

УДК 636.087.24 + 546.841  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-36-44](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-36-44)

Поступила в редакцию 04.05.2022  
Received 04.05.2022

**Е. М. Моргунова, В. В. Соловьев**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **КЛЕТОЧНЫЕ СТЕНКИ ДРОЖЖЕЙ — ЭФФЕКТИВНЫЙ АДсорбЕНТ МИКОТОКСИНОВ В КОРМАХ**

**Аннотация.** В мире серьезное внимание уделяется разработке современных и эффективных способов обеззараживания кормов от микотоксинов. В силу характерных погодных условий в Республике Беларусь практически все крупные животноводческие комплексы и частные фермерские хозяйства сталкиваются с проблемой микотоксикозов у животных и птиц, а это в свою очередь оказывает огромное влияние на безопасность кормов и в последующем на безопасность пищевой продукции. Решить проблему микотоксинов в кормах можно путем использования различных адсорбентов. На роль таких адсорбентов подходит адсорбент микотоксинов на основе клеточных стенок дрожжей. В данной статье приведены результаты исследований по изучению физико-химических свойств клеточных стенок дрожжей и их адсорбционной способности методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, с использованием референтного образца мультитоксинов Trylogy, по отношению к таким микотоксинам, как афлатоксин В1, охратоксин А, зеараленон, дезоксиниваленон. Полученные результаты показывают, что клеточные стенки дрожжей обладают хорошей адсорбционной способностью по отношению к высокомолекулярным микотоксинам и плохо адсорбируют низкомолекулярные микотоксины.

**Ключевые слова:** дрожжевая клетка, биополимеры дрожжевой клетки, ферментные препараты, ферментативный гидролиз, деструкция, адсорбционная способность, адсорбенты, микотоксины.

**A. M. Marhunova, V. V. Solovyov**

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus*

## **YEAST CELL WALLS ARE AN EFFECTIVE MYCOTOXIN ADSORBENT IN FEED**

**Abstract.** In the world, serious attention is paid to the development of modern and effective methods for disinfecting feed from mycotoxins. Due to the characteristic weather conditions in the Republic of Belarus, almost all large livestock complexes and private farms are faced with the problem of mycotoxicosis in animals and birds, and this, in turn, has a huge impact on feed safety and, subsequently, on food safety. The problem of mycotoxins in feed can be solved by using various adsorbents. A mycotoxin adsorbent based on yeast cell walls is suitable for the role of such adsorbents. This article presents the results of studies on the physicochemical properties of yeast cell walls and their adsorption capacity by high performance liquid chromatography, using a reference sample of Trylogy multitoxins, in relation to such mycotoxins as aflatoxin B1, ochratoxin A, zearalenone, deoxynivalenol. The obtained results show that yeast cell walls have good adsorption capacity for high molecular weight mycotoxins and poorly adsorb low molecular weight mycotoxins.

**Keywords:** yeast cell, yeast cell biopolymers, enzyme preparations, enzymatic hydrolysis, destruction, adsorption capacity, adsorbents, mycotoxins.

**Введение.** Контаминация кормов микотоксинами является проблемой мирового масштаба на сегодняшний день. Поставщик решений для кормления сельскохозяйственных животных регулярно исследует на микотоксины не только зерно, но и другую растениеводческую продукцию. Так в 2021 году специалисты компании Alltech (США) изучили 274 образца ячменя, пшеницы, кукурузы и кукурузного силоса, сенажа, гороха, овса, подсолнечного шрота, тритикале, сои, убранных с конца июля до середины ноября 2020-го. Пробы кормов были отобраны, помимо России, в Испании, Португалии, Дании, Венгрии, Германии, Великобритании, Чехии, Эстонии, Марокко и некоторых

других странах [1]. В исследовании отмечено, что в течение всего вегетационного периода прошлого года погодные условия на европейской части варьировали, что привело к распространению плесневых грибов и микотоксинов в разных регионах. В результате значительная часть образцов была загрязнена различными видами микотоксинов. В 80,7 % образцов были найдены фумонизины, в 74,5 % — трихотецены типа В. Более 75 % поражены так называемыми «новыми микотоксинами», к которым относятся боверицин, монилиформин, фомопсин А, альтерналиол, энниатин А и В. Зеараленон — микотоксин, негативно влияющий на репродуктивные показатели животных, — был обнаружен лишь в 7,0 % образцов. Такой же процент проб загрязнен афлатоксином В1. Последние два показателя получились ниже ожидаемого благодаря более сухим, чем обычно, условиям на большей части Центральной и Восточной Европы в 2021 году. При этом предельная по стандартам ЕС концентрация афлатоксина В1 (20 мкг/кг) была превышена только в 0,36 % образцов [1].

