

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2392>
<https://elibrary.ru/PUYMSY>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние дрожжевых биосорбентов на качество вина



Н. М. Агеева*^{ORCID}, А. Н. Тихонова^{ORCID},
Б. В. Бурцев^{ORCID}, А. А. Храпов^{ORCID}

Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия^{ORCID}, Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 09.03.2022
Принята после рецензирования: 28.03.2022
Принята к публикации: 05.04.2022

*Н. М. Агеева: ageyeva@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>
А. Н. Тихонова: <https://orcid.org/0000-0002-3509-3345>
Б. В. Бурцев: <https://orcid.org/0000-0001-9755-5384>
А. А. Храпов: <https://orcid.org/0000-0001-6436-1970>

© Н. М. Агеева, А. Н. Тихонова, Б. В. Бурцев, А. А. Храпов, 2022



Аннотация.

В виноделии для улучшения органолептических характеристик вина и стабилизации пигментов и ароматических свойств применяют препараты, полученные из клеток винных дрожжей. Цель работы – получение дрожжевого биосорбента и изучение его влияния на органолептические и физико-химические показатели вина, а также оценка сорбционной способности в отношении катионов тяжелых металлов.

Объектами исследования являлись красные и белые вина, обработанные биосорбентом, которые получили по авторской технологии из дрожжевых отходов виноделия. В качестве контроля использовался коммерческий препарат глутаром (Франция). В работе применялись физико-химические, органолептические и биохимические методы исследования в соответствии с действующими стандартами.

В ходе исследования было установлено, что дрожжевые биосорбенты практически не оказывают влияния на объемную долю этилового спирта и массовую концентрацию сахаров и титруемых кислот в вине. Отмечено снижение массовой концентрации летучих кислот (в пересчете на уксусную): при обработке белого вина на 20 %, красного – на 50 %. С увеличением дозировки сорбента массовая концентрация приведенного экстракта снижалась на 0,2–0,7 г/дм³. При обработке белого виноматериала концентрация белка снизилась в 1,5–1,8 раза, полисахаридов – на 110–115 мг/дм³. Содержание фенольных соединений снизилось на 13–37 % (в зависимости от дозировки сорбента) за счет их конденсированных форм. Исследованные дрожжевые биосорбенты эффективно сорбировали катионы металлов, в том числе токсичных элементов. Установили разное время сорбции исследуемых катионов металлов. С увеличением дозировки биосорбентов эффективность их сорбционного действия возрастала. В винах, обработанных биосорбентами, улучшились органолептические показатели. Наибольшие улучшения были отмечены в красных винах: более мягкий, округлый и гармоничный вкус и яркий аромат с выраженными сортовыми тонами.

Авторы отметили идентичность влияния биосорбента, приготовленного из дрожжевых отходов виноделия, и коммерческого препарата глутаром, произведенного из автолизированных винных дрожжей. Биосорбенты обладают высокими сорбционными свойствами к фенольным катионам металлов, в том числе к токсичным элементам. Применение биосорбента для обработки виноматериалов способствует улучшению органолептических показателей вин. Разработанные биосорбенты могут стать аналогами импортных коммерческих препаратов и найти свое применение на винодельческих предприятиях.

Ключевые слова. Инактивированные дрожжи, виноматериалы, вино, биосорбенты, фенольные соединения, тяжелые металлы, сорбция

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/22.

Для цитирования: Влияние дрожжевых биосорбентов на качество вина / Н. М. Агеева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 631–639. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2392>

Effect of Yeast Biosorbents on Wine Quality



Natalia M. Ageyeva*^{ID}, Anastasia N. Tikhonova^{ID},
Boris V. Burtsev^{ID}, Anton A. Khrapov^{ID}

North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture,
Viticulture and Winemaking^{ROR}, Krasnodar, Russia

Received: 09.03.2022
Revised: 28.03.2022
Accepted: 05.04.2022

*Natalia M. Ageyeva: ageyeva@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>
Anastasia N. Tikhonova: <https://orcid.org/0000-0002-3509-3345>
Boris V. Burtsev: <https://orcid.org/0000-0001-9755-5384>
Anton A. Khrapov: <https://orcid.org/0000-0001-6436-1970>

© N.M. Ageyeva, A.N. Tikhonova, B.V. Burtsev, A.A. Khrapov, 2022



Abstract.

Foreign food industries know a variety of products derived from wine yeast cells. These products are used to improve the sensory properties of wine. This article describes the effect of a new yeast biosorbent on the sensory and physicochemical properties of white and red wine, e.g., their sorption capacity for heavy metals.

The research featured red and white wines treated with the novel biosorbent. Glutarom (France) served as control. The study relied on various physicochemical, organoleptic, biochemical, and microbiological methods.

