

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТОВ НИЗКОЧАСТОТНОГО УЛЬТРАЗВУКА НА ПРОЦЕССЫ СБРАЖИВАНИЯ ВИНМАТЕРИАЛОВ

Н.В. Попова¹, Ш. Соनावайн², А.Р. Абдуллина¹

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Национальный технологический институт, Варангал, шт. Телангана, Индия

Сложность производства виноградных вин заключается в длительности и трудоемкости технологического процесса, поэтому требуется жесткое ведение всех операций. Современные технологии ориентированы на сокращение времени производства, в том числе процесса сбраживания виноматериалов, при обеспечении высокого качества готовой продукции. Нами предлагается интенсификация процесса брожения винного сусла под воздействием ультразвука. Ультразвуковая кавитация приводит к образованию свободных радикалов, локальной турбулентности и микротурбулентности. Жидкая микроциркуляция может улучшить транспортировку жидкости и уменьшить сопротивление массообмена в гетерогенных системах. Кавитация может вызвать изменения на молекулярном уровне, увеличивая массоперенос и минимизируя время процесса при обеспечении безопасности и качества продукта. Применение ультразвука разной мощности (189 и 315 Вт) и времени обработки (от трех до пяти минут) показало положительные эффекты в интенсификации спиртового брожения, изменения кислотности, вызвало изменения в клетках дрожжей. Уже через пять дней брожения массовая доля спирта в винном сусле увеличилась на 20,7–88 % (в зависимости от режима УЗ-обработки), через 10 дней брожения содержание спирта в экспериментальных образцах превышало содержание спирта в контрольном образце на 4,8–5,8 %. Интенсивность увеличения кислотности составила через пять дней брожения от 2,4 до 19,3 %. Ультразвуковая обработка мезги перед сбраживанием сусла увеличивает активность дрожжей, ускоряя технологический процесс. Установленные в ходе исследований положительные эффекты ультразвуковой обработки позволяют сделать вывод о необходимости дальнейших исследований в данном направлении.

Ключевые слова: низкочастотный ультразвук, виноматериалы, процессы сбраживания.

Введение

Виноградное вино – это уникальный продукт, который требует большого внимания на всех этапах производства, только в этом случае будет сформирован изысканный и благородный напиток. Известно, что в процессе виноделия происходят сложные микробиологические и физико-химические изменения в системе продукта, которые обеспечивают определенный уровень качества. Для потребителя важно чтобы вино было хорошо структурированным, полнотелым с богатым вкусом и пониженным уровнем алкоголя. Тем не менее, успешное достижение этих признаков довольно сложно из-за дисбаланса между накоплением сахара и фенольной зрелостью ягод, которые требуют позднего сбора урожая, чтобы гарантировать надлежащую ароматическую и фенольную зрелость [20].

Первичная или алкогольная ферментация в виноделии – процесс преобразования сахара, содержащегося в сусле, во время которого

дрожжи начинают воздействовать на сахар, содержащийся в виноградном соке. Этот процесс может продолжаться от нескольких дней до нескольких недель, проходит при постоянно контролируемой температуре.

По данным французского ученого энолога Пейно Пьер-Жан-Эмиль (1912–2004) в брожении участвуют дрожжи аспорогенные (принадлежащие к 5 родам, включающие 8 видов) и спорогенные (принадлежащие к 6 родам, включающие 20 видов). Им установлено, что смена дрожжей при брожении происходит в следующем порядке: забраживание сусла нередко вызывают слабо бродящие, но сильно почкующиеся дрожжи *Hanseniaspora apiculata* и *Torulopsis bacillaris*, причем дрожжи *H. apiculata* выполняют эту роль главным образом при сбраживании красных сортов винограда. Они способны образовывать 4...5 % об. спирта, а *T. bacillaris* более устойчивые, – 7...10 % об. Однако оба эти вида дрожжей весьма неустойчивы к действию SO₂. Поэтому

Биохимический и пищевой инжиниринг

в сульфитированных сусле их активность снижается, а *Sacch. vini*, как более сульфитоустойчивые, получают возможность быстро размножаться. Они полностью подавляют дрожжи *H. apiculata* и *T. Bacillaris* [6, 9, 10]