Микотоксины нарушают функционирование внутренних органов, в том числе желудочно-кишечного тракта, нервной, эндокринной, иммунной и репродуктивной систем. Все это ведет к снижению скорости роста или ухудшению конверсии корма, падению молочной продуктивности, возникновению заболеваний [2–4].

В соответствии с требованиями Ветеринарно-санитарных правил обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов в зерне, поставляемом на кормовые цели (пшеница, ячмень, овес, рожь, тритикале, просо, сорго, кукуруза) регламентируется содержание микотоксинов [5].

Таблица 1. Требования по содержанию микотоксинов в зерне для кормов [5]  
Table 1. Requirements for the content of mycotoxins in feed grains [5]

Наименование микотоксина	Содержание, мг/кг, не более
Афлатоксин В1	0,02
Охратоксин А	0,05
Т-2 токсин	0,1
Дезоксиниваленол (ДОН)	1,0
Зеараленон	1,0
Фумонизин	5,0 - (кукуруза)
Сумма афлатоксинов В1, В2, G1, G2	0,02

В процессе производства пива используются пивные дрожжи (*Saccharomyces carlsbergensis*), которые накапливаются при сбраживании пивного сула. Около 40 % этих дрожжей используют в новых циклах брожения в качестве засевных, а 60 % являются отходом пивоваренного производства (избыточные пивные дрожжи) и подлежат утилизации.

Дрожжевая клетка состоит в среднем на 75 % из воды и 25 % сухих веществ. Химический состав их изменяется в зависимости от расы, питательной среды и физиологического состояния [6, 7].

Из общего количества белковых веществ дрожжей 90 % приходится на истинные белки. Наиболее известными из них являются зимо-казеин (фосфопротеид) и церевизин (альбумин). Содержание нуклеопротеидов, которыми богаты ядра дрожжевых клеток, составляет 26 % от общего количества белков. Нуклеопротеиновые кислоты (простетическая группа нуклеопротеидов) при гидролизе образуют пуриновые и пиримидиновые основы, сахар (рибозу или дезоксирибозу) и фосфорную кислоту [8].

Дрожжевая клетка защищена снаружи клеточной стенкой толщиной около 70 нм. Клеточные стенки дрожжей имеют слоистую структуру. Внешний слой клеточной стенки представляет собой гладкую мембрану, под ним лежит маннано-протеиновый комплекс. Общая масса клеточной стенки дрожжей может достигать 25 % от массы всей клетки. Клеточная стенка обладает рыхлой структурой и ее компоненты связаны с интегрированными в мембрану транспортными белками. Внешний слой клеточной стенки представляет собой гладкую мембрану, под ним лежит маннано-протеиновый комплекс. Во внутреннем слое расположены аморфные маннаны, структурообразующие β-глюканы и протеины, связанные сеткой из микрофибрилл, состоящих из глюканов. Основной структурный компонент клеточной стенки дрожжей — это полисахарид β-глюкан. β-1,3 и β-1,6-глюканы клеточной стенки *Saccharomyces cerevisiae* являются одним полимером с молекулярной массой ~ 240000, в котором основная цепь представлена β-1,6-глюканом, а боковые цепи — β-1,3-глюкозидными остатками. В среднем клеточная стенка состоит на 55 — 65 % из глюканов, на 35 — 40 % — из маннано-белков (маннанопротеинов), на 9 % — из липидов и на 1 — 2 % — из хитина (рис. 1) [9 — 12].

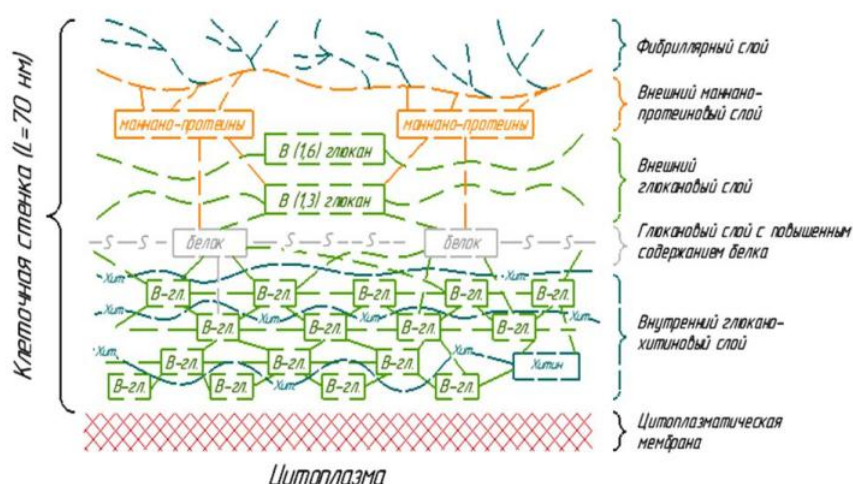


Рис. 1. Строение клеточной стенки дрожжей [9–12]  
 Fig. 1. Yeast cell wall structure [9–12]

В составе клеточной стенки *Saccharomyces cerevisiae* находят аминоксахара типа глюкозаминов, не сходных с хитином или хитозаном. Эти аминоксахара, как правило, являются составной частью гликопротеинов [11]. Клеточная стенка состоит на 40 % из маннанопротеинов и на 2 % из хитина; остальное приходится на  $\beta$ -гликозан.  $\beta$ -1,3 и  $\beta$ -1,6-гликозаны клеточной стенки *Saccharomyces cerevisiae* являются одним полимером с молекулярной массой  $\sim 240000$ , в котором основная цепь представлена  $\beta$ -1,6-гликозаном, а боковые цепи —  $\beta$ -1,3-гликозидными остатками [12].

Установлено, что растворимые  $\beta$ -гликозаны обладают большей физиологической активностью, чем нерастворимые. Показано, что, в сравнении с другими гликозанами,  $\beta$ -(1→3), (1→6)-D-гликозан дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* проявляет наибольшую физиологическую активность [13].

В результате анализа литературных источников отмечено, что полисахаридная оболочка дрожжевых клеток обладает высокой адсорбционной способностью к высокомолекулярным микотоксинам (охратоксин А, Т-2 токсин, дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон) и практически не адсорбируют низкомолекулярные микотоксины (афлатоксин В<sub>1</sub>, Фумонизин) [14, 15].

Функциональные свойства адсорбента микотоксинов заключаются в следующем: способны адсорбировать значительное количество желчных кислот, токсины и электролиты, могут выводить ионы тяжелых металлов и радионуклиды; положительно воздействуют на микрофлору пищеварительного тракта, оказывает бактерицидное действие; адсорбент обладает избирательным действием — он сохраняет важные элементы, сахара и аминокислоты, нейтрализуя при этом действие токсинов и мутагенов [16, 17].

Применение клеточной стенки дрожжей в качестве энтеросорбента в кормах имеет преимущество перед неорганическими энтеросорбентами, так как ее важной характеристикой является селективность, поскольку неселективные энтеросорбенты, удаляя из химуса часть полезных веществ, могут приводить к осложнениям, особенно при длительном применении [18, 19].

На сегодняшний день в мире существуют некоторые препараты-сорбенты на основе клеточных стенок дрожжей, а также имеются данные по их способности адсорбировать микотоксины. Основным сорбентом для микотоксинов является препарат «Микосорб» (Alltech, США), полученный на основе гликозана, выделенных из внутренней части дрожжевой клеточной стенки. Аналогичный продукт изготавливает компания «Angel» (China). «Микосорб» обладает адсорбирующей способностью в отношении широкого спектра микотоксинов. Оптимальная норма для птицы от 500 до 1000 г на 1 т корма. Была выявлена зависимость применения «Микосорба» с уменьшением синергичного взаимодействия микотоксинов на кур. Включение в рацион загрязненной кукурузы, которая была контаминирована естественным путем микотоксинами (33 мкг/кг афлатоксином; 0,68 мг/кг зеараленоном; 4,5 мг/кг фумонизином; 0,39 мг/кг Т-2 токсином и 1,4 мг/кг дезоксиниваленолом) привело к снижению продуктивности птиц. Был проявлен синергизм между микотоксинами кукурузы и афлатоксином, дополнительно добавленным в рацион в дозе 3 мг/кг. Включение афлатоксина в корм привело к увеличению печени, сердца. Вес селезенки был также более высок у птиц, потреблявших загрязненную кукурузу + афлатоксин. Добавление в корм «Микосорба» (1 кг/тонну корма) снизило смертность птиц, употребивших загрязненный афлатоксином корм. «Микосорб» был способен минимизировать отрицательные воздействия микотоксинов [20, 21].

В связи с вышеизложенным актуальным направлением исследований является изучение адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей клеток к высокомолекулярным и низкомолекулярным микотоксинам с использованием референтного образца мультитоксинов Trylogy и применением метода высокоэффективной жидкостной хроматографии.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводили на базе Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» на поверенном оборудовании, обеспечивающем достоверность результатов измерений, в количестве трех параллельных измерений.

Объектом исследования являлись клеточные стенки гидролизованных дрожжей.

Для выполнения аналитических исследований применяли общепринятые органолептические и физико-химические методы анализа [22–28].

Для получения клеточных стенок дрожжей проводили направленный гидролиз биополимеров клеток дрожжей *Saccharomyces carlsbergensis* по ранее установленным оптимальным режимам и параметрам [29].

Таблица 2. Параметры процесса гидролиза биополимеров дрожжевой клетки [29]  
Table 2. The parameters of the process of hydrolysis of biopolymers of yeast cells [29]

Значение параметра				
Ферментные препараты		рН	пауза	
наименование	дозировка, ед. активности / г с.в. дрожжей		t, °С	время, мин
Термостабильная $\alpha$ -амилаза	1,0	5,3	38	50
Кислая протеаза	2,0		52	50
Глюкоамилаза	10,0		65	40
Липаза	2,0		77	50
Маннаназа	10,0		95	5

Ферментные препараты вносили в начале процесса гидролиза. Для проведения экспериментальных работ использовали ферментные препараты, характеристика которых представлена в табл. 3.

Таблица 3. Характеристика ферментных препаратов [29]  
Table 3. Characterization of enzyme preparations [29]

Наименование ферментного препарата	Стандартизированная активность
Термостабильная $\alpha$ -амилаза (Ликвафло)	1460 ед. АС/см <sup>3</sup>
Кислая протеаза (Талзим АПЛ-50)	420 ед. ПС/см <sup>3</sup>
Глюкоамилаза (Сахзайм Плюс 2Х)	22300 ед. ГЛС/см <sup>3</sup>
Липаза	45000 ед. ЛС/см <sup>3</sup>
Маннаназа	22000 ед. МС/г

Направленный гидролиз биополимеров дрожжевой клетки проводили в лабораторном ферментере, при этом дрожжевую биомассу в объеме 10 дм<sup>3</sup> предварительно подкисляли молочной кислотой до рН от 5,2 до 5,4 и проводили процесс гидролиза при интенсивном перемешивании гидролизуемой среды. В дрожжевой суспензии пивных дрожжей определяли содержание сухих веществ рефрактометрическим методом, которое составило 15,3 %. Гидролизат избыточных пивных дрожжей представляет собой жидкую субстанцию, состоящую из продуктов автолиза и гидролиза биополимеров дрожжевой клетки (аминокислоты, витамины, низкомолекулярные углеводы и др.) с содержанием сухих веществ от 10 до 20 %.

Выделение клеточных стенок дрожжей из гидролизованной дрожжевой суспензии проводили посредством сепарирования на лабораторной установке (рис. 2), состоящей из сепаратора GEА тип FТС 1-06-107, винтового насоса Бурун С03/4-0,55/4, пульта управления.

Сушку клеточных стенок дрожжей вели на экспериментальной распылительной сушилке в лабораторных условиях РУП «Институт мясо-молочной промышленности». Схема экспериментальной распылительной сушилке представлена на рис. 3.

При сушке продуктов на распылительных сушилках происходит непосредственное взаимодействие распыленного на мелкие частицы продукта и теплоносителя (горячего воздуха). Вследствие большой площади контакта жидкого продукта и теплоносителя достигается высокая скорость сушки, что позволяет получить высококачественный, хорошо растворимый порошок. Кроме того, про-

цесс сушки протекает очень быстро (от десятых долей до нескольких секунд) и поэтому даже чувствительные к нагреву материалы, не успевают разложиться при высушивании.

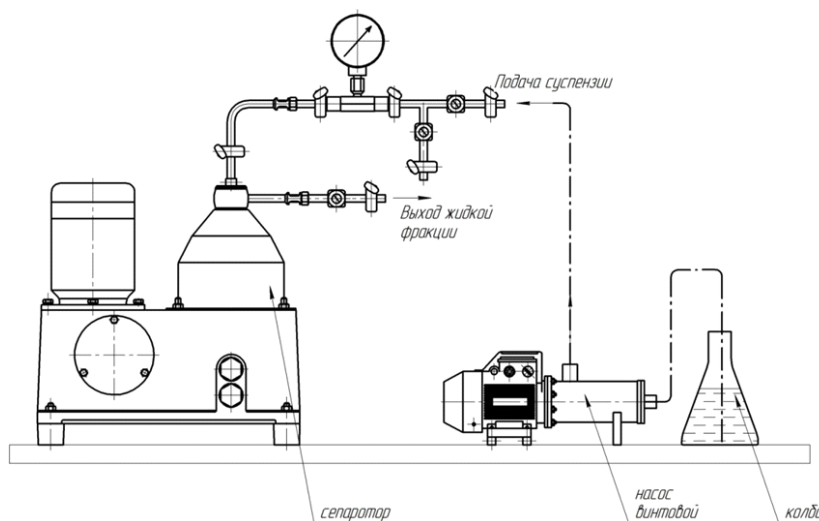


Рис. 2. Схема лабораторной установки для сепарирования дрожжевого гидролизата [29]  
 Fig. 2. Diagram of a laboratory setup for the separation of yeast hydrolyzate [29]

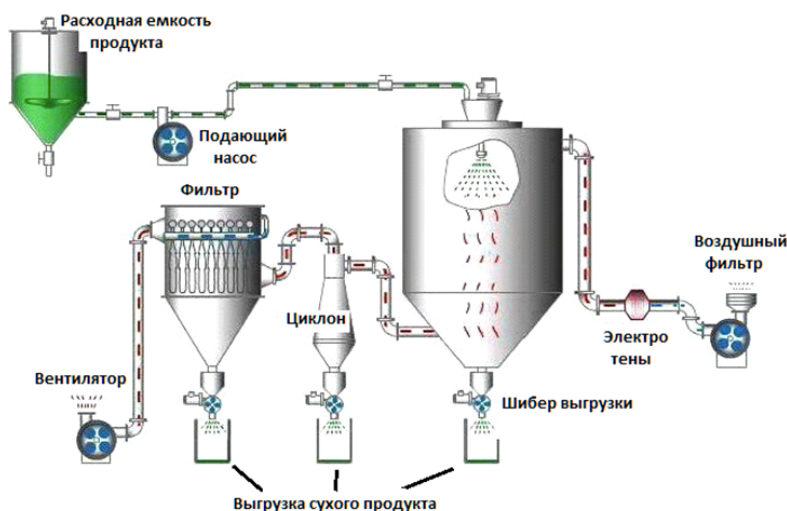


Рис. 3. Схема экспериментальной распылительной сушилки  
 Fig. 3. Spray dryer layout

В результате проведения экспериментальных работ было установлено, что клеточные стенки дрожжей по своим физико-химическим и коллоидным свойствам подходят для сушки на распылительных сушилках.

В результате проведенных исследований были определены режимы сушки клеточных стенок дрожжей на распылительной сушилке: температура воздуха на входе в сушильную камеру — от 175 до 185 °С, на выходе из сушильной камеры — от 70 до 80 °С; массовая доля сухих веществ в смеси, поступающей на сушку —  $15 \pm 5\%$ ; температура смеси, поступающей на сушку — от 15 до 20 °С. Высушенные клеточные стенки дрожжей представлены на рис. 4.

С целью исследования адсорбционной способности клеточных стенок гидролизованных дрожжей использовали референтный образец мультитоксинов (референтный материал Trylogy). Референтный образец мультитоксинов Trylogy — это кукурузная мука, естественно контаминированная микотоксинами.

Содержание микотоксинов в референтном образце Trylogy в соответствии со спецификацией изготовителя представлено в табл. 4.



Рис. 4. Сухие клеточные стенки дрожжей  
Fig. 4. Dry yeast cell walls

Таблица 4. Содержание микотоксинов в референтном материале Trylogy  
Table 4. Mycotoxin Content in Trilogy Reference Material

Наименование микотоксина	Предел обнаружения	Среднее значение концентрации	Ед. изм.
Афлатоксин В1	1,0 мкг/кг	12,3	мкг/кг
Афлатоксин В2	1,0 мкг/кг	0,7	мкг/кг
Афлатоксин G1	1,0 мкг/кг	0,7	мкг/кг
Афлатоксин G2	1,0 мкг/кг	не обнаружен	мкг/кг
Фумонизин В1	0,1 мг/кг	6,0	мг/кг
Фумонизин В2	0,1 мг/кг	1,9	мг/кг
Фумонизин В3	0,1 мг/кг	0,6	мг/кг
Охратоксин А	1,0 мкг/кг	8,6	мкг/кг
Зеараленон	50,0 мкг/кг	330,9	мкг/кг
Дезоксиваленол (ДОН)	0,1 мг/кг	2,7	мг/кг
Т-2 Токсин	5,0 мкг/кг	332,2	мкг/кг
НТ-2 Токсин	5,0 мкг/кг	240,1	мкг/кг

Для исследования адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей готовили 4 образца на основе референтного образца Trylogy:

- ♦ образец 1 (контрольный) — 50 г референтного образца мультитоксинов + 150 см<sup>3</sup> дистиллированной воды;
- ♦ образец 2 — 50 г референтного образца мультитоксинов + 0,05 % сухих клеточных стенок гидролизированных дрожжей (0,025 г) + 150 см<sup>3</sup> воды;
- ♦ образец 3 — 50 г референтного образца мультитоксинов + 0,2 % сухих клеточных стенок гидролизированных дрожжей (0,1 г) + 150 см<sup>3</sup> воды;
- ♦ образец 4 — 50 г референтного образца мультитоксинов + 0,35 % сухих клеточных стенок гидролизированных дрожжей (0,175 г) + 150 см<sup>3</sup> воды.

Все образцы подвергали выдержке в течение 2 часов с периодическим перемешиванием с целью увеличения степени экстрагирования микотоксинов, а затем — сепарировали на лабораторной центрифуге ELM1 CM-6M в течение 6 мин при скорости 3500 об/мин. Жидкую фазу исследовали по содержанию микотоксинов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в соответствии с принятыми методиками [25–28].

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате проведенного ферментативного гидролиза, сепарирования гидролизованной дрожжевой биомассы и последующей сушки получены сухие клеточные стенки дрожжей, которые по внешнему виду представляют собой однородный сухой порошок серого цвета с дрожжевым ароматом.

Далее проводили исследования физико-химических и технологических характеристик клеточных стенок дрожжей с определением их адсорбционной способности.

В результате комплексной оценки сухих клеточных стенок гидролизированных дрожжей отмечена их хорошая растворимость в холодной воде в различных дозировках; отличная гомогенизация при смешивании с мукой из различных зерновых культур; установлены органолептические и физико-хи-

мические показатели; исследована адсорбционная способность к высокомолекулярным и низкомолекулярным микотоксинам.

Органолептические характеристики клеточных стенок гидролизованных дрожжей представлены в табл. 5.

Таблица 5. Органолептические характеристики клеточных стенок дрожжей  
Table 5. Organoleptic characteristics of the cell walls of yeast

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Порошок
Цвет	От светло-серого до серого, с желтоватым оттенком
Аромат	Незначительный дрожжевой
Вкус	Нейтральный, с легким дрожжевым привкусом

В результате исследований получены данные по содержанию афлатоксина В<sub>1</sub>, охратоксина А, зеараленона, дезоксиниваленола в исследуемых образцах, представленные на рис. 5.

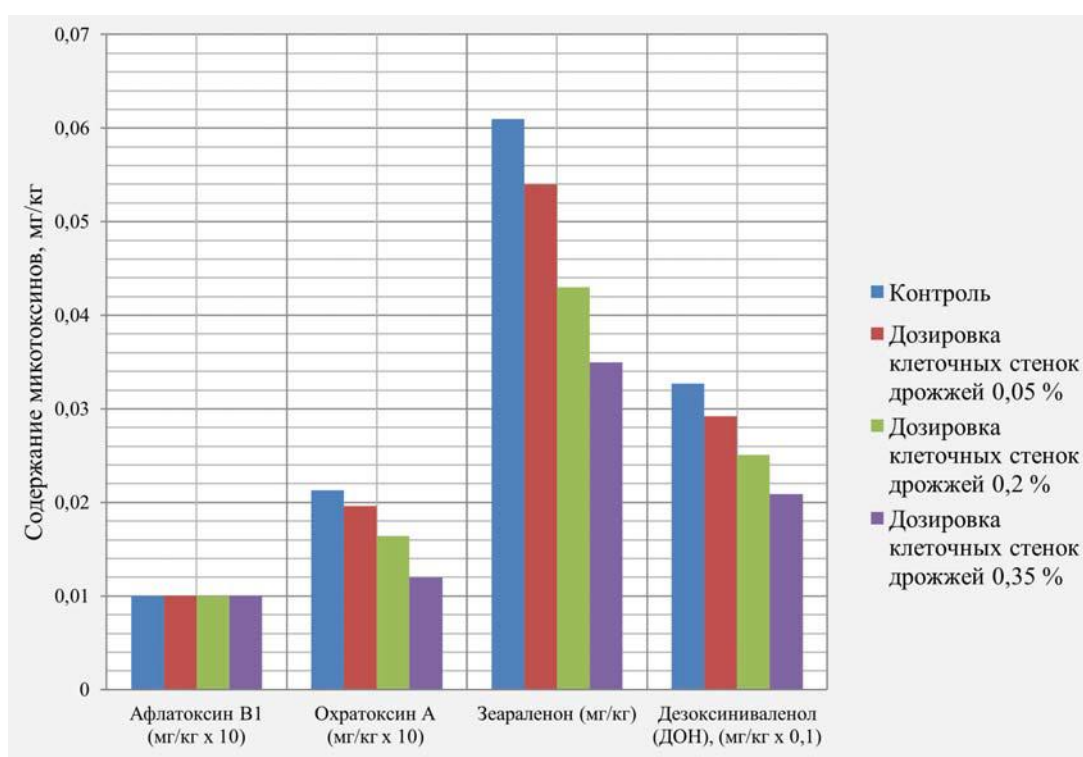


Рис. 5. Результат исследования адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей  
Fig. 5. The result of a study of the adsorption capacity of the cell walls of yeast

В результате эксперимента установлено, что внесение клеточных стенок гидролизованных дрожжей в контаминированную микотоксинами среду в количестве 0,05 % позволяет снизить содержание охратоксина А с 0,00213 до 0,00196 мг/кг, содержание зеараленона с 0,061 до 0,059 мг/кг, содержание дезоксиваленола с 0,00327 мг/кг до 0,00292 мг/кг. Увеличение дозировки клеточных стенок гидролизованных дрожжей в контаминированную микотоксинами среду с 0,05 % до 0,35 % позволяет снизить содержание охратоксина А с 0,00196 до 0,0012 мг/кг, содержание зеараленона с 0,059 до 0,054 мг/кг, содержание дезоксиваленола с 0,00292 мг/кг до 0,00209 мг/кг.

**Заключение.** В результате проведенных исследований научно-обоснована технология получения адсорбента микотоксинов на основе избыточных пивных дрожжей, включающая: подготовку избыточных пивных дрожжей; использование для гидролиза ферментного комплекса α-амилаза + протеаза + глюкоамилаза + липаза + маннанназа; массовая доля сухих веществ дрожжевой суспензии 15 – 20 %; поэтапная ферментативная обработка: I этап – при температуре 45 – 52 °С в течение 25 – 120 минут, II этап – при температуре 58 – 65 °С в течение 30 – 120 минут, III этап: при температуре 70 – 75 °С в течение 20 – 120 минут; сепарирование дрожжевого гидролизата; сушку клеточ-

ных стенок дрожжей на распылительной сушилке по следующим режимам: температура входящего в сушильную камеру воздуха 175 — 185 °С, температура выходящего из сушильной камеры воздуха 70 — 80 °С; массовая доля сухих веществ в смеси, поступающей на сушку  $15 \pm 5$  %; температура смеси, поступающей на сушку 65 — 85 °С.

По результатам исследований адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей установлено, что сухие клеточные стенки гидролизованных дрожжей обладают высокой адсорбционной способностью к высокомолекулярным микотоксинам в дозировке от 0,05 % (охратоксин А, зеараленон, дезоксиваленон) и не адсорбируют низкомолекулярный микотоксин — афлатоксин В<sub>1</sub>.

### Список использованных источников

1. Природные загрязнители кормов. В чем опасность кормовых компонентов с микотоксинами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/35569-prirodnye-zagryazniteli-kormov-v-chem-opasnost-kormovykh-komponentov-s-mikotoksinami>. — Дата обращения: 20.05.2022.
2. Кузнецов, А. Ф. Ветеринарная микология / А.Ф. Кузнецов. — СПб.: Издательство «Лань», 2001. — 416 с.
3. Дорофеева, С. Микотоксикозы / С. Дорофеева // Птицеводство. — 2003. — № 6. — С. 24–26.
4. Сурай, П. Как микотоксины работают на молекулярном уровне / П. Сурай // Птицеводство. — 2004. — № 8. — С. 25–26.
5. Ветеринарно-санитарные правила обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов», утв. постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 10.02.2011 г. № 10.
6. Кунце, В. Технология солода и пива / В Кунце. — СПб.: Профессия, 2009. — 1064 с.
7. Федоренко, Б. Н. Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли / Б. Н. Федоренко. — СПб.: Профессия, 2009. — 1000 с.
8. Коновалов, С. А. Биохимия бродильных производств / С.А. Коновалов. — М.: Пищевая промышленность, 1967. — 311с.
9. Sifri, M. A summary of a panel discussion on safety levels for mycotoxins / M. Sifri // The World Mycotoxin Forum the fourth conference, November 6–8, 2006, Cincinnati, Ohio, USA. Abstracts of lectures and posters. — P. 90–91.
10. Егорова, Н. С. Промышленная микробиология: учебное пособие для вузов по спец. «Микробиология» и «Биология» / Н.С. Егорова; под ред. Н.С. Егорова. — М.: Высшая школа, 1989. — 688 с.
11. Блинов, Н. П. Химия микробных полисахаридов: учебное пособие для вузов по спец. «Фармация». «Биология» / Н.П. Блинов. — М.: Высшая школа, 1984. — 256 с.
12. Каледина, Т. С. Роль белков в формировании молекулярной структуры клеточной стенки дрожжей / Т. С. Каледина, К. С. Кулаев // Успехи биологической химии. — 2001. — Т.41. — С. 105–130.
13. Devegowda, G. Influence of modified mannan oligo-saccharides on broilers exposed to individual and combined mycotoxicoses of aflatoxin, ochratoxin and T-2 toxin / G. Devegowda // Abstract No. 229, PSA'99 University of Arkansas, Springdale, August 8–11, 1999. — P. 52.
14. Schatzmayr, W. Mycotoxin deactivating feed additives in animal nutrition / W. Schatzmayr, D. Moll, U. Hofstetter, E. Vekiru, D. Schatzmayr, Y.H. Cheng. — BOKU-Symposium Tiererhaltung, 02 Nov. 2006, Wien. — P. 47–53.
15. Compositions and methods for removal of mycotoxins from animal feed: патент № 6045834 US, 2000
16. Кужаков, В. Препарат для защиты зерна и кормов от плесени и микотоксинов / В. Кужаков, Т. Айдинян // Комбикорма. — 2000. — № 6. — С. 38–39.
17. Зинатуллин, Р. Р. Токсикологическая оценка Т-2 токсина и афлатоксина В<sub>1</sub> при сочетанном их воздействии на организм животных: автореф. дисс. ... канд. биол. наук / Р. Р. Зинатуллин. — Казань, 1999. — 26 с.
18. Оценка адсорбции микотоксинов клеточной стенкой дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* / Р.А. Ахмадышин [и др.] // «Биотехнология: состояние и перспективы развития»: материалы Четвертого Московского межд. конгресса (Москва, 12-16 марта, 2007 г.). — М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. — С. 251.
19. Тугельян, В. А. Природные токсины и проблемы биобезопасности / В.А. Тугельян // Тезисы докладов 2-го съезда токсикологов России. — М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2003. — С. 32–35.
20. Lyons, T. P. The Feed Industry 2001: Its most Exciting hour / T.P. Lyons // Responding to a Changing Agricultural Landscape. Alltech's European, Middle Eastern and African Lecture Tour 2001. February 5 — March 8, 2001. — P. 1–21.



21. Nutritional biotechnology in the feed and food industries. Abstracts of posters presented / S.I. Viera [et al.], // Proceedings of the 20th Annual Symposium (Suppl.1) May 24–26, 2004, Lexington. Kentucky. USA. — P. 90.
22. ГОСТ 26188-84 Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения pH [Текст]. — Введ. 1985-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2010. — 18 с.
23. ГОСТ 31764-2012 Пиво. Метод определения pH. — Введ. 2013-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2013. — 16 с.
24. ГОСТ 28562-90 Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ [Текст]. — Введ. 1991-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2010. — 18 с.
25. ГОСТ 31748-2012 (ISO 16050:2003) Продукты пищевые. Определение афлатоксина В1 и общего содержания афлатоксинов В1, В2, G1 и G2 в зерновых культурах, орехах и продуктах их переработки. Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. — Введ. 2013-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2013. — 14 с.
26. МУК 4.1.2204-07 Обнаружение, идентификация и количественное определение охратоксина А в продовольственном сырье и пищевых продуктах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: Методические указания. — Введ. 2007-08-01. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007. — 12 с.
27. ГОСТ 31691-2012 Зерно и продукты его переработки, комбикорма. Определение содержания зеараленона методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. — Введ. 2013-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2013. — 16 с.
28. СТБ ГОСТ Р 51116-2002 Комбикорма, зерно, продукты его переработки. Метод определения содержания дезоксиниваленола (вомитоксина). — Введ. 2003-01-01. — М.: Госстандарт Республики Беларусь: БелГИСС, 2003. — 14 с.
29. Соловьёв, В. В. Ферментативный гидролиз и сепарирование избыточных пивных дрожжей для получения продуктов пищевого и кормового назначения / В. В. Соловьёв, Е. М. Моргунова // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. — 2019. — № 2 (27). — С. 68–78.

#### Информация об авторах

*Соловьёв Виталий Владимирович* — и.о. начальника отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: solovyoffg@gmail.com

*Моргунова Елена Михайловна* — кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по стандартизации и качеству продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: mti67@rambler.ru

#### Information about authors

*Solovyov Vitaly Vladimirovich* — Acting Head of the Technology Department for Alcoholic and Non-Alcoholic Products RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: solovyoffg@gmail.com

*Marhunova Alena Mikhailovna* — PhD (Engineering), Associate Professor, Deputy Director General for Standardization and Food Quality RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mti67@rambler.ru