УДК 664.7:582.28

Потенциально токсигенные плесени в муке из различных зерновых культур

Фролов Д.И., Хабибулина Э.Р.

Аннотация. Целью исследования было определить видовой состав плесеней в гречневой, кукурузной и рисовой муке и частоту встречаемости их родов, видов и потенциально токсигенных форм. Применяли микологические методы (метод разведений, посев на специальные питательные среды, выделение чистых культур) и иммуноферментный анализ для оценки способности изолятов Aspergillus flavus синтезировать афлатоксины. Исследовали пять образцов муки. Все образцы были заражены плесенями; микопопуляция была представлена широким спектром родов, среди которых доминировали Aspergillus flavus, Penicillium aurantiogriseum, P. expansum, Eurotium chevalieri и A. niger. Наиболее частым был A. flavus – потенциальный продуцент афлатоксинов, однако токсины у него не обнаружены. Новизна работы – комплексная оценка заражения муки из нетрадиционных зерновых культур токсигенными плесенями и установление видового состава микопопуляции, что важно для микробиологической безопасности продуктов питания.

Ключевые слова: зерновая мука, грибковая контаминация, токсигенные плесени, афлатоксины, микотоксины.

Для цитирования: Фролов Д.И., Хабибулина Э.Р. Потенциально токсигенные плесени в муке из различных зерновых культур // Инновационная техника и технология. 2026. Т. 13. № 4. С. 73–76.

Potentially toxigenic molds in flour made from various cereal crops

Frolov D.I., Khabibulina E.R.

Abstract. The aim of the study was to determine the species composition of molds in buckwheat, corn, and rice flours, as well as the frequency of occurrence of their genera, species, and potentially toxigenic forms. Mycological methods were employed–including the dilution plating technique, inoculation onto special nutrient media, and isolation of pure cultures–along with enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) to assess the ability of Aspergillus flavus isolates to synthesize aflatoxins. Five flour samples were analyzed. All samples were found to be contaminated with molds; the mycobiota comprised a wide range of genera, with Aspergillus flavus, Penicillium aurantiogriseum, P. expansum, Eurotium chevalieri, and A. niger being the most prevalent. Aspergillus flavus–a potential aflatoxin producer–was the most frequently encountered species; however, no toxins were detected. The novelty of this work lies in the comprehensive assessment of contamination in flours derived from non-traditional cereal crops by toxigenic molds, and the identification of the species composition of the mycobiota–findings that are significant for the microbiological safety of food products.

Keywords: cereal flour, fungal contamination, toxigenic molds, aflatoxins, mycotoxins.

For citation: Frolov D.I., Khabibulina E.R. Potentially toxigenic molds in flour made from various cereal crops. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2026. Vol. 13. No. 4. pp. 73–76. (In Russ.).

Введение

Зерновые культуры и продукты их переработки составляют важную часть рациона человека. В последнее время потребительские привычки изменились: помимо обычной пшеницы, растёт спрос на продукты из гречихи, кукурузы и риса. Мука значительно более восприимчива к воздействию микроорганизмов по сравнению с целым зерном из-за отсутствия защитной оболочки. Плесневение муки происходит при относительной влажности выше 79% [1, 2].

Наиболее часто выделяемые из муки виды плесеней относятся к родам Aspergillus, Penicillium, Eurotium, Alternaria, Cladosporium, Rhizopus, Mucor, Emericella и Fusarium. Виды родов Aspergillus, Penicillium и Eurotium являются «плесенями хранения», которые развиваются при низкой активности воды. Виды родов Fusarium и Alternaria являются «полевыми» плесенями и требуют более высокой влажности и низких температур [3].

Плесени могут продуцировать вторичные метаболиты – микотоксины, токсичные для человека и животных [11, 12]. Афлатоксины являются очень токсичными производными кумарина, биосинтезируемыми A. flavus и A. parasiticus. Афлатоксин B1 – самый сильный канцероген из этой группы [4].