Дальнейшее сбраживание сахара ведут расы вида *Sacch. oviformis*. Они образуют максимальное количество спирта – 18...19 % об. Во время брожения процент клеток *Sacch. oviformis* постепенно нарастает. По данным Пейно Пьер-Жан-Эмиль, в свежееотжатом виноградном сусле их относительное содержание не превышает 5 на тысячу, а к концу брожения число их достигает 1/3 всех дрожжевых клеток. *Sacch. vini* кроме того, достаточно спиртоустойчивы: они выдерживают концентрацию спирта от 8 до 16 % об. в зависимости от расы [3, 4, 9].

На ход спиртового брожения и качество получаемого вина влияет температура. Вина, сброженные при более низких температурах, сохраняют первичные фруктовые ароматы, свежесть и сортовой характер. Красные вина сбраживаются при более высоких температурах – между 25 и 30°. Такие условия необходимы для того, чтобы извлечь из мезги (кожицы и гребней) цвет и танины [7].

В виноградном соке содержатся примерно в равных количествах глюкоза и фруктоза, иногда небольшое количество сахарозы. Глюкоза и фруктоза сбраживаются дрожжами непосредственно, а сахароза предварительно превращается ими в инвертный сахар, т. е.

смесь равных количеств глюкозы и фруктозы, с помощью вырабатываемого ими фермента β -фруктофуранозидазы (сахаразы, инвертазы). Таким образом, качественный состав сахаров на результат спиртового брожения заметного влияния не оказывает.

В производстве красных вин важен процесс выбор способа и длительности мацерации (настаивание на мезге). Известны различные типы мацерации: углекислотная мацерация, термомацерация, холодная мацерация сусле с применением «сухого льда» и жидкого азота, мацерация с применением пектолитических ферментных препаратов и танинов. В последние годы разработаны новые ферментативные композиции, обладающие сильным мацерирующим эффектом [16, 22, 24].

Ультразвуковая обработка мезги винограда используется достаточно редко, однако существуют работы, в которых отмечается значительное влияние ультразвука на экстракцию и структуру красящих и фенольных веществ [11, 13]. При использовании ультразвукового облучения экстракция веществ может увеличиваться в 3 раза [12, 15].

Преимущество ультразвуковой экстракции заключается в том, что извлечение веществ из клетки резко ускоряется без нагревания обрабатываемой среды, при этом клеточный сок сохраняет первоначальную биологическую активность. Ультразвуковые микроциркуляции в жидкости могут быть использованы для усиления процесса переноса и ликвидации сопро-

