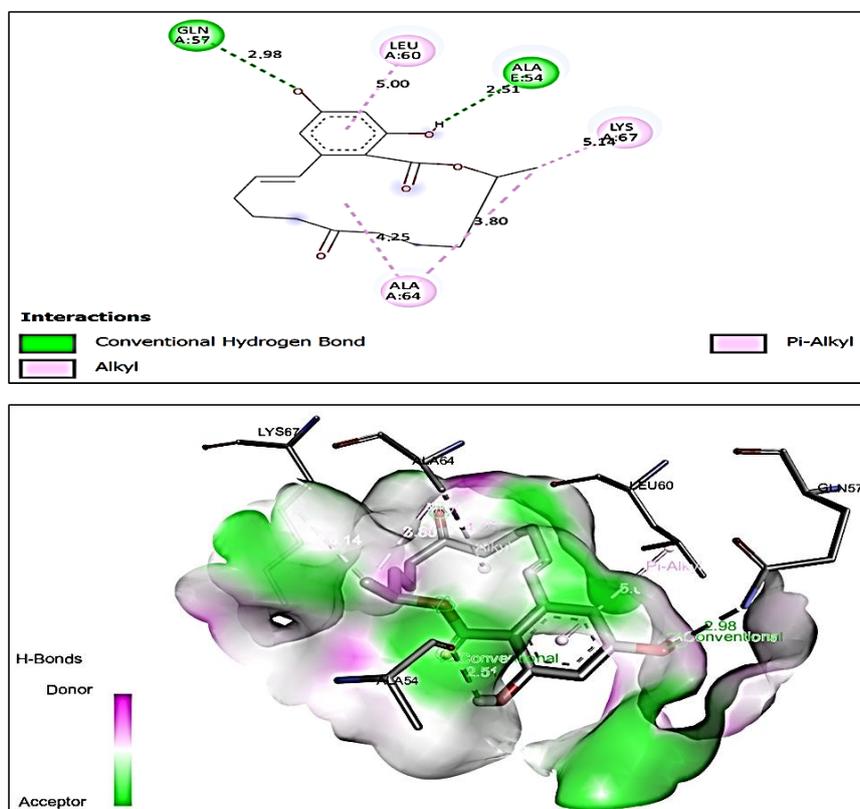


Рис. 2. Взаимодействие соединения Glutenin (6PX6) с ZEN Binding Energy (–7,9 ккал/моль)

Клейковинный комплекс зерна пшеницы находится в распределенной крахмальной системе эндосперма. В этой связи в числе решаемых задач необходимо было провести прогноз возможного изменения Score XP в присутствии основных крахмальных фракций. В табл. 3 приведены значения скоринговых функций ZEN в белково-углеводном комплексе с амилозой и амилопектином.

Замечено, что для ZEN (зеараленон) энергия связи изменяется в присутствии фракций углеводов по-разному: для амилозы (рис. 3 и 4) Score XP снижается до $-7,0$ ккал/моль для рецептора 6PX6 и повышается

до $-8,1$ ккал/моль для рецептора 8W83. Для амилопектина (рис. 5 и 6) Score XP составляет $-8,1$ ккал/моль для рецепторов 6PX6 и 8W83.

Таким образом, прогнозирование рисков присутствия микотоксинов в пищевых системах, полученных на основе зернового сырья в условиях изменения климата, доказывает формирование возможных механизмов образования устойчивых комплексов микотоксинов и макромолекул протеинов и углеводов зерна. Следует отметить, что углеводы (фракции крахмала) по-разному влияют на прочность формируемых с микотоксинами связей. Так, связи ZEN с протеином α -Gliadin

Таблица 3
Результаты молекулярного докинга зеараленон (ZEN) в белково-углеводном комплексе
Binding Energy (ккал/моль)

№ п/п	Лиганды	Рецептор	(ZEN)/Score XP
1	Amylose	6PX6	-7,7
2	Amylose	8W83	-8,1
3	Amylopectin	6PX6	-8,1
4	Amylopectin	8W83	-8,1

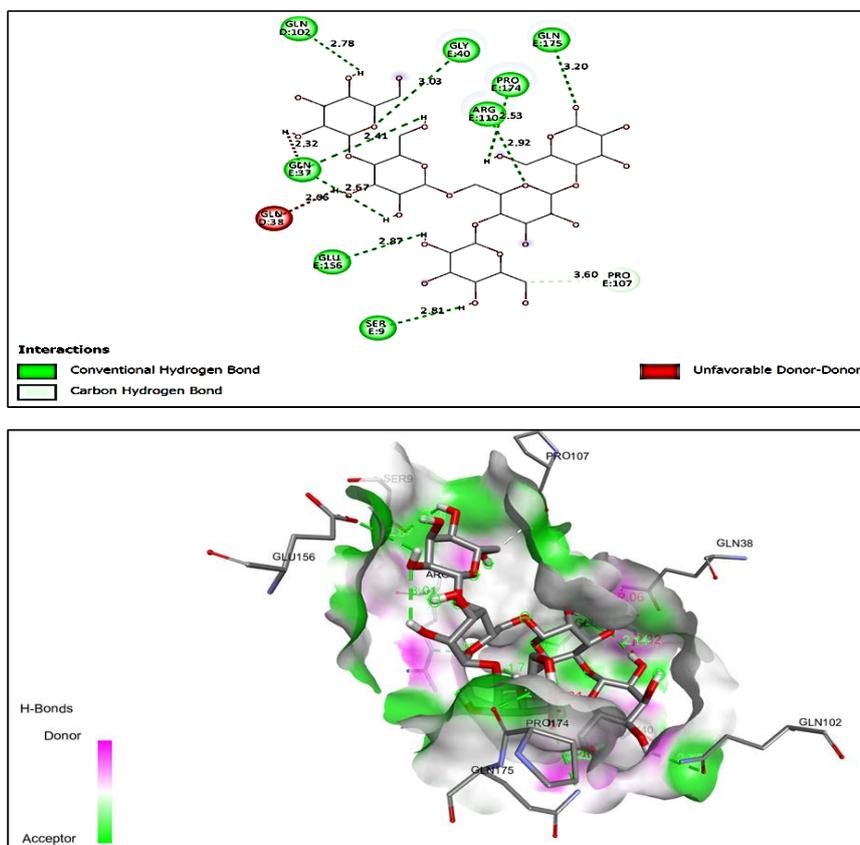


Рис. 3. Взаимодействие соединения Amylopectin_6PX6

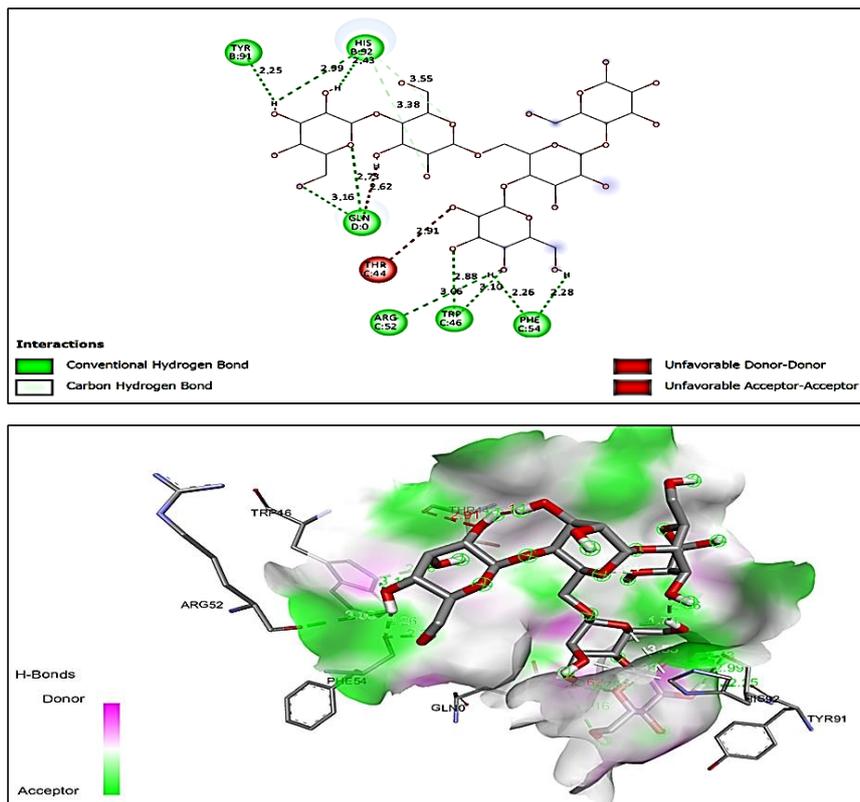


Рис. 4. Взаимодействие соединения Amylopectin_8W83

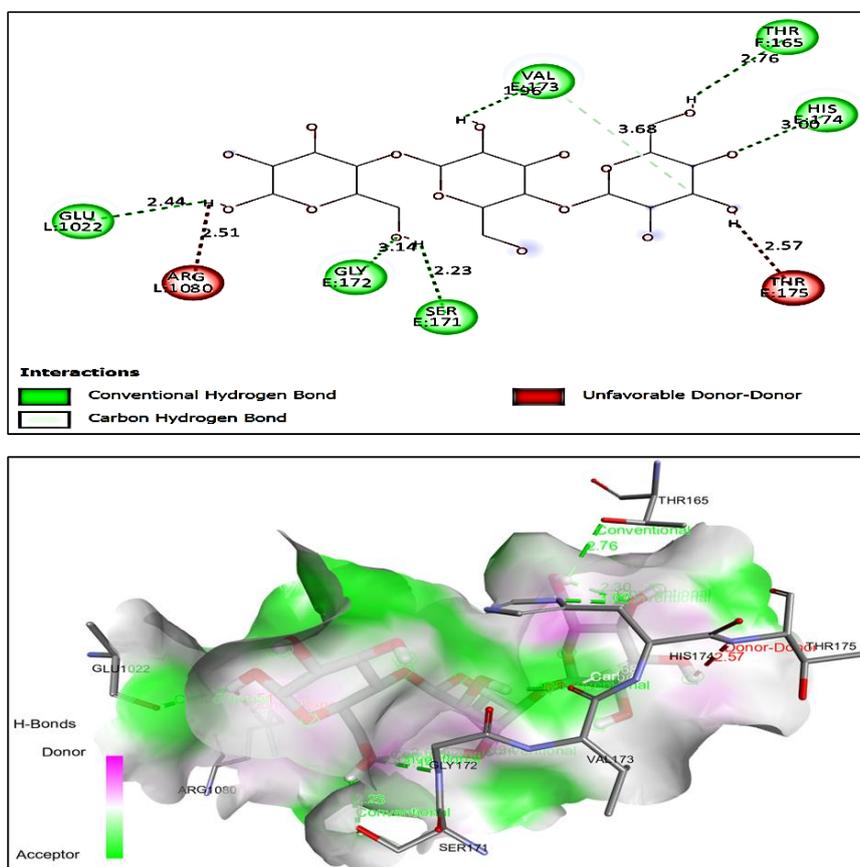


Рис. 5. Взаимодействие соединения Amylose_8W83

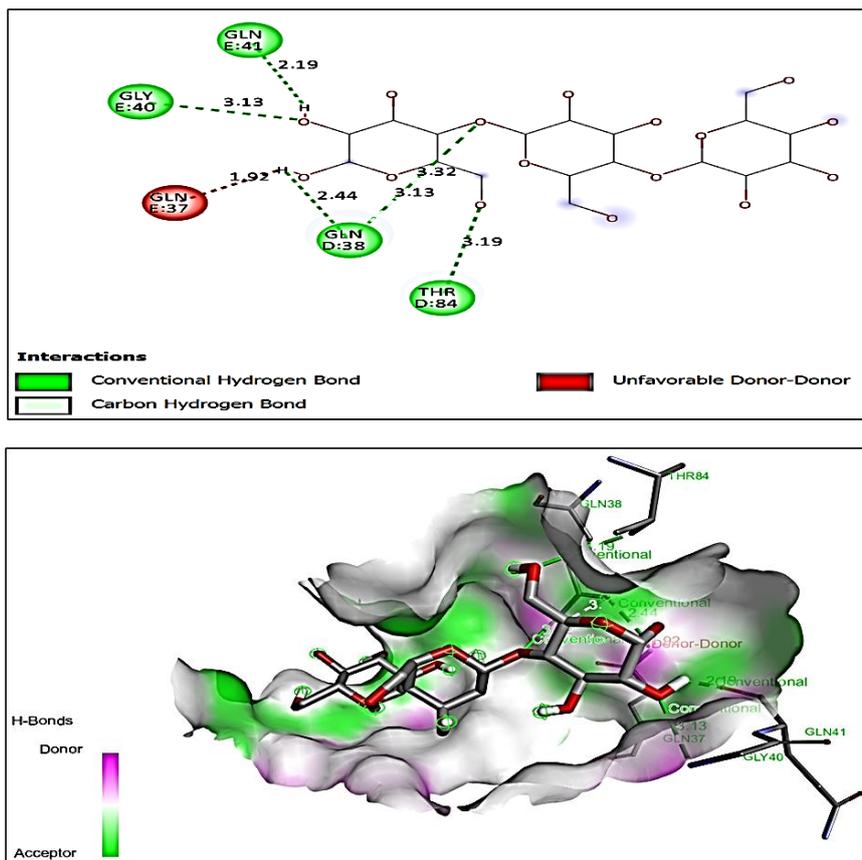


Рис. 6. Взаимодействие соединения Amylose_6PX6

(8W83) упрочняются в присутствии амилопектина и амилозы. В то время как оценка Score XP Glutenin (6PX6) указывает на снижение энергии связи в присутствии амилозы.

Заключение

Полученные прогностические результаты следует учитывать при ведении процессов детоксикации зерновых масс. Это может стать

основанием для направленного комплексного применения нетепловых эффектов для процессов обеззараживания путем воздействия на эпифитную микрофлору, белково-протеиновый и углеводно-амилазный комплексы зерна, при сохранении показателей физиологической полноценности и функционально-технологической пригодности зерна.

Список литературы

1. Анализ результатов мониторинга загрязнения микотоксинами продовольственного зерна урожаев 2005–2016 гг. / И.Б. Седова, М.Г. Киселева, З.А. Чалый и др. // Успехи медицинской микологии. 2018. Т. 19. С. 329–330.
2. Васильев П.М., Голубева А.В., Королева А.Р., Перфильев М.А., Кочетков А.Н. Прогноз *in silico* токсикологических и фармакокинетических характеристик лекарственных соединений // Безопасность и риск фармакотерапии. 2023. Т. 11(4). С. 390–408. DOI: 10.30895/2312-7821-2023-11-4-390-408
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2023 г. № 1941, Москва.
4. Прямое определение продуцентов Т-2 И НТ-2-микотоксинов грибов рода *Fusarium* в продовольственном зерне методом ПЦР (сообщение 2) / Л.П. Минаева, Ю.В. Короткевич, Л.П. Захарова и др. // Вопросы питания. 2013. Т. 82, № 4. С. 48–54.
5. Соколова Г.Д. Внутривидовое разнообразие фитопатогенного гриба *Fusarium Graminearum* // Микология и фитопатология. 2015. Т. 49(2). С. 71–79.

6. Тутельян В.А. Природные токсины и проблемы биобезопасности // Тез. док. 2-го съезда токсикологов России. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России. 2003. С. 32–35.
7. Фузариотоксины и афлатоксин В1 в продовольственном зерне кукурузы в Российской Федерации / И.Б. Седова, Л.П. Захарова, М.Г. Киселева и др. // Научные труды СКФНЦСВВ. 2018. Т. 21. С. 129–137.
8. A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock / O. Kolawole, W. Siri-Anusornsak, A. Petchkongkaew, C. Elliott // *Emerging Contaminants*. 2024. V. 10. 100305. DOI: 10.1016/j.emcon.2024.100305
9. Alshannaq A., Yu J-H. Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food // *Int J Environ Res Public Health*. 2017. V. 14. P. E632. DOI: 10.3390/ijerph14060632
10. Co-Occurrence of DON and emerging mycotoxins in worldwide finished pig feed and their combined toxicity in intestinal cells / A.K. Khoshal, B. Novak, P.G.P. Martin et al. // *Toxins*. 2019. V. 11 (12). P. 727. DOI: 10.3390/toxins11120727.
11. Co-Occurrence of regulated and emerging mycotoxins in corn silage: relationships with fermentation quality and bacterial communities / A. Gallo, F. Ghilardelli, A.S. Atzori et al. // *Toxins*. 2013. V. 13 (3). P. 232. DOI: 10.3390/toxins13030232
12. Jundi Liu, Todd Applegate. Zearalenone (ZEN) in Livestock and Poultry: Dose // *Toxicokinetics, Toxicity and Estrogenicity Toxins*. 2020. V. 12(6). P. 377. DOI: 10.3390/toxins12060377
13. Nivalenol type populations of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* are prevalent on wheat in Southern Louisiana / L.R. Gale, S.A. Harrison, T.J. Ward et al. // *Phytopathology*. 2011. V. 101. P. 124–134. DOI: 10.1094/PHYTO-03-10-0067
14. Quantification of *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* by real-time PCR system and zearalenone assessment in maize / A. Atoui, A.I. Khoury, M. Kallassy, A. Lebrihi // *Int J Food Microbiology*. 2012. V. 154(1-2). P. 59–65. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.022
15. Quantification of the copy number of *nor-1*, a gene of the aflatoxin biosynthetic pathway by real-time PCR, and its correlation to the cfu of *Aspergillus flavus* in foods / Z. Mayer, A. Bagnara, P. Farber, R. Geisen // *Int J Food Microbiol*. 2003. V. 82(2). P. 143–151. DOI: 10.1016/s0168-1605(02)00250-7
16. The occurrence and Cooccurrence of regulated, emerging, and masked mycotoxins in rice bran and maize from southeast Asia // W. Siri-Anusornsak, O. Kolawole, W. Mahakarnchanakul et al. // *Toxins*. 2022. V. 14 (8). P. 567. DOI: 10.3390/toxins14080567

References

1. Sedova I.B., Kiseleva M.G., Chaly Z.A., Aksenov I.V., Zakharova L.P., Tutelyan V.A. Analysis of result monitoring of mycotoxin contamination of food grain in 2005–2016. *Uspekhi meditsinskoy mikologii = Advances in Medical Mycology*, 2018, vol. 19, pp. 329–330. (In Russ.)
2. Vassiliev P.M., Golubeva A.V., Koroleva A.R., Perfilov M.A., Kochetkov A.N. In Silico Prediction of Toxicological and Pharmacokinetic Characteristics of Medicinal Compounds. *Safety and Risk of Pharmacotherapy*, 2023, vol. 11(4), pp. 390–408. (In Russ.) DOI: 10.30895/2312-7821-2023-11-4-390-408
3. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 18 noyabrya 2023 g. № 1941* [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1941 dated November 18, 2023]. Moscow.
4. Minaeva L.P., Korotkevich Yu.V., Zakharova L.P., Sedova I.B., Sheveleva S.A. Direct detection of T-2 and HT-2-Mycotoxins producers of fungi the genus *Fusarium* in food grain by PCR (report 2). *Voprosy pitaniya* [Problems of Nutrition], 2013, vol. 82(4), pp. 48–54. (In Russ.)
5. Sokolova G.D. Intraspecific diversity of phytopathogenic fungus *Fusarium graminearum*. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2015, vol. 49(2), pp. 71–79. (In Russ.)
6. Tutel'yan V.A. Natural toxins and biosafety issues. *Tez. dok. 2-go s"ezda toksikologov Rossii* [Abstracts of the 2nd Congress of Toxicologists of Russia]. Moscow, 2003, pp. 32–35.
7. Sedova I.B., Zakharova L.P., Kiseleva M.G., Chaly Z.A., Tutelyan V.A. The *Fusarium* mycotoxins and aflatoxin B1 in grain maize in Russia. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo centra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*, 2018, vol. 21, pp. 129–137. (In Russ.)

8. Kolawole O., Siri-Anusornsak W., Petchkongkaew A., Elliott C. A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock. *Emerging Contaminants*, 2024, vol. 10. 100305. DOI: 10.1016/j.emcon.2024.100305
9. Alshannaq A., Yu J-H. Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, vol. 14. E632. DOI: 10.3390/ijerph14060632
10. Khoshal A.K., Novak B., Martin P.G.P., Jenkins T., Neves M., Schatzmayr G., Pinton P. Co-Occurrence of DON and emerging mycotoxins in worldwide finished pig feed and their combined toxicity in intestinal cells. *Toxins*, 2019, vol. 11(12), p. 727. DOI: 10.3390/toxins11120727.
11. Gallo A., Ghilardelli F., Atzori A.S., Zara S., Novak B., Faas J., Fancello F. Co-Occurrence of regulated and emerging mycotoxins in corn silage: relationships with fermentation quality and bacterial communities. *Toxins*, 2013, vol. 13(3), p. 232. DOI: 10.3390/toxins13030232
12. Jundi Liu, Jundi Liu, Todd Applegate, Zearalenone (ZEN) in Livestock and Poultry: Dose, Toxicokinetics, Toxicity and Estrogenicity. *Toxins*, 2020, vol. 12(6), p. 377. DOI: 10.3390/toxins12060377
13. Gale L.R., Harrison S.A., Ward T.J., O'Donnell K., Milus E.A., Gale S.W., Kistler H.C. Nivalenoltype populations of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* are prevalent on wheat in Southern Louisiana. *Phytopathology*, 2011, vol. 101, pp. 124–134. DOI: 10.1094/PHYTO-03-10-0067
14. Atoui A., Khoury A.I., Kallassy M., Lebrihi A. Quantification of *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* by real-time PCR system and zearalenone assessment in maize. *Int J Food Microbiology*, 2012, vol. 154(1-2), pp. 59–65. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.022
15. Mayer Z, Bagnara A, Farber P, Geisen R. Quantification of the copy number of *nor-1*, a gene of the aflatoxin biosynthetic pathway by real-time PCR, and its correlation to the cfu of *Aspergillus flavus* in foods. *Int J Food Microbiol.*, 2003, vol. 82(2), pp. 143–151. DOI: 10.1016/s0168-1605(02)00250-7
16. Siri-Anusornsak W., Kolawole O., Mahakarnchanakul W., Greer B., Petchkongkaew A., Meneely J., Elliott C., Vangnai K. The occurrence and Cooccurrence of regulated, emerging, and masked mycotoxins in rice bran and maize from southeast Asia. *Toxins*, 2022, vol. 14(8), p. 567. DOI: 10.3390/toxins14080567

Информация об авторах

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; potorokoi@susu.ru

Руськина Алена Александровна, старший преподаватель кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ruskinaaa@susu.ru.

Анйум Вариша, старший научный сотрудник кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; aniumv@susu.ru.

Information about the authors

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, potorokoi@susu.ru

Alena A. Ruskina, Senior Academic at the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, ruskinaaa@susu.ru

Varisha Anium, Researcher of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, aniumv@susu.ru

Статья поступила в редакцию 25.04.2024

The article was submitted 25.04.2024