Целью настоящей работы являлось определение плесеней, присутствующих в гречневой, кукурузной и рисовой муке, а также частоты встречаемости родов, видов и потенциально токсигенных видов.

Объекты и методы исследования

Были исследованы пять образцов гречневой, кукурузной и рисовой муки. Общее число плесеней определяли методом разведений на двух средах: агар с дихлораном и 18% глицерином – для ксеротолерантных плесеней, и солодово-дрожжевой агар с 50% глюкозы – для экстремально ксерофильных плесеней [5, 6]. Засеянные среды инкубировали при 25 °C, результаты измеряли через 5 и 7 дней в трёх повторностях.

Выделение чистых культур проводили путём переноса конидий и фрагментов гиф на агар с экстрактом Чапека-Докса или солодовый экстракт-агар. Колонии родов Penicillium, Aspergillus, Eurotium и Emericella засевали на CYA, остальные – на MEA. Инкубировали 7 дней при 25 °C. Идентификацию видов проводили по критериям, описанным в работах [5–7].

Способность изолятов A. flavus синтезировать афлатоксины B1, B2, G1, G2 оценивали методом иммуноферментного анализа (ELISA). Культуры засевали на скошенный агар Сабуро с декстрозой, инкубировали 7 дней при 25 °C, затем заливали 5 мл бульона с дрожжевым экстрактом и сахарозой и инкубировали 14 дней при 25 °C при периодическом перемешивании. Полученный фильтрат использовали для определения афлатоксинов с помощью количественной тест-системы высокой чувствительности в соответствии с инструкцией производителя.

Результаты и их обсуждение

Присутствие плесеней было подтверждено во всех образцах. Наибольшая микопопуляция обнаружена в образцах гречневой муки, особенно в цельнозерновой (образец 1), что объясняется наличием защитного слоя зерна – благоприятной среды для роста плесеней [1, 8].

Общая микопопуляция всех исследованных образцов была отнесена к 12 родам и 31 виду. Наиболее доминирующим родом был Aspergillus (93,33% образцов), далее следовали Penicillium (73,33%), Eurotium и Paecilomyces (по 46,67%), Rhizopus (33,33%).

Среди видов Aspergillus наиболее часто выделялся A. flavus (60% образцов). Среди видов Penicillium доминировали P. aurantiogriseum и P. expansum (по 40%). Род Eurotium был представлен видами E. chevalieri и E. herbariorum (по 26,67%).

Таблица 1 – Общее число плесеней в образцах муки (среднее значение трёх повторностей)

Образец	КМАФАнМ / Плесневые грибы (среда DG18), КОЕ/г	Осмофильные дрожжи (среда MY50G), КОЕ/г
Гречневая мука 1	$2{,}6\times10^{4}$	$2{,}0\times10^{4}$
Гречневая мука 2–5	$3{,}3\times10^{2}$–$7{,}3\times10^{2}$	$1{,}7\times10^{2}$–$2{,}7\times10^{2}$
Кукурузная мука 1–5	$6{,}0\times10^{1}$–$1{,}5\times10^{3}$	$2{,}0\times10^{1}$–$1{,}2\times10^{3}$
Рисовая мука 1–5	$1{,}0\times10^{1}$–$4{,}2\times10^{2}$	0–$2{,}8\times10^{2}$

Таблица 2 – Частота встречаемости доминирующих родов плесеней

Род	Число контаминированных образцов (из 15)	Частота, %
Aspergillus	14	93,33
Penicillium	11	73,33
Eurotium	7	46,67
Paecilomyces	7	46,67
Rhizopus	5	33,33

Эти результаты согласуются с литературными данными [9].

Двенадцать изолятов A. flavus были исследованы на синтез афлатоксинов. Ни один изолят не показал способности к синтезу афлатоксинов (концентрация <1 мкг/кг). Присутствие плесеней само по себе не обязательно предполагает синтез микотоксинов: для этого необходимы определённые условия (температура 30 °C и выше, относительная влажность 88–95%) и генетическая предрасположенность штамма [10].