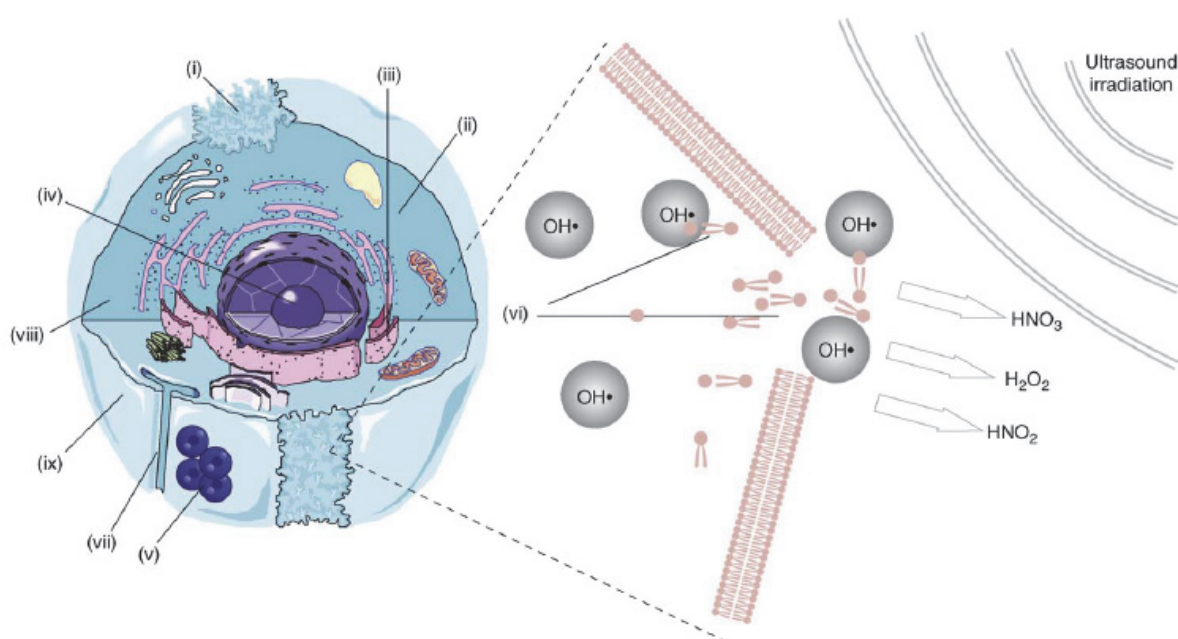


Рис. 1. Молекулярные эффекты ультразвука [23]

тивления массопереноса в гетерогенных системах [17, 18]. Все молекулярные эффекты ультразвука приведены на рис. 1.

В работе Кишковского З.Н. показано, что при использовании обработки ультразвуком диапазона малых мощностей продолжительностью 15 минут количество связанных фенольных веществ в растворе дубовых экстрактов увеличивается в среднем на 50 %, а содержание свободных фенольных соединений и углеводов – в 3 раза. В других исследованиях показано, что при экстракции с применением прибора, генерирующего продольные механические колебания с частотой 22 кГц, значительно сокращается время (от 8 до 20 минут, против нескольких часов) извлечения веществ [8].

Тем не менее, звуковые условия, которые приводят к благоприятным эффектам в биологических процессах, зависят от конкретного случая и в литературе представлены недостаточно широко.

В этой связи в качестве основной цели исследований было определено – установление оптимального режима воздействия ультразвука низкой частоты на характер течения процесса брожения.

Объекты и методы исследований

В качестве сырья для производства вина был выбран виноград ампелографического сорта «Изабелла» (Изабелла Банская), сорт винограда, появившийся самопроизвольно, в результате природной селекции в результате переопыления благородной европейской лозы *Vitis Vinifera* с местной *Vitis Lambrusca*.

Сбраживание осуществляли естественным способом за счет жизнедеятельности дрожжей, присутствовавших на поверхности ягод и гребней.

В качестве источника УЗВ был использован акустический источник упругих колебаний ультразвуком – прибор «Волна» модель УЗТА-0,4/22-ОМ, работающий на частоте ($22 \pm 1,65$) кГц и выходной мощности (180–400 Вт). Ультразвуковая колебательная система построена на пьезоэлектрических кольцевых элементах и изготовлена из титанового сплава ВТ5. Используемые инженерные решения защищены патентом РФ № 2141386.

Технологическая схема сбраживания экспериментальных образцов включала в себя: отжим сока, внесение в него мезги (10 %), затем обработка ультразвуковым воздействием различной мощности (189 и 315 Вт) и про-

должительности (3 и 5 минут). Сбраживание осуществляли при температуре (22 ± 2)°С.

Были получены следующие экспериментальные образцы (рис. 2), в качестве контроля использовался образец, не подвергшийся ультразвуковому воздействию (УЗВ).

Состояние суслу оценивали по ГОСТ 32030-2012 «Вина столовые и виноматериалы столовые». В образцах оценивали показатели:

– содержание спирта – оценивали по ГОСТ 32095-2013. Метод основан на определении объемной доли этилового спирта продукта ареометром для спирта в дистилляте после предварительной перегонки;

– массовую концентрацию титруемых кислот – по ГОСТ 32114-2013. Методы основаны на кислотно-щелочном титровании определенного объема продукта в присутствии индикатора бромтимолового синего и с применением потенциометра до получения нейтральной реакции;

– микроскопический анализ путем приготовления фиксированных, окрашенных препаратов-мазков.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований массовой доли спирта (рис. 3) свидетельствуют, что ультразвуковое воздействие на сок с мезгой активизирует процессы спиртового брожения. Причем наименьшее УЗВ сильнее активизирует процессы спиртового брожения, что можно связать активным переходом сахаров в сок, что в свою очередь положительно влияет на жизнедеятельность дрожжей.

Так, интенсификация спиртового брожения уже через пять дней способствует повышению массовой доли спирта в винном сусле на 20,7–88 % (в зависимости от режима УЗ-обработки), через 10 дней брожения содержание спирта в экспериментальных образцах превышало содержание спирта в контрольном образце на 4,8–5,8 %.

Результаты свидетельствуют об интенсификации первых стадий спиртового брожения, затем процессы затормаживаются. Данный факт подтверждается учеными Matsuura K., Hirotsune M., исследования которых способствовали уменьшению периодов брожения в вине, пиве и саке с помощью ультразвука (30 мВт/см^2 и 43 кГц) до 50 %. Учеными было высказано предположение, что обработка ультразвуком ускоряет образование этанола и других компонентов в основном за счет уменьшения концентрации растворенного

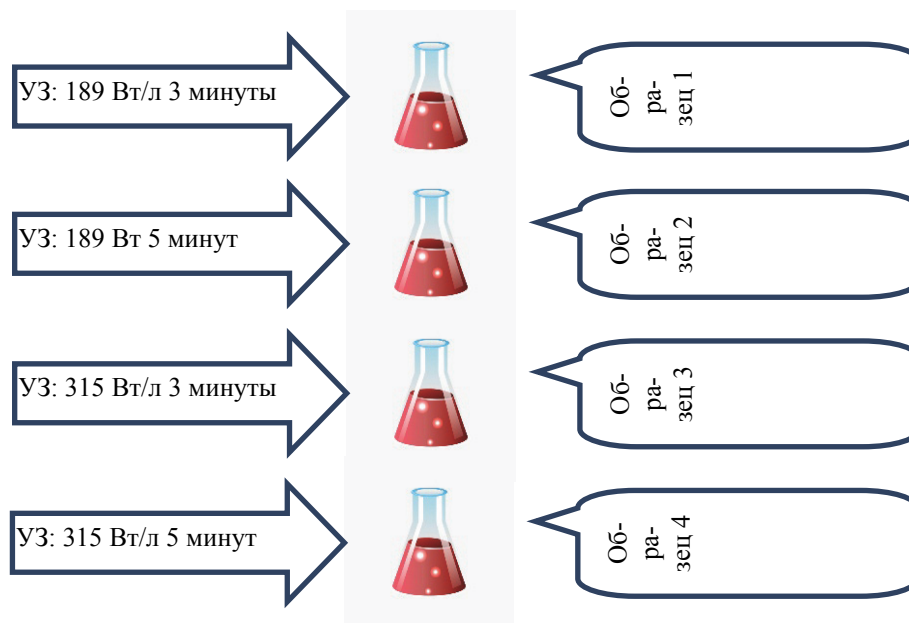


Рис. 2. Описание образцов с указанием условий УЗВ

CO₂. Было также показано, что ультразвук ускоряет рост *Saccharomyces cerevisiae*, что приводит к сокращению времени ферментации. Они отметили, что ультразвуковое облучение приводило к 33,3% увеличению роста дрожжей. Было высказано предположение, что улучшенные характеристики дрожжей были результатом морфологических изменений в клетках дрожжей, вызванных ультразвуком [2, 17, 19].

Известно, что ферментативные процессы резко возрастают при раздавливании ягод,

особенно окислительно-восстановительные. Наряду с окислительно-восстановительными, протекают гидролитические процессы: при раздавливании ягоды под воздействием β-фруктофуранозидазы происходит инверсия сахарозы, пектинолитические ферменты вызывают распад протопектина, а затем пектина с выделением метилового спирта и галактуроновых кислот [5].