The biosorbent affected neither the volume fraction of ethyl alcohol nor the mass concentration of sugars and titrated acids. However, the biosorbent reduced the mass concentration of volatile acids in terms of acetic acid: it decreased by 20% in the white wines and by 50% in the red wine samples. The mass concentration of the reduced extract decreased by 0.2–0.7 g/dm³ as the amount of sorbent increased. In the white wine samples, the protein concentration decreased by 1.5–1.8 times, while the concentration of polysaccharides decreased by 110–115 mg/dm³. The content of phenolic compounds decreased by 13–37%, depending on the amount of the sorbent, due to their condensed forms. The biosorbent reduced the value of the redox potential. The yeast sorbents effectively adsorbed metal cations, including those of heavy metals. A set of experiments also revealed the difference in sorption time for different metal cations. The effectiveness of the biosorbent was dose-dependent. The wines treated with the biosorbent had better sensory assessment results, especially the red wine samples. They had a soft, round, and harmonious flavor and a bright aroma with pronounced varietal tones.

The novel biosorbent proved to have a good sorption capacity for phenolic compounds, as well as cations of toxic metals. It improved the sensory profile of the red and white wines. This biosorbent can substitute their imported analogs in the Russian wine industry.

Keywords. Inactivated yeasts, winemaking by-products, white and red wines, biosorbent, phenolic compounds, heavy metal ions, sorption

Funding. The research was supported by the Kuban Science Foundation, project No. МФИ-20.1/22.

For citation: Ageyeva NM, Tikhonova AN, Burtsev BV, Khrapov AA. Effect of Yeast Biosorbents on Wine Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):631–639. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2392>

Введение

Академик В. И. Вернадский в 1965 г. отметил способность живых и инактивированных клеток микроорганизмов взаимодействовать с различными металлами в водной среде и концентрировать отдельные элементы на своей поверхности с целью последующего использования.

Вино – продукт жизнедеятельности винных дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae* – является электролитом, в состав которого входят различные катионы металлов, микро- и макроэлементы, а также

токсичные элементы в нормируемых количествах. Продолжительный контакт виноматериала с дрожжами – обычная энологическая практика. Ее целью является улучшение качества вина, стабилизация его аромата и обогащение ценными компонентами дрожжевой клетки, в том числе азотистыми соединениями, смягчающими вкус вина, ароматическими компонентами, аминокислотами, глицерином и т. п. [1, 2]. Для этого используют дрожжевые осадки, образующиеся в результате производства вина – сбрасывания виноградного

сула чистыми культурами винных дрожжей рода *S. cerevisiae*. По завершении алкогольного брожения дрожжевые клетки выпадают в осадок, формируя подвижную и рыхлую субстанцию – жидкие дрожжевые осадки.

Жидкие дрожжевые осадки отделяются от виноматериала путем прессования с использованием пневматических или тканевых прессов, фильтрации или центрифугирования. Полученные таким образом плотные дрожжевые осадки, не содержащие вина, утилизируют, в том числе перерабатывают с получением новых продуктов, включая дрожжевые биосорбенты. Кроме винной кислоты и этилового спирта, дрожжевые осадки содержат все незаменимые аминокислоты, витамины и высокомолекулярные полисахариды (маннан, маннопротеины, глюкан и трегалозу), а также их комплексные соединения (липополисахариды и липопротеины). В связи с этим дрожжевые осадки являются ценным сырьем для получения дрожжевых оболочек – биосорбентов, которые применяются для осветления и стабилизации винопродукции, в качестве питательных добавок для кормовых смесей животных, а также для производства других биотехнологических продуктов [3–8].

Учеными и специалистами было разработано большое количество разнообразных коммерческих продуктов, полученных из клеток винных дрожжей и применяемых для обработки винодельческой продукции с целью улучшения ее органолептических характеристик, стабилизации пигментов и ароматических свойств, предотвращая их окисление. Этими продуктами являются инактивированные по специальным технологиям винные дрожжи, клеточные стенки и маннопротеины, применяемые в контексте выдержки виноматериала, и экстракты белков дрожжей для оклейки виноматериала. Отечественные предприятия приобретают такие препараты (глутаром, элевит, биопротект, фулпротект, натуралис и др.) за рубежом, преимущественно во Франции, хотя технология их получения проста и не требует существенных финансовых затрат [9, 10]. Основу технологии составляют такие приемы, как термическая обработка дрожжевой биомассы, ее очистка от балластных примесей, преимущественно белково-липидного комплекса, и последующая лиофильная сушка. При необходимости производят активацию поверхности полученных оболочек с целью сосредоточения на их поверхности активных центров, несущих определенный электрокинетический потенциал.

В последние 30 лет в нашей стране дрожжевые осадки не перерабатываются, их разбавляют водой и подвергают перегонке с получением спирта-сырца. Плотные дрожжевые осадки вывозят с территории винодельческих предприятий на виноградники и перепахивают.

В зависимости от технологии производства вина и расы дрожжей выход дрожжевых осадков составляет от 3 до 8 % от объема произведенного вина. Переработка такого количества вторичного сырья может обеспечить дрожжевыми оболочками-биосорбентами 2–3 крупных винодельческих предприятия. В связи с этим актуальным вопросом является разработка технологии производства дрожжевого биосорбента из дрожжевых отходов виноделия и исследование его сорбционного действия для дальнейшего применения в винодельческой промышленности при обработке виноматериалов.

Цель работы – оценка влияния дрожжевого биосорбента из дрожжевых осадков винодельческого производства, полученного по авторской технологии, на органолептические и физико-химические показатели белого и красного вина, в том числе на содержание токсичных элементов (тяжелых металлов).

Объекты и методы исследования

В работе использовались плотные дрожжевые осадки, полученные путем прессования жидких дрожжевых осадков на различных предприятиях Краснодарского края в 2021 г. Физиологическое состояние дрожжей было различным: содержались как живые (около 75 %), так мертвые клетки.

Для производства биосорбента плотные дрожжевые осадки трехкратно промывали дистиллированной водой с целью удаления различных балластных примесей и механических включений. Дрожжевые осадки считали хорошо промытыми, если жидкость на их поверхности становилась прозрачной. По окончании промывания в образовавшийся жидкий дрожжевой осадок вносили 3–4-кратный объем 0,1 N раствора соляной кислоты и 5–6 стеклянных шариков (на 1 дм³ суспензии) диаметром 8–10 мм (для большего диспергирования суспензии). Суспензию помещали на платформу горизонтального встряхивателя АВУ 6С и проводили перемешивание в течение 3 ч при скорости встряхивания 150 об/мин. По окончании процесса суспензию снова промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и центрифугировали. Образовавшуюся твердую массу (дрожжевой биосорбент) сушили в сушильном шкафу при температуре 60–65 °С до постоянной массы. Затем диспергировали с помощью электромельницы и рассеивали с помощью сит, выделяя сорбент с размером частиц 0,4–0,5 мм. Полученный биосорбент использовали для обработки белых и красных виноматериалов с целью оценки его влияния на физико-химические и органолептические показатели продукции. Физико-химические показатели качества виноматериалов определяли традиционными методиками в соответствии с действующими стандартами:

– объемную долю этилового спирта – ареометром в дистилляте после перегонки виноматериалов;

- массовую концентрацию титруемых кислот – титрованием аликвоты виноматериала 0,1 N раствором едкого натра в присутствии индикатора бромтимолового синего и с применением потенциометра до получения нейтральной реакции;
- массовую концентрацию летучих кислот – путем титрования 0,1 N раствором едкого натра летучих кислот, выделенных из продукта путем перегонки с водяным паром;
- массовую концентрацию приведенного экстракта – методом, основанным на высушивании при температуре 105 ± 2 °C до постоянной массы остатка, полученного в результате выпаривания определенного объема виноматериала в выпарительной чашке, доведенной до постоянной массы. Массовую концентрацию приведенного экстракта вычисляют по разности значений массовой концентрации общего экстракта и массовой концентрации сахаров, определенной методом Бертрана;
- массовую концентрацию белка – по методу Лоури с предварительным построением калибровочного графика по альбумину;
- массовую концентрацию суммы полисахаридов – колориметрически фенолсерным методом Дише;
- массовую концентрацию суммы фенольных соединений – спектральным методом с применением реактива Фолина-Чокальтеу;
- величину окислительно-восстановительного потенциала – потенциометрически;
- интенсивность окраски – спектрофотометрическим способом путем сложения величин оптической плотности при длинах волн 420 и 540 нм;
- массовую концентрацию катионов металлов, в том числе токсичных элементов, – методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием прибора Квант-Z (Россия) с предварительным озелением проб.

Для обработки белых и красных виноматериалов в цилиндры вместимостью 200 см³ вносили данные виноматериалы и биосорбент в дозировке 0,2 и 0,5 г/дм³, перемешивали вручную и оставляли в покое до полного осветления виноматериала (18–20 ч). В качестве контроля использовали препарат глутаром (Франция), являющийся продуктом переработки дрожжевых осадков. Обработку виноматериалов глутаромом проводили аналогично экспериментальным образцам биосорбентов в дозировке 0,5 г/дм³.

Аналитические исследования проведены на базе научного центра «Виноделие» и ЦКП «Приборно-аналитический» ФГБНУ СКФНЦСВВ. Органолептический анализ виноматериалов до и после обработки биосорбентами включал оценку внешнего вида (прозрачность), цвета, вкуса и аромата вина и проводился дегустационной комиссией научного центра «Виноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ, в состав которой входили эксперты-дегустаторы.

Результаты и их обсуждение

Применение биосорбента способствовало улучшению качественных показателей вин (табл. 1). Объемная доля этилового спирта и массовая концентрация сахаров не претерпевали существенных изменений. Отмечено небольшое снижение массовой концентрации титруемых кислот. Массовая концентрация летучих кислот (в пересчете на уксусную) при обработке белых вин уменьшалась на 20 %. С увеличением дозировки биосорбента до 0,5 г/дм³ массовая концентрация летучих кислот в красных винах уменьшилась в 1,5 раза, что способствовало улучшению их аромата и вкуса. Это позволяет рекомендовать применение дрожжевого биосорбента для обработки вин с повышенной концентрацией летучих кислот. Массовая концентрация приведенного экстракта снижалась на 0,2–0,7 г/дм³ с увеличением дозировки сорбентов. При обработке белого вина в 1,5–1,8 раза снижалась массовая концентрация белка, на 110–115 мг/дм³ – массовая концентрация полисахаридов. Это способствует пролонгированию коллоидных помутнений, в том числе белково-полисахаридной природы.

Изменения физико-химических показателей произошли в результате обработки красного виноматериала. Произошло снижение содержания фенольных соединений на 13–37 % (в зависимости от дозировки сорбента), связанное с сорбцией конденсированных полифенолов. Их наличие обуславливает появление нежелательных коричневых и гранатовых оттенков в цвете красного вина. Антоцианы, ответственные за интенсивность окраски, не претерпевали существенных изменений: их концентрация уменьшалась на 2,3–5,1 % при дозировке биосорбента в количестве 0,2 и 0,5 г/дм³ соответственно. Полученные результаты коррелируют с величиной окислительно-восстановительного потенциала красного вина: его значение снизилось с 203 мВ в необработанном виноматериале до 164–180 мВ в образцах, обработанных биосорбентами.

В результате проведенных исследований установлено, что кинетика снижения концентрации полифенолов при обработке красных виноматериалов биосорбентами состоит из двух фаз. Первая фаза снижения концентрации полифенолов прошла за первые 1–2 часа, вторая – за несколько суток. Сначала в течение 1–2-х ч сорбировалось большее количество полифенолов (примерно 60–70 % от общего количества сорбированных фенольных веществ). При обработке биосорбентом в количестве 0,5 г/дм³ (табл. 1) общее снижение концентрации фенольных соединений составило 200 мг/дм³, из которых 120–140 мг/дм³ были сорбированы в первые 1–2 ч взаимодействия. Остальные 60–80 мг/дм³ – в течение последующих 3–4-х суток. Основную долю

Таблица 1. Влияние обработки виноматериалов биосорбентом на физико-химические показатели белого и красного вина

Table 1. Effect of the new biosorbent on the physicochemical profile of white and red wine

Наименование показателя	Необработанный виноматериал	Вино обработанное		
		Биосорбентом		Глутаромом, 0,5 г/дм ³
		0,2 г/дм ³	0,5 г/дм ³	
Белое вино Шардоне				
Объемная доля этилового спирта, %	12,7 ± 0,1	12,7 ± 0,1	12,6 ± 0,1	12,6 ± 0,1
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,3 ± 0,2
Массовая концентрация титруемых кислот в пересчете на винную кислоту, г/дм ³	6,8 ± 0,1	6,4 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,4 ± 0,1
Массовая концентрация летучих кислот в пересчете на уксусную кислоту, г/дм ³	0,56 ± 0,04	0,44 ± 0,03	0,44 ± 0,03	0,44 ± 0,03
Массовая концентрация приведенного экстракта, г/дм ³	25,4 ± 0,4	25,2 ± 0,4	25,0 ± 0,4	24,7 ± 0,4
Массовая концентрация белка, мг/дм ³	12,3 ± 0,2	8,2 ± 0,1	6,8 ± 0,1	7,2 ± 0,1
Массовая концентрация полисахаридов, мг/дм ³	650 ± 2	540 ± 2	500 ± 2	520 ± 2
Массовая концентрация суммы фенольных соединений, мг/дм ³	144 ± 1	132 ± 1	128 ± 1	126 ± 1
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	184 ± 2	154 ± 2	147 ± 2	145 ± 2
Красное вино Мерло				
Объемная доля этилового спирта, %	14,3 ± 0,1	14,3 ± 0,1	14,2 ± 0,1	14,2 ± 0,1
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	3,0 ± 0,2	2,8 ± 0,2	2,8 ± 0,2	2,4 ± 0,2
Массовая концентрация титруемых кислот в пересчете на винную кислоту, г/дм ³	6,0 ± 0,1	6,0 ± 0,1	5,8 ± 0,1	5,8 ± 0,1
Массовая концентрация летучих кислот в пересчете на уксусную кислоту, г/дм ³	0,64 ± 0,04	0,60 ± 0,04	0,40 ± 0,03	0,52 ± 0,03
Массовая концентрация приведенного экстракта, г/дм ³	28,6 ± 0,4	28,2 ± 0,4	27,8 ± 0,3	27,3 ± 0,3
Массовая концентрация белка, мг/дм ³	15,7 ± 0,3	13,8 ± 0,2	10,4 ± 0,1	10,0 ± 0,1
Массовая концентрация полисахаридов, мг/дм ³	840 ± 4	800 ± 3	770 ± 3	770 ± 3
Массовая концентрация суммы фенольных соединений, мг/дм ³	3120 ± 9	3020 ± 9	2920 ± 9	2860 ± 8
в том числе антоцианов	540 ± 2	523 ± 2	513 ± 2	510 ± 2
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	203 ± 2	180 ± 2	164 ± 2	167 ± 2

осажденных биосорбентами полифенолов составляли их полимерные формы, что согласуется с данными [11–13]. Такая кинетика изменения концентрации фенольных соединений может быть связана не столько с электростатическим взаимодействием между отрицательно заряженными полифенолами виноматериала и белками поверхностного слоя биосорбентов, сколько с их адгезией и взаимодействием с активными центрами.