Полученные результаты согласуются с данными литературы о контаминации муки плесенями. Наибольшая микопопуляция обнаружена в гречневой муке, особенно цельнозерновой, что объясняется наличием защитного слоя зерна [1, 8]. Доминирование Aspergillus и Penicillium согласуется с результатами Demirel и Sariozlu [9]. Присутствие значительного количества Eurotium объясняется тем, что виды этого рода являются экстремально ксерофильными плесенями и могут развиваться при низкой активности воды, характерной для злаков и продуктов их помола [5].

Наиболее часто выделяемый вид A. flavus является потенциальным продуцентом афлатоксинов, однако исследованные изоляты не показали способности к их синтезу. Это согласуется с данными авторов [10], объясняющих, что для синтеза афлатоксинов необходимы определённые условия и генетическая предрасположенность штамма.

Таким образом, результаты подтверждают необходимость микологического контроля муки из различных зерновых культур, особенно гречневой, для обеспечения микробиологической безопасности продуктов питания.

Выводы

Общая микопопуляция исследованных образцов (15) была отнесена к 12 родам и 31 виду. Наиболее доминирующими родами были Aspergillus (93,33%) и Penicillium (73,33%), за ними следовали Eurotium и Paecilomyces (46,67%) и Rhizopus (33,33%). Наиболее часто выделяемыми видами были A. flavus, P. aurantiogriseum, P. expansum, E. chevalieri и E. herbariorum. Исследованные изоляты A. flavus не показали способности к синтезу афлатоксинов. Практическая значимость исследования заключается в обосновании необходимости микологического контроля муки из различных зерновых культур для обеспечения микробиологической безопасности продуктов питания. Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением влияния условий хранения на контаминацию муки плесенями и разработкой мероприятий по предотвращению образования микотоксинов.

Литература

[1] Шмалько Н. А. и др. Микробиологическая безопасность хлеба из цельнозерновой муки ремесленного изготовления //Хлебопечение России. – 2023. – Т. 67. – №. 1. – С. 55-64.

[2] Хишов А. С. и др. Микробиологическая контаминация продовольственного сырья и готовой пищевой продукции (аналитический обзор) // Техника и технология пищевых производств. – 2023. – Т. 53. – №. 3. – С. 486-503.

[3] Шевелева С. А. и др. Микробиологическая безопасность пищи: развитие нормативной и методической базы //Вопросы питания. – 2020. – Т. 89. – №. 4. – С. 125-145.

[4] Тутельян В. А., Кравченко Л. В. Микотоксины: медицинские и биологические аспекты. — М.: Медицина, 1985. — 320 с.

[5] Благовещенская Е. Ю. Методы выявления грибов филлопланы //Мат-лы VII Всеросс. микологической шк.-конф. с междунар. участием “Биотические связи грибов: мосты между царствами”. Сб. докл. и тез. М.: МГУ. – 2015. – С. 5-9.

[6] Пидопличко Н. М. Грибы-паразиты культурных растений. Определитель в трех томах. – Рипол Классик, 1977.

[7] Билай В. И. Методы экспериментальной микологии. – Рипол Классик, 1973.

[8] Казимирченко О. В., Бессмертная И. А., Васильченко Н. В. Микробиологические

References

[1] Shmalko N. A. et al. Microbiological safety of artisanal whole-grain bread // Khlebopechenie Rossii (Baking in Russia). – 2023. – Vol. 67. – No. 1. – pp. 55–64.

[2] Khishov A. S. et al. Microbiological contamination of food raw materials and finished food products (analytical review) // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv (Food Processing: Techniques and Technology). – 2023. – Vol. 53. – No. 3. – pp. 486–503.