В наших исследованиях получены данные, подтверждающие положительное действие УЗВ на ускорение ферментативных про-

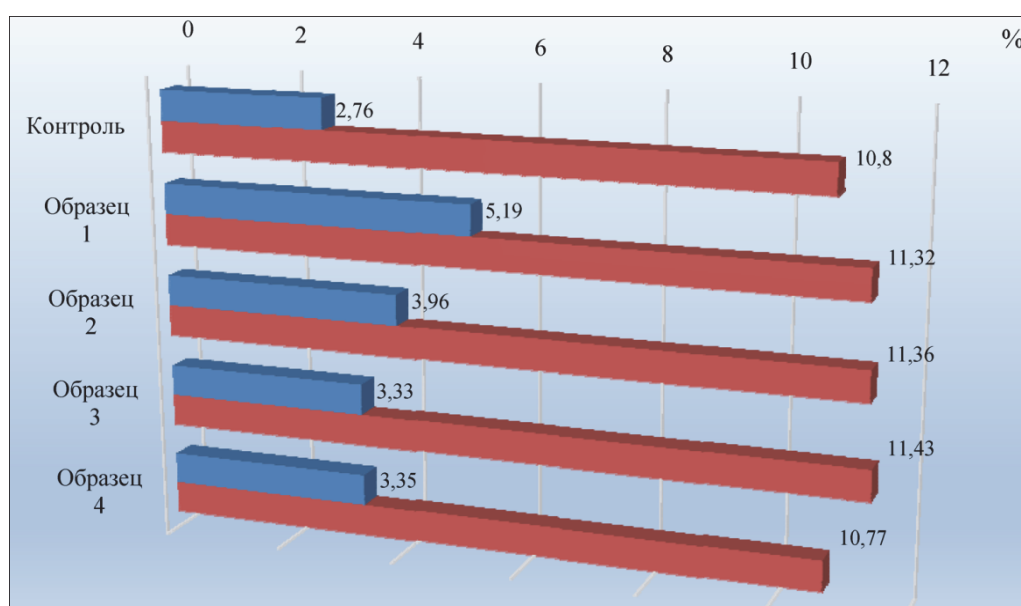


Рис. 3. Содержание спирта в образцах винного сусла, %

цессов, что в дальнейшем обеспечивает повышение кислотности (рис. 4). Так, относительно контрольного образца, титруемая кислотность через пять дней брожения составила от 6,375 град до 7,425 град, при контрольном значении 6,225 град. Большая мощность ультразвука излишне резко воздействовала на внутренние процессы и способствовала резкому увеличению кислотности через 10 дней брожения – на 66 % относительно контрольного образца.

Возможно, такие изменения обусловлены возникающими в биологических объектах под действием УЗ вторичными эффектами физико-химического характера. В результате образования акустических потоков в процессе мацерации происходит активное перемешивание внутриклеточных микроскопических структур.

Известно, что кавитационные эффекты в среде приводят к разрыву молекулярных связей, молекулы воды распадаются на свободные радикалы $\text{OH}\cdot$ и $\text{H}\cdot$, что является первопричиной действия УЗ. Кроме того, подобным же образом происходит расщепление под действием УЗ высокомолекулярных соединений в биологических объектах [1, 14, 21].

Оценка дрожжевых систем, действующих в процессе брожения, показала (см. таблицу), что рост *Saccharomyces cerevisiae*, их способность к почкованию взаимосвязаны с УЗВ. В

поле зрения наблюдаются клетки округлой и яйцевидной формы; размер их колеблется от 2,5 до 10 мкм в поперечнике и от 4,5 до 21 мкм в длину.

В клеточных системах наблюдаются запасные вещества – в виде окрашенных включений. Это волютин, липиды, гликоген, белки. Причем количество жизнеспособных клеток дрожжей больше у образца 3 и образца 4, которые подвергались УЗВ в режимах – мощность 315 Вт/л 3 и 5 минут.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что ультразвуковая обработка мезги перед сбраживанием суслу увеличивает активность дрожжей, ускоряя технологический процесс. Взаимодействия между ультразвуком и микроорганизмами в настоящее время изучаются многими авторами, однако пока являются недостаточными понятиями. В то же время, установленные нами положительные эффекты от внедрения в технологию винного производства ультразвуковой обработки позволяют сделать вывод о необходимости дальнейших исследований в данном направлении.

Таким образом, эффективность ультразвука определяется внешними и внутренними параметрами, которые могут варьироваться в зависимости от условий ферментации.