При обработке белого виноматериала отмечено небольшое снижение концентрации фенольных соединений, которое влияет на его окраску: исчезли золотистые тона и вино приобрело соломенные оттенки. Также улучшился вкус вина: при дегустации контрольного образца отмечались легкие тона окисленности и редукции, исчезнувшие после обработки биосорбентами.

В полученных образцах установлена интенсивность цвета (рис. 1), которую рассчитывали для белых вин путем сложения оптических плотностей толщины слоя вина при длинах волн 420 и 520 нм, красных – 420,

520 и 620 нм [14]. В красных винах дополнительно установлена доля красного оттенка, определяемая при длине волны 520 нм. В образцах белых вин, где использовали биосорбент, интенсивность составила от 0,15 до 0,17, в контроле – 0,23, в красных обработанных винах – от 1,22 до 1,30, в контроле – 1,35. Доля красного оттенка в контроле составила 63 %, в обработанных винах – от 68 до 73 %, что подтверждает более яркую и насыщенную окраску красных вин.

Уменьшилась величина окислительно-восстановительного потенциала: с 184 мВ в исходном образце необработанного белого виноматериала до 145–154 мВ в вариантах, обработанных различными дозировками биосорбента. С увеличением дозировки выявлено большее снижение величины окислительно-восстановительного потенциала.

В винах, обработанных биосорбентами, улучшилась органолептическая оценка (рис. 2). Наибольшие улучшения отмечены в красных винах, которые обладали более мягким, округлым и

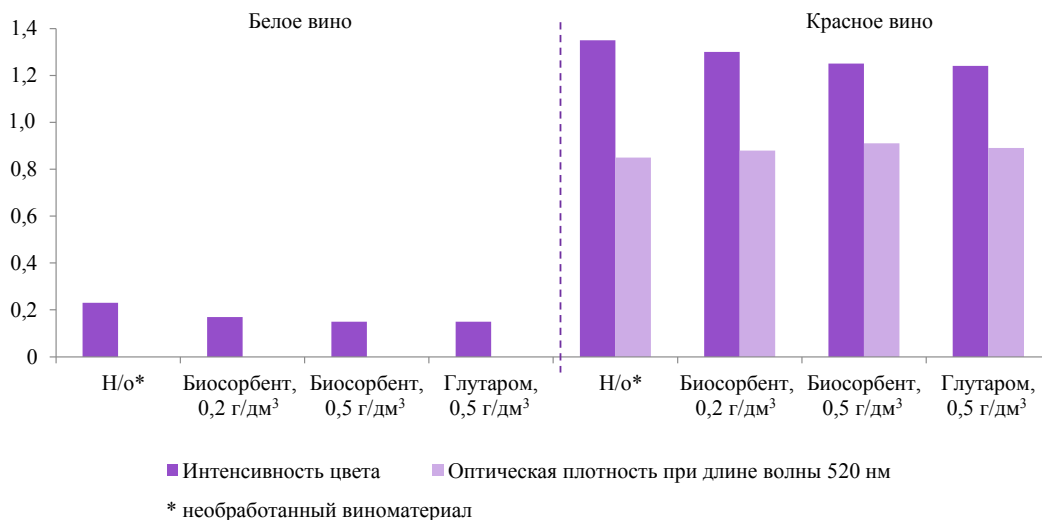


Рисунок 1. Влияние обработок виноматериалов дрожжевыми сорбентами на цветовые характеристики красного и белого вина

Figure 1. Effect of the new yeast sorbents on the color of red and white wine

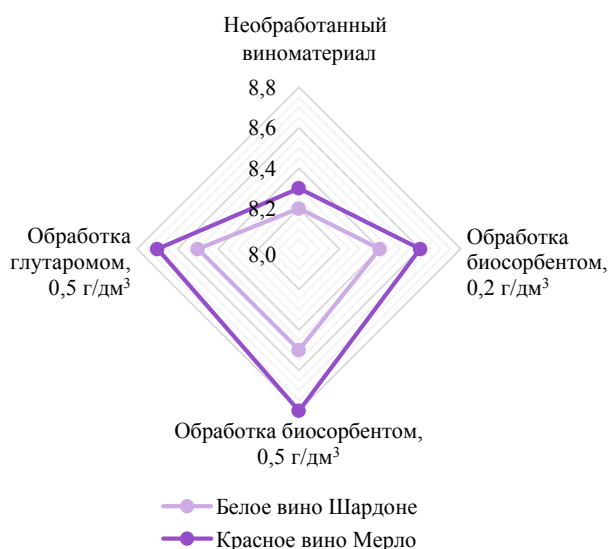


Рисунок 2. Результаты органолептической оценки красного и белого вина в зависимости от проведенных обработок

Figure 2. Sensory evaluation of red and white wines

гармоничным вкусом и ярким ароматом с выраженными сортовыми тонами. В результате обработки в винах ликвидированы тона окисленности, что связано с сорбцией хинонов и конденсированных форм полифенолов [12, 13]. Такая реакция связана с образованием прочных комплексов между маннопротеинами поверхности биосорбентов и танинами вина [11, 12]. Физико-химические взаимодействия между маннопротеинами и полифенолами рассматриваются как ключевой механизм.