[3] Sheveleva S. A. et al. Microbiological safety of food: development of the regulatory and methodological framework // Voprosy Pitaniya (Problems of Nutrition). – 2020. – Vol. 89. – No. 4. – pp. 125–145.

[4] Tutelyan V. A., Kravchenko L. V. Mycotoxins: Medical and Biological Aspects. — Moscow: Meditsina, 1985. — 320 p.

[5] Blagoveshchenskaya E. Yu. Methods for detecting phylloplane fungi // Proceedings of the VII All-Russian Mycological School-Conference with International Participation: «Biotic Connections of Fungi: Bridges Between Kingdoms.» Collection of reports and abstracts. Moscow: Lomonosov Moscow State University. – 2015. – pp. 5–9.

[6] Pidoplichko N. M. Parasitic Fungi of Cultivated Plants: A Guide in Three Volumes. – Ripol Classic, 1977.

[7] Bilay V. I. Methods in Experimental Mycology. – Ripol Classic, 1973.

[8] Kazimirchenko O. V., Bessmertnaya I. A., Vasilchenko

показатели качества замороженного сдобного теста, обогащенного спельтовой мукой, при хранении // Вестник Международной академии холода. – 2019. – №. 1. – С. 69-76.

[9] Киселева М. Г. и др. Анализ продовольственного зерна в Российской Федерации на загрязненность широким спектром микотоксинов (на примере урожая 2018 года) //Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56. – №. 3. – С. 559-577.

[10] Минаева Л. П. и др. Изучение контаминации сухофруктов токсигенными плесневыми грибами // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100. – №. 7. – С. 717-723.

[11] Фролов Д. И. Актуальность микробиологических испытаний готовой продукции в области управления пищевой безопасности //Инновационная техника и технология. – 2016. – Т. 3. – №. 1. – С. 15-18.

[12] Фролов, Д. И. Безопасность продовольственного сырья : Учебно-методическое пособие для прикладных и академических бакалавров направления подготовки 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания» всех форм обучения / Д. И. Фролов. – Пенза : Пензенский государственный технологический университет, 2015. – 144 с. – EDN UKBELN.

N. V. Microbiological quality indicators of frozen enriched dough (yeast-leavened) fortified with spelt flour during storage // Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda (Journal of the International Academy of Refrigeration). – 2019. – No. 1. – pp. 69-76.

[9] Kiseleva M. G. et al. Analysis of food-grade grain in the Russian Federation for contamination by a wide range of mycotoxins (a case study of the 2018 harvest) // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya (Agricultural Biology). – 2021. – Vol. 56. – No. 3. – pp. 559-577.

[10] Minaeva L. P. et al. Study of the contamination of dried fruits by toxigenic molds // Gigiena i sanitariya (Hygiene and Sanitation). – 2021. – Vol. 100. – No. 7. – pp. 717-723.

[11] Frolov D. I. The relevance of microbiological testing of finished products in the context of food safety management // Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya (Innovative Machinery and Technology). – 2016. – Vol. 3. – No. 1. – pp. 15-18.

[12] Frolov D. I. Safety of Food Raw Materials: A study guide for applied and academic bachelor's students in the field of study 19.03.04 «Food Production Technology and Catering Organization» (all modes of study) / D. I. Frolov. – Penza: Penza State Technological University, 2015. – 144 p. – EDN UKBELN.

Сведения об авторах

Фролов Дмитрий Иванович
кандидат технических наук
доцент кафедры «Пищевые производства»
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11
Тел.: +7(937) 408-35-28
E-mail: surr@bk.ru

Хабибулина Эльвира Рустемовна
магистрант кафедры «Пищевые производства»
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11
E-mail:

Information about the authors

Frolov Dmitriy Ivanovich
PhD in Technical Sciences
associate professor at the department of «Food productions»
Penza State Technological University
Phone: +7(937) 408-35-28
E-mail: surr@bk.ru

Khabibulina Elvira Rustemovna
undergraduate of the department «Food productions»
Penza State Technological University
E-mail: