

УДК 663.263.2

DOI 10.30679/2219-5335-2021-1-67-332-342

**ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДРОЖЖЕВЫХ
И КЛЕЕВЫХ ОСАДКОВ
ВИНОГРАДНЫХ ВИН¹**

Агеева Наталья Михайловна
д-р техн. наук, профессор
главный научный сотрудник
научного центра «Виноделие»
e-mail: ageyeva@inbox.ru

Тихонова Анастасия Николаевна
канд. техн. наук
научный сотрудник
научного центра «Виноделие»
e-mail: anastasia.he@yandex.ru

Глоба Екатерина Владимировна
младший научный сотрудник
научного центра «Виноделие»
e-mail: balandina119@mail.ru

Бирюкова Светлана Александровна
младший научный сотрудник
научного центра «Виноделие»
e-mail: b.svetlana777@mail.ru

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»,
Краснодар, Россия*

Представлены экспериментальные данные
о реологических (вязкопластических)
характеристиках дрожжевых и клеевых
осадков винодельческого производства.
Их знание необходимо для расчета
технологического оборудования
при проектировании линий по переработке

UDC 663.263.2

DOI 10.30679/2219-5335-2021-1-67-332-342

**STUDY
OF THE REOLOGICAL
CHARACTERISTICS
OF YEAST AND ADHESIVE
SEDIMENTS OF GRAPE WINES¹**

Ageyeva Natalia Mikhailovna
Dr. Sci. Tech., Professor
Chief Research Associate
of SC «Wine-making»
e-mail: ageyeva@inbox.ru

Tikhonova Anastasia Nikolaevna
Cand. Tech. Sci.
Research Associate
of SC «Wine-making»
e-mail: Anastasia.he@yandex.ru

Globa Ekaterina Vladimirovna
Junior Research Associate
of SC «Wine-making»
e-mail: balandina119@mail.ru

Biryukova Svetlana Aleksandrovna
Junior Research Associate
of SC «Wine-making»
e-mail: b.svetlana777@mail.ru

*Federal State
Scientific Budget Institution
«North-Caucasian Federal
Scientific Center of Horticulture,
Viticulture, Winemaking»,
Krasnodar, Russia*

Experimental data on the reological
(viscosity-plasticity) characteristics
of yeast and adhesive precipitation
of wine production are presented.
Their knowledge is necessary
for calculating the technological
equipment when designing the recycling

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/22.

¹ The research was carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation in the framework of the scientific project № МФИ-20.1/22

вторичного сырья. В качестве объектов исследования использовали дрожжевые осадки, полученные при производстве белых и красных сортов винограда по различным технологиям. Определение эффективной вязкости дрожжевых и клеевых осадков осуществляли с помощью ротационного вискозиметра «Реотест-2» с цилиндрическим измерительным устройством. Сравнивая величину пластической вязкости дрожжевых осадков белых сортов виноматериалов Шардоне и Совиньон блан, произведенных с использованием одной и той же расы дрожжей, можно отметить ее большее значение у Совиньон блан, что связано с накоплением большего количества экстрактивных компонентов. Наибольшее значение пластической вязкости среди красных вин выявлено в осадках Красностопа АЗОС при брожении мезги. Пластическая вязкость клеевых осадков обуславливалась сортом винограда и видом сорбента, использованного для обработки вина. Установлено, что бентонитовые осадки имели большую величину пластической вязкости в сравнении с желатиновыми. Совместное применение желатина и бентонита для обработки вина привело к незначительному увеличению пластической вязкости клеевого осадка в сравнении с бентонитом. При обработке виноматериалов, особенно красных, поливинилпирролидоном совместно с суспензией бентонита получены более плотные осадки, пластическая вязкость которых имела наиболее высокие значения. Доказано влияние сорта винограда и технологии производства вин на величину пластической вязкости клеевых осадков: с увеличением концентрации высокомолекулярных соединений (коллоидов) в обрабатываемых виноматериалах пластическая вязкость возрастает.

Ключевые слова: ВИНОГРАДНЫЕ ВИНА, ДРОЖЖЕВЫЕ И КЛЕЕВЫЕ ОСАДКИ, ПЛАСТИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ, РЕОЛОГИЯ

lines. Yeast sediments obtained in the production of white and red grapes by different technologies were used as objects of the study. The effective viscosity of yeast and adhesive precipitation was determined by the Reotest-2 rotary viscosimeter with a cylindrical measuring device. Comparing the amount of plastic viscosity of yeast sediments of white wine materials of Chardonnay and Sauvignon blanc, produced using the same race of yeast, it can be noted its greater importance in Sauvignon blanc, which is associated with the accumulation of more extractive components. The greatest importance of plastic viscosity among red wines is revealed in the sediments of the Krasnostop AZOS during the pulp fermentation. Plastic viscosity of sediments precipitation was caused by the grape variety and the type of sorbent used to process wine. It was established that bentonite sediments had a large amount of plastic viscosity in comparison with gelatin sediment. The joint use of gelatin and bentonite to process wine have led to slight increase in the plastic viscosity of adhesive sediment in comparison with bentonite. When processing the wine materials, especially red ones, with polyvinylpyrrolidone together with bentonite suspension, the more dense sediments was obtained, the plastic viscosity of which had the highest values. The effect of grape variety and wine production technology the amount of plastic viscosity of adhesive sediments has been proved: with the increase in the concentration of high-molecular substances (colloids) in processed wine materials, the plastic viscosity increases.

Key words: GRAPE WINES, YEAST AND ADHESIVE SEDIMENTS, PLASTIC VISCOSITY, RHEOLOG

Введение. К числу важнейших отходов винодельческого производства, кроме выжимок, относятся плотные дрожжевые и клеевые осадки. Выход дрожжевых осадков составляет 3-8 % от объема вина и зависит от степени осветления и состава сусла, типа виноматериалов, расы дрожжей, количества сахара в сусле, условий брожения, а также от типа применяемых прессов [1]. По содержанию сухого вещества (в %) винные дрожжевые осадки разделяются на несколько категорий: жидкие винные – до 12, дрожжевая гуща – от 13 до 30, отжатые (прессованные или плотные) – от 31 до 60 [2]. Конечным продуктом являются плотные дрожжевые осадки, которые могут быть вторичным сырьем для производства спирта, энантового эфира, винной кислоты, автолизатов, ферментных концентратов, дрожжевых сорбентов (оболочек), кормов для животных и т.п. [3, 4]. Однако в настоящее время они практически не используются, а закапываются в почву виноградников.

Клеевые осадки образуются в результате осветления вина и придания ему устойчивости против помутнений. Помимо компонентов вина, в их состав входят остатки прореагировавших вспомогательных материалов – белков, глинистых минералов, синтетических сорбентов. Возможно присутствие желтой кровяной соли, применяемой для снижения концентрации железа. Как и дрожжевые, клеевые осадки могут быть источником ценных компонентов. В связи с этим, комплексная переработка дрожжевых осадков экономически выгодна и является необходимым средством борьбы с загрязнениями сточных вод виноделен.

Для комплексной переработки вторичного сырья необходима разработка и конструирование нового технологического оборудования. Реологические свойства осадков играют главную роль при решении вопросов их выгрузки из емкостей, фильтров, работающих под давлением [5-8]. Для этой цели применяют насосное и шнековое оборудование, однако про-

изводительность насосов и шнеков трудно рассчитать без знаний о вязко-пластических свойствах осадков.

Между отдельными компонентами дрожжевых и клеевых осадков действуют разнообразные силы сцепления, определяющие прочность структуры, ее текучесть и пластичность [9, 10]. В состав осадков входят высокомолекулярные полимеры, например клетчатка (целлюлоза), обладающая способностью набухать, что обусловлено особенностями ее строения – капиллярной структурой с множеством гидроксильных групп.

Дрожжевые и клеевые осадки в зависимости от состава, дисперсного строения и структуры обладают различными реологическими свойствами и текстурными отличительными признаками, к которым относятся [10, 11]:

- дисперсная система – пастообразная;
- типичные реологические свойства – неньютоновская вязкость, тиксотропия, реолексия, вязкоупругость.

Неньютоновские жидкости – это системы с частицами, имеющими несферическую форму и способными деформироваться, а также структурированные дисперсные системы [10, 12, 13]. Кроме того, с увеличением концентрации дисперсной фазы, особенно в клеевых осадках, усиливается взаимодействие между частицами, что приводит к значительному отклонению от уравнения Эйнштейна, и поведение структурированной жидкообразной системы отличается от поведения ньютоновской жидкости – для них наблюдается зависимость вязкости от напряжения сдвига [10, 13, 14].

Для характеристики течения таких систем используют эффективную (или структурную) вязкость ($\eta_{эфф}$), которая в отличие от пластической вязкости является переменной и зависит от напряжения сдвига [9, 10, 11]. Величина $\eta_{эфф}$ характеризует добавочное сопротивление течению жидкости со стороны сеткообразных структур. Таким образом, вязкость структурированных жидкостей можно рассматривать как сумму

вязкости, обусловленной ньютоновским течением неструктурированной жидкости и эффективной вязкости η , Па·с.

Цель работы – определить величину эффективной вязкости дрожжевых и клеевых осадков виноградных вин.

Объекты и методы исследований. Объектами проводимых нами исследований были:

– плотные дрожжевые осадки, образовавшиеся в результате сбраживания сусла белых сортов винограда Шардоне и Совиньон блан, красных – Каберне Совиньон, Саперави и Красностоп АЗОС;

– плотные дрожжевые осадки, образовавшиеся в результате сбраживания мезги красных сортов винограда Каберне Совиньон, Саперави и Красностоп АЗОС;

– плотные клеевые осадки вышеперечисленных белых и красных сортов винограда, образовавшиеся в результате обработки соответствующих виноматериалов желатином (Ж), бентонитом (Б) желатином в комплексе с бентонитом (Ж+Б), бентонитом в комплексе с синтетическим сорбентом поливинилпирролидоном (Б+ПВП).

При сбраживании сусла из белых сортов винограда использовали расу дрожжей ИОС 1102, сусла и мезги из красных сортов винограда – Ое-ноферм руж. Определение эффективной вязкости дрожжевых и клеевых осадков осуществляли с помощью ротационного вискозиметра «Реотест-2» с цилиндрическим измерительным устройством по методике [15, 16]. Опыты проводили при одинаковой влажности осадков, составлявшей 20 %.

Обсуждение результатов. Проведенные исследования показали, что величина пластической вязкости обуславливается сортовыми особенностями винограда и технологией его переработки (табл.).

Величина пластической вязкости дрожжевых осадков виноградных вин

Сорт винограда	Пластическая вязкость, Па·с	
	осадки, образовавшиеся в результате брожения суслу	осадки, образовавшиеся в результате брожения мезги
Шардоне	6,5-6,7	-
Совиньон блан	7,4-7,6	-
Каберне Совиньон	8,8-9,3	11,8-12,4
Саперави	9,7-10,0	13,2-14,0
Красностоп АЗОС	10,8-11,1	13,8-14,6

Сравнивая величину пластической вязкости дрожжевых осадков белых сортов виноматериалов Шардоне и Совиньон блан, произведенных с использованием одной и той же расы дрожжей, можно отметить ее большее значение у виноматериала Совиньон блан. Это можно объяснить спецификой и генетическими особенностями сорта винограда Совиньон блан, заключающейся в накоплении большего количества экстрактивных компонентов, в том числе высокомолекулярных полисахаридов, взаимодействие которых с поверхностью дрожжевых клеток приводит к образованию вязких комплексных соединений и выпадению их в осадок.

Аналогичная закономерность выявлена и для красных сортов винограда. Многочисленные исследования показывают, что наибольшее количество высокомолекулярных фенольных соединений накапливается в сорте винограда Красностоп АЗОС в сравнении с Саперави и Каберне Совиньон. Благодаря электростатическому и адгезионному взаимодействию между поверхностью дрожжевой клетки и фенольными веществами, происходит их сорбция и выпадение в осадок вместе с дрожжевыми клетками, благодаря чему дрожжевые осадки окрашиваются в тёмно-красный цвет, а их вязкость увеличивается.

Красные сорта винограда перерабатываются по различным технологическим схемам: в одних предусматривается настаивание мезги с последующим отделением и сбраживанием суслу, в других производится брожение мезги. Сравнительный анализ показал, что величина пластической вязкости

дрожжевых осадков, полученных в результате брожения мезги, больше, чем при сбраживании суслу (рис. 1). Скорее всего, это связано с попаданием в осадок большего количества высокомолекулярных соединений, дрожжевых клеток и кожицы виноградной ягоды. Таким образом, технология переработки красных сортов винограда оказывает влияние на величину пластической вязкости дрожжевых осадков. Полученные данные необходимо учитывать при подборе оборудования для перекачивания дрожжевых осадков, их подаче на фильтры и фильтрации.

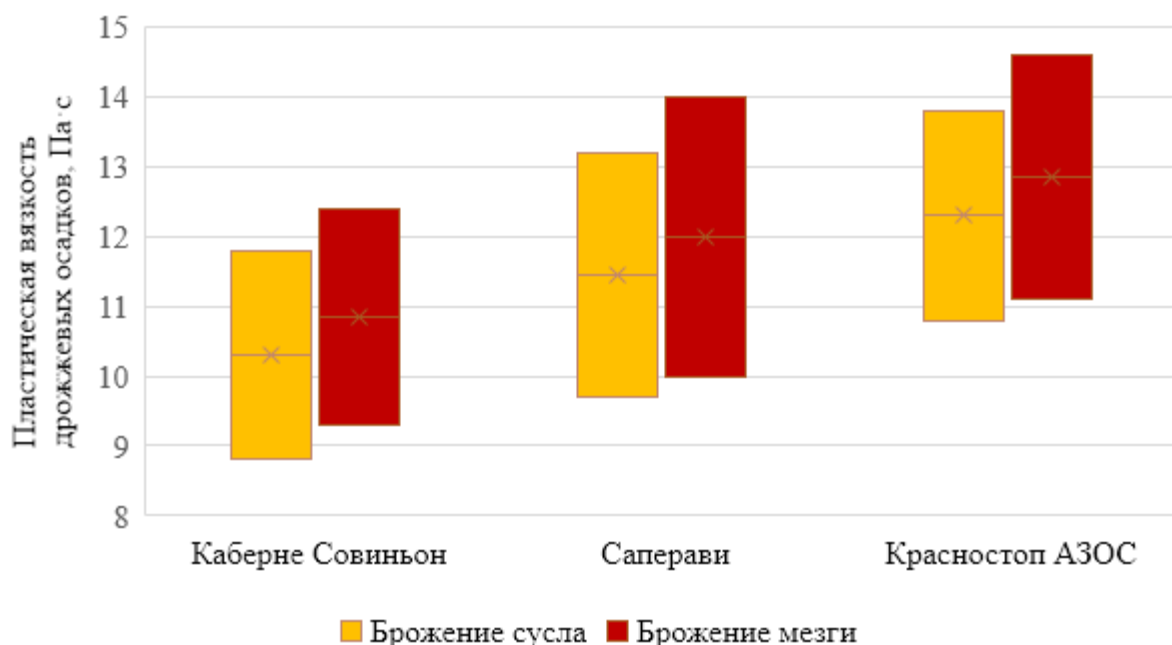


Рис. 1. Пластическая вязкость дрожжевых осадков, полученных при переработке красных сортов винограда по различным технологическим схемам

На рис. 2 показаны различия величин пластической вязкости клеевых осадков, полученных в результате обработки белых и красных виноматериалов сорбентами различной природы: белковым – желатин; природным алюмосиликатом – бентонит; синтетическим – поливинилпирролидон.

Проведенные исследования показали, что бентонитовые осадки имели большую величину пластической вязкости в сравнении с желатиновыми. Это может быть связано как с большей вязкостью самой суспензии бенто-

нита, так и с большим количеством высокомолекулярных соединений, переводимых ею в осадок из обрабатываемого вина. Совместное применение желатина и бентонита для обработки вина привело к незначительному увеличению пластической вязкости клеевого осадка в сравнении с бентонитом, что объясняется взаимодействием белков с бентонитом с образованием вязких комплексных соединений [17, 18].

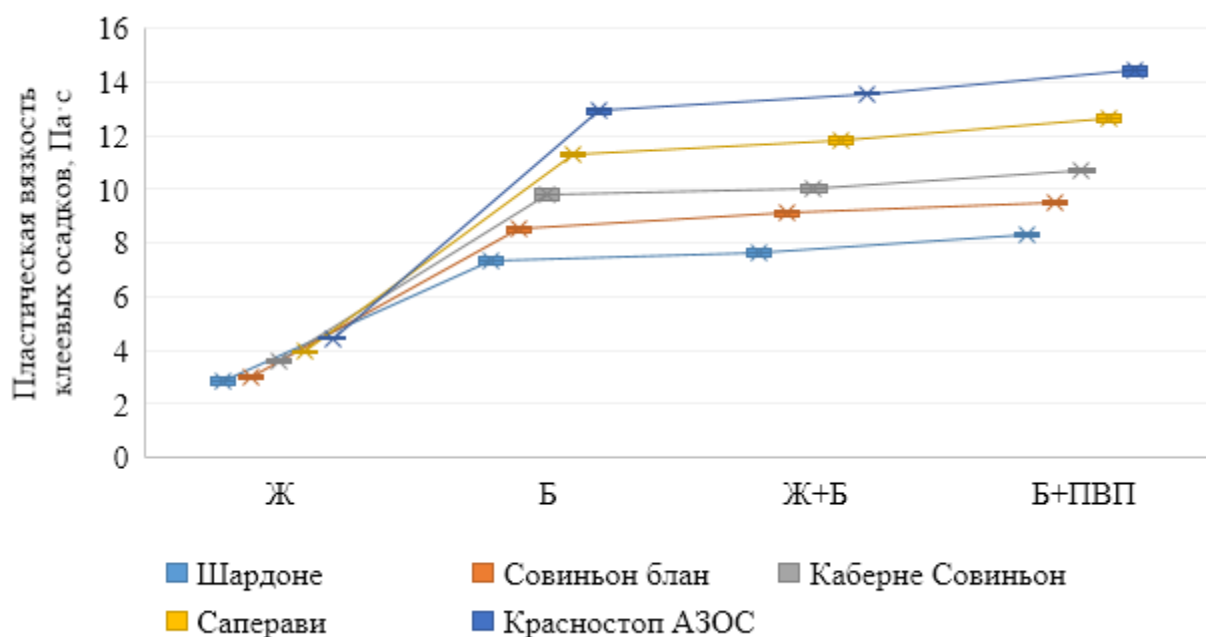


Рис. 2. Пластическая вязкость клеевых осадков виноградных вин, Полученных в результате обработки белых и красных виноматериалов сорбентами различной природы

При обработке виноматериалов поливинилпирролидоном (ПВП) совместно с суспензией бентонита получены более плотные осадки, пластическая вязкость которых имела наиболее высокие значения. ПВП активно взаимодействует с фенольными веществами белых и, особенно, красных виноматериалов с образованием нерастворимых соединений, переводимых в осадок суспензией бентонита. Кроме того, бентониты реагируют с полисахаридами вина, в том числе высокомолекулярными – гемицеллюлозами, крахмалом, пектиновыми веществами. Таким образом, при обработке виноматериалов Б+ПВП формируются клеевые осадки со сложными структурно-механическими свойствами и высокой пластической вязкостью [19, 20].

Доказано влияние сорта винограда и технологии производства вин на величину пластической вязкости клеевых осадков: с увеличением концентрации высокомолекулярных соединений (коллоидов) в обрабатываемых виноматериалах пластическая вязкость возрастает.

Выводы. Определена величина пластической вязкости дрожжевых осадков белых и красных столовых вин. Наибольшее значение пластической вязкости выявлено в дрожжевых осадках вина Красностоп АЗОС. На примере красных сортов вин доказано влияние технологии производства вина на ее величину: при сбразивании мезги отмечено увеличение пластической вязкости дрожжевых осадков в сравнении с брожением сусла.

Применение вспомогательных материалов оказывает влияние на величину пластической вязкости клеевых осадков: ее наибольшее значение отмечено в клеевых осадках, полученных в результате обработки красного столового виноматериала Красностоп АЗОС бентонитом в сочетании с поливинилпирролидоном.

Литература

1. Pérez-Bibbins B., Torrado-Agrasar A., Salgado J.M. Pinheiro de Souza Oliveira R., Domínguez J.M. Potential of lees from wine, beer and cider manufacturing as a source of economic nutrients: An overview // Waste Management. 2015. Vol. 40. P. 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.009>.
2. De Iseppi A., Lomolino G., Marangon M., Curioni A. Current and future strategies for wine yeast lees valorization // Food Research International. 2020. Vol. 137. 109352. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109352>.
3. De Iseppi A., Marangon M., Vincenzi S., Lomolino G., Curioni A., Divol B. A novel approach for the valorization of wine lees as a source of compounds able to modify wine properties // LWT. Vol.136. 110274. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110274>
4. Cacciola V., Batllò I.F., Ferraretto P., Vincenzi S., Celotti E. Study of the ultrasound effects on yeast lees lysis in winemaking // European Food Research and Technology. 2013. Vol. 236 №2. P. 311-317. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1893-6>.
5. Арет В.А., Николаев В.А., Николаев Л.К. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции : учебное пособие. СПб.: ГИОРД, 2009. 448 с.
6. Ханин В.П., Попов В.П., Антимонов С.В., Шрейдер М.Ю. Исследование физико-механических свойств пищевых продуктов: методические указания по курсу физико-механические свойства пищевых продуктов. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. 40с.
7. Dimou C., Vlysidis A., Kopsahelis N., Papanikolaou S., Koutinas A.A., Kookos I.K. Techno-economic evaluation of wine lees refining for the production of value-added products // Biochemical Engineering Journal. 2016. Vol.116. P. 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.09.004>

8. Cortés A., Moreira M.T., Feijoo G. Integrated evaluation of wine lees valorization to produce value-added products // *Waste Management*. 2019. Vol. 95. P. 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.056>.

9. Арет В.А., Руднев С.Д. Реология и физико-механические свойства пищевых продуктов. СПб.: ИЦ Интермедия, 2014. 246 с.

10. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. М: Наука, 1978. 368 с.

11. McKenna B.M., Lyng J.G. Principles of food viscosity analysis. In *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality. A Practical Guide*. Woodhead Publishing Series in Food Science Technology and Nutrition, 2013. P. 129-162. <https://doi.org/10.1533/9780857098856.1.129>.

12. Codină G.G., Ropciuc S., Voinea A., Dabija A. Evaluation of rheological parameters of dough with ferrous lactate and ferrous gluconate / *Foods and Raw Materials*. 2019. Vol. 7. № 1. P. 85-192. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-185-192>

13. Tapadia P., Wang S.-Q. Direct visualization of continuous simple shear in non-newtonian polymeric fluids // *Physical Review Letters*. 2006. Vol. 96, Is. 1. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.96.016001>

14. Heim A., Owczar P., Frances C., Solecki M., Délia M., Kilbey G. Rheological properties of a suspension of disintegrated yeast cells / *Conference: AIChE Spring Meeting and Global Congress on Process Safety*. 2006. 246-250.

15. Муратова Е. И., Смолихина П.М. Реология кондитерских масс: монография. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 188 с.

16. Вискозиметрия пищевых масс: метод. указания к лабораторным работам по курсу «Реология сырья, полуфабрикатов и заготовок изделий хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства» / сост. В.И. Кармпенко [и др.]. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2008. 39 с.

17. Yu L., Bai F.W. Comparison and analysis of rheological property of self-flocculation yeast suspension // *Huaxue Gongcheng/Chemical Engineering (China)*. 2010. Vol. 38. № 6. P. 71-74.

18. Currie D.J., Lee M.H., Todd R.W. Prediction of physical properties of yeast cell suspensions using dielectric spectroscopy // *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP*. P. 672-675. <https://doi.org/10.1109/CEIDP.2006.312021>

19. Joyner H.S., Daubert C.R. *Rheological Principles for Food Analysis*. 2017. P. 511-527. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_29

20. Xie F., Halley P.J., Ave'rous L. Rheology to understand and optimize processibility, structures and properties of starch polymeric materials. *Progress in Polymer Science*. 2012. Vol. 37 № 4. P. 595-623. doi:10.1016/j.progpolymsci.2011.07.002.

References

1. Pérez-Bibbins B., Torrado-Agrasar A., Salgado J.M. Pinheiro de Souza Oliveira R., Domínguez J.M. Potential of lees from wine, beer and cider manufacturing as a source of economic nutrients: An overview // *Waste Management*. 2015. Vol. 40. P. 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.009>.

2. De Iseppi A., Lomolino G., Marangon M., Curioni A. Current and future strategies for wine yeast lees valorization // *Food Research International*. 2020. Vol. 137. 109352. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109352>

3. De Iseppi A., Marangon M., Vincenzi S., Lomolino G., Curioni A., Divol B. A novel approach for the valorization of wine lees as a source of compounds able to modify wine properties // *LWT*. Vol.136. 110274. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110274>

4. Cacciola V., Batllò I.F., Ferraretto P., Vincenzi S., Celotti E. Study of the ultrasound effects on yeast lees lysis in winemaking // *European Food Research and Technology*. 2013. Vol. 236 №2. P. 311-317. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1893-6>.

5. Aret V.A., Nikolaev V.A., Nikolaev L.K. Fiziko-mekhanicheskie svojstva syr'ya i gotovoj produkcii: uchebnoe posobie. SPb.: GIOR, 2009. 448 s.

6. Hanin V.P., Popov V.P., Antimonov S.V., Shrejder M.Yu. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svojstv pishchevykh produktov: metodicheskie ukazaniya po kursu fiziko-mekhanicheskie svojstva pishchevykh produktov. Orenburg: GOU OGU, 2005. 40s.

7. Dimou C., Vlysidis A., Kopsahelis N., Papanikolaou S., Koutinas A.A., Kookos I.K. Techno-economic evaluation of wine lees refining for the production of value-added products // *Biochemical Engineering Journal*. 2016. Vol.116. P. 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.09.004>

8. Cortés A., Moreira M.T., Feijoo G. Integrated evaluation of wine lees valorization to produce value-added products // *Waste Management*. 2019. Vol. 95. P. 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.056>.

9. Aret V.A., Rudnev S.D. Reologiya i fiziko-mekhanicheskie svojstva pishchevykh produktov. SPb.: IC Intermediya, 2014. 246 s.

10. Rebinder P.A. Poverhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemah. Kolloidnaya himiya. Izbrannye trudy. M: Nauka, 1978. 368 s.

11. McKenna B.M., Lyng J.G. Principles of food viscosity analysis. In *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality. A Practical Guide*. Woodhead Publishing Series in Food Science Technology and Nutrition, 2013. P. 129-162. <https://doi.org/10.1533/9780857098856.1.129>.

12. Codină G.G., Ropciuc S., Voinea A., Dabija A. Evaluation of rheological parameters of dough with ferrous lactate and ferrous gluconate / *Foods and Raw Materials*. 2019. Vol. 7. № 1. P. 85-192. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-185-192>

13. Tapadia P., Wang S.-Q. Direct visualization of continuous simple shear in non-newtonian polymeric fluids // *Physical Review Letters*. 2006. Vol. 96, Is. 1. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.96.016001>

14. Heim A., Owczarz P., Frances C., Solecki M., Délia M., Kilbey G. Rheological properties of a suspension of disintegrated yeast cells / Conference: AICHE Spring Meeting and Global Congress on Process Safety.2006. 246-250.

15. Muratova E. I., Smolihina P.M. Reologiya konditerskih mass: monografiya. Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2013. 188 s.

16. Viskozimetriya pishchevykh mass: metod. ukazaniya k laboratornym rabotam po kursu «Reologiya syr'ya, polufabrikatov i zagotovok izdelij hlebopekarnogo, konditerskogo i makaronnogo proizvodstva» / sost. V.I. Karmpenko [i dr.]. Voronezh: Voronezh. gos. tekhnol. akad., 2008. 39 s.

17. Yu L., Bai F.W. Comparison and analysis of rheological property of self-flocculation yeast suspension // *Huaxue Gongcheng/Chemical Engineering (China)*. 2010. Vol. 38. № 6. P. 71-74.

18. Currie D.J., Lee M.H., Todd R.W. Prediction of physical properties of yeast cell suspensions using dielectric spectroscopy // Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP. P. 672-675. <https://doi.org/10.1109/CEIDP.2006.312021>

19. Joyner H.S., Daubert C.R. Rheological Principles for Food Analysis. 2017. P. 511-527. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_29

20. Xie F., Halley P.J., Ave'rous L. Rheology to understand and optimize processibility, structures and properties of starch polymeric materials. *Progress in Polymer Science*. 2012. Vol. 37 № 4. P. 595-623. doi:10.1016/j.progpolymsci.2011.07.002.