Хотя β -глюканы также являются основными компонентами клеточных стенок, их потенциальная роль никогда не рассматривалась [12, 15].

Сравнивая полученные результаты, можно отметить идентичность влияния биосорбента, приготовленного нами из дрожжевых отходов виноделия, и препарата глутаром, произведенного во Франции из автолизированных винных дрожжей. Этот факт позволяет сделать вывод об идентичности механизма действия экспериментальных и промышленных сорбентов.

Дрожжевые оболочки дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae*, состоящие из полисахаридных комплексов и маннопротеинов, являются хорошими сорбентами тяжелых металлов, в том числе токсичных элементов, концентрация которых в винодельческой продукции нормируется ТР ТС 021/2011 [16, 17]. В связи с этим проведено сравнительное исследование сорбционных свойств экспериментальных биосорбентов, полученных из дрожжевых отходов виноделия, с импортным аналогом глутаромом, представляющим собой инактивированные клеточные оболочки, насыщенные глутатионом и специфическими полисахаридами с известной концентрацией маннопротеинов [10].

Исследования проведены на модельных смесях, представляющих собой виноградный виноматериал с добавлением токсичных элементов в виде их растворимых солей азотной кислоты. Дополнительно оценено влияние биосорбентов на концентрации катионов железа и меди, являющихся в виноделии т. н. «технологическими элементами», оказывающими влияние на устойчивость вин к металлическим кассам и коллоидным помутнениям. Дозировка сорбентов

Таблица 2. Изменение массовой концентрации катионов металлов под действием биосорбентов

Table 2. Effect of the new biosorbent on the concentration of metal cations

Элемент	Массовая концентрация катионов металлов в виноматериале, мг/дм ³				
	Необработанным	Обработанным биосорбентом		Обработанным глутаромом	
		0,2 г/дм ³	0,5 г/дм ³	0,2 г/дм ³	0,5 г/дм ³
Белое вино Шардоне					
Кадмий	0,84 ± 0,01	0,31 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,12 ± 0,01
Ртуть	0,020 ± 0,001	0,008 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,008 ± 0,001	0,003 ± 0,001
Мышьяк	0,88 ± 0,01	0,32 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,17 ± 0,01
Свинец	0,75 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,17 ± 0,01
Железо	10,2 ± 0,1	5,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1	6,3 ± 0,1	3,8 ± 0,1
Медь	7,4 ± 0,1	4,6 ± 0,1	2,1 ± 0,1	3,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Красное вино Мерло					
Кадмий	0,76 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,32 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Ртуть	0,020 ± 0,001	Нет	Нет	Нет	Нет
Мышьяк	0,78 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,12 ± 0,01
Свинец	0,72 ± 0,00	0,18 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Железо	9,6 ± 0,1	5,0 ± 0,1	2,7 ± 0,1	5,4 ± 0,1	2,2 ± 0,1
Медь	7,6 ± 0,1	4,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	3,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1

составила 0,2 и 0,5 г/дм³. Выбор винной модельной смеси, а не водной, объясняется следующими факторами. Ранее проведенными исследованиями с помощью электрофореза в полиакриламидной слое доказано, что дрожжи и сорбенты на их основе в водной смеси имеют отрицательный электрокинетический заряд поверхности [18]. При попадании в виноматериал в результате взаимодействия с компонентами винодельческой продукции биосорбенты, как и любые дрожжевые клетки, становятся электронейтральными. При этом на их поверхности сохраняется большое количество активных центров, имеющих как положительный, так и отрицательный заряды. Поэтому проведение экспериментов на винной модельной среде позволяет получить объективные данные о протекании физико-химических процессов при обработке биосорбентами.

Проведенные исследования показали (табл. 2), что дрожжевые сорбенты эффективно сорбировали катионы металлов из модельной среды. Можно отметить следующий факт: сорбция катионов металлов из красного виноматериала была больше, чем у белого. Это связано с наличием высоких концентраций реакционно-способных фенольных соединений, активно взаимодействующих с положительно заряженными катионами металлов. Установлено, что с увеличением дозировки как экспериментального образца биосорбента, полученного из дрожжевых осадков, так и глутарома их сорбционная способность возрастает относительно всех исследованных катионов металлов.

При обработке белого виноматериала биосорбентом отмечена следующая тенденция: массовая концентрация кадмия, в зависимости от дозировки, уменьшалась на 65–86 %, ртути – на 40–67 %,

мышьяка – на 64–80 %, свинца – на 71–83 %, железа – на 56–81 %, меди – на 48–72 %. Близкие результаты получены при использовании глутарома.

При обработке красного виноматериала получены следующие результаты: массовая концентрация кадмия, в зависимости от дозировки, уменьшалась на 70–89 %, ртути – на 100 %, мышьяка – на 70–88 %, свинца – на 75–89 %, железа – на 48–72 %, меди – на 48–86 %.

Такую высокую сорбционную способность биосорбентов можно объяснить исходя из химического состава оболочек винных дрожжей рода *S. cerevisiae*, выполняющих роль клеточного скелета [13, 19]. Их внешний слой состоит из сильно гликозилированных белков – маннопротеинов, а внутренний слой – из β-глюкана и хитина. Глюкан является важным структурным компонентом клеточной стенки, ответственным за поддержание ее прочности. Хитин участвует в построении первичной перегородки клеточной мембраны и ее проницаемости. Эти два слоя связаны между собой ковалентными связями, что приводит к надмолекулярной архитектуре, которая характеризуется физическими и химическими свойствами, включая жесткость, пористость и биосорбцию. Более позднее свойство возникает из-за наличия на поверхности оболочек дрожжей отрицательно заряженных активных центров различной природы, определяющих эффективность биосорбции.

Наличие в структуре биосорбента –СООН-групп позволяет рассматривать сорбцию тяжелых металлов в гетерофазной системе сорбент – водный раствор как ионный обмен на карбоксильных группах [20]. Кроме того, сорбирование катионов металлов клеточными оболочками дрожжей может происходить в

электростатическом поле с помощью отрицательно заряженных фосфорильных, гидроксильных и карбоксильных групп поверхности биосорбентов. При этом процесс сорбции металлов протекает как процесс адгезии – комплексообразование металлсвязывающих белков и металлов на поверхности клеток [21, 22].

Большой интерес представляет исследование кинетики сорбции исследованных катионов металлов. Согласно данным [25] максимальная сорбция тяжелых металлов поверхностью дрожжей рода *S. cerevisiae* из водного раствора, содержащего ионы тяжелых металлов, достигается в течение 5 мин. Проведенные кинетические исследования в белом и красном виноматериалах показали, что достижение состояния равновесия при биосорбции всех исследуемых катионов достигается в различное время контактирования. Это обуславливается многообразием химического состава виноматериалов, содержанием в них различных компонентов, несущих как положительный (белки, аминокислоты, катионы металлов и т. п.), так и отрицательный (полисахариды, фенольные соединения, анионы) заряды поверхности. Установлено, что при обработке белых виноматериалов максимальная сорбция кадмия, железа и меди наблюдалась через 30–35 мин с момента обработки, свинца и мышьяка – через 45–50 мин, ртути – в течение 2-х ч. При обработке красных виноматериалов максимальная сорбция кадмия – через 40–45 мин, железа и меди – через 50 мин, свинца и мышьяка – через 55–60 мин, ртути – в течение 3-х ч. На протяжении следующих 30–60 мин десорбции ионов металлов не наблюдалось. Это свидетельствует о возникновении прочных связей с функциональными группами поверхностного аппарата биосорбентов.

Выводы

Биосорбенты, полученные из дрожжевых отходов винодельческой промышленности, обладают высокими сорбционными свойствами к фенольным соединениям и к катионам металлов, в том числе к токсичным элементам виноматериалов.

Высокая сорбционная способность дрожжевых биосорбентов объясняется электростатическим механизмом, связанным с наличием на их поверхности активных центров различной природы, а также с комплексообразованием металлсвязывающих белков и металлов на поверхности биосорбента. С увеличением дозировки биосорбентов эффективность их действия возрастает. Отмечено разное время сорбции исследуемых катионов металлов. Выявлено снижение концентрации фенольных соединений не только в красных, но и в белых винах. Антоцианы, ответственные за интенсивность окраски в красных винах, не претерпевали существенных изменений. Биосорбенты не оказывают значительного влияния на объемную долю этилового спирта, массовую концентрацию сахаров и титруемых кислот и способствуют снижению массовой концентрации летучих кислот (в пересчете на уксусную кислоту), белка и полисахаридов. Применение биосорбента для обработки виноматериалов способствует улучшению их органолептических показателей.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за достоверность информации и уникальность разработок.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Alfonzo A, Prestianni R, Gaglio R, Matraxia M, Maggio A, Naselli V, et al. Effects of different yeast strains, nutrients and glutathione-rich inactivated yeast addition on the aroma characteristics of Catarratto wines. *International Journal of Food Microbiology*. 2021;360. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109325>
2. Berbegal C, Polo L, García-Esparza MJ, Lizama V, Ferrer S, Pardo I. Immobilisation of yeasts on oak chips or cellulose powder for use in bottle-fermented sparkling wine. *Food Microbiology*. 2019;78:25–37 <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.09.016>
3. Bahut F, Romanet R, Sieczkowski N, Schmitt-Kopplin P, Nikolantonaki M, Gougeon RD. Antioxidant activity from inactivated yeast: Expanding knowledge beyond the glutathione-related oxidative stability of wine. *Food Chemistry*. 2020;325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126941>
4. Petruzzi L, Baiano A, De Gianni A, Sinigaglia M, Corbo MR, Bevilacqua A. Differential adsorption of Ochratoxin A and anthocyanins by inactivated yeasts and yeast cell walls during simulation of wine aging. *Toxins*. 2015;7(10):4350–4365. <https://doi.org/10.3390/toxins7104350>

5. Gabrielli M, Aleixandre-Tudo JL, Kilmartin PA, Sieczkowski N, du Toit WJ. Additions of glutathione or specific glutathione-rich dry inactivated yeast preparation (DYP) to Sauvignon blanc must: Effect on wine chemical and sensory composition. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 2017;38(1):18–28. <https://doi.org/10.21548/38-1-794>
6. Ferri M, Vannini M, Ehrnell M, Eliasson L, Xanthakis E, Monari S, *et al.* From winery waste to bioactive compounds and new polymeric biocomposites: A contribution to the circular economy concept. *Journal of Advanced Research*. 2020;24:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.02.015>
7. Řezanka T, Palyzova A, Sigler K. Waste brewery and winery yeast as a raw material for biotechnological productions. *Kvasny Prumysl*. 2017;63(4):158–162. <https://doi.org/10.18832/kp201718>
8. Yeast Products. Yeast products for stabilisation and mouthfeel [Internet]. [cited 2022 Feb 27]. Available from: <https://laffort.com/en/ranges/yeast-products>
9. Ageyeva NM, Tikhonova AN, Globa EV, Biryukova SA. Study of the reological characteristics of yeast and adhesive sediments of grape wines. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2021;67:332–342. (In Russ.). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-1-67-332-342>
10. Biological preparations from yeast [Internet]. [cited 2022 Feb 27]. Available from: <https://ioc.eu.com/ru/products/alternativesru> [Биопрепараты из дрожжей. URL: <https://ioc.eu.com/ru/products/alternativesru> (дата обращения 27.02.2022)].
11. Božič JT, Butinar L, Albreht A, Vovk I, Korte D, Vodopivec BM. The impact of *Saccharomyces* and *non-Saccharomyces* yeasts on wine colour: A laboratory study of vinylphenolic pyranoanthocyanin formation and anthocyanin cell wall adsorption. *LWT*. 2020;123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109072>
12. Dergacheva DI, Mashkova AA, Isakova EP, Gessler NN, Deryabina YuI. Influence of resveratrol and dihydroquercetin on physiological and biochemical parameters of the poly-extremophilic yeast *Yarrowia lipolytica* under temperature stress. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019;55(2):158–165. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0555109919020041>
13. Mekoue Nguela J, Poncet-Legrand C, Sieczkowski N, Vernhe A. Interactions of grape tannins and wine polyphenols with a yeast protein extract, mannoproteins and β -glucan. *Food Chemistry*. 2016;210:671–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.050>
14. Anikina NS, Cherviak SN, Gnilomedova NV. Methods for evaluating the color of wines. The review. *Analytics and Control*. 2019;23(2):158–167. (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.2.003>
15. De Iseppi A, Lomolino G, Marangon M, Curioni A. Current and future strategies for wine yeast lees valorization. *Food Research International*. 2020;137. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109352>
16. Wang J, Chen C. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances*. 2006;24(5):427–451. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.001>
17. Chakraborty R, Asthana A, Singh AK, Jain B, Susan ABH. Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022;102(2):342–379. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1722811>
18. Ageeva NM, Biryukov AP, Awanesianz RW. Biosynthesis of proteinases and pectinases by wine yeasts. *Periodico Tche Quimica*. 2019;16(32):497–508.
19. Giovinazzo G, Carluccio MA, Grieco F. Wine polyphenols and health. In: Mérillon J-M, Ramawat KG, editors. *Bioactive molecules in food*. Cham: Springer; 2019. pp. 1135–1155. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_81
20. Chwastowski J, Staroń P. Influence of *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells immobilized on *Cocos nucifera* fibers for the adsorption of Pb(II) ions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022;632. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127735>
21. Mohebbad B, Bonyadi Z, Dehghan AA, Rahmat MH. Arsenic removal from aqueous solutions using *Saccharomyces cerevisiae*: Kinetic and equilibrium study. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2019;38(S1):S398–S402. <https://doi.org/10.1002/ep.13074>
22. Skugoreva SG, Kantor GYa, Domracheva LI. Biosorption of heavy metals by micromycetes: Specificity of the process, mechanisms, kinetics. *Theoretical and Applied Ecology*. 2019;(2):14–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-014-031>
23. Solopov MV, Legenkiy YuA, Bepalova SV, Holyavka MG. Biosorption of heavy metals ions by yeast cells modified with magnetite nanoparticles. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2019;(1):96–102. (In Russ.). [Бiosорбция ионов тяжелых металлов дрожжевыми клетками, модифицированными наночастицами магнетита / М. В. Солопов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2019. № 1. С. 96–102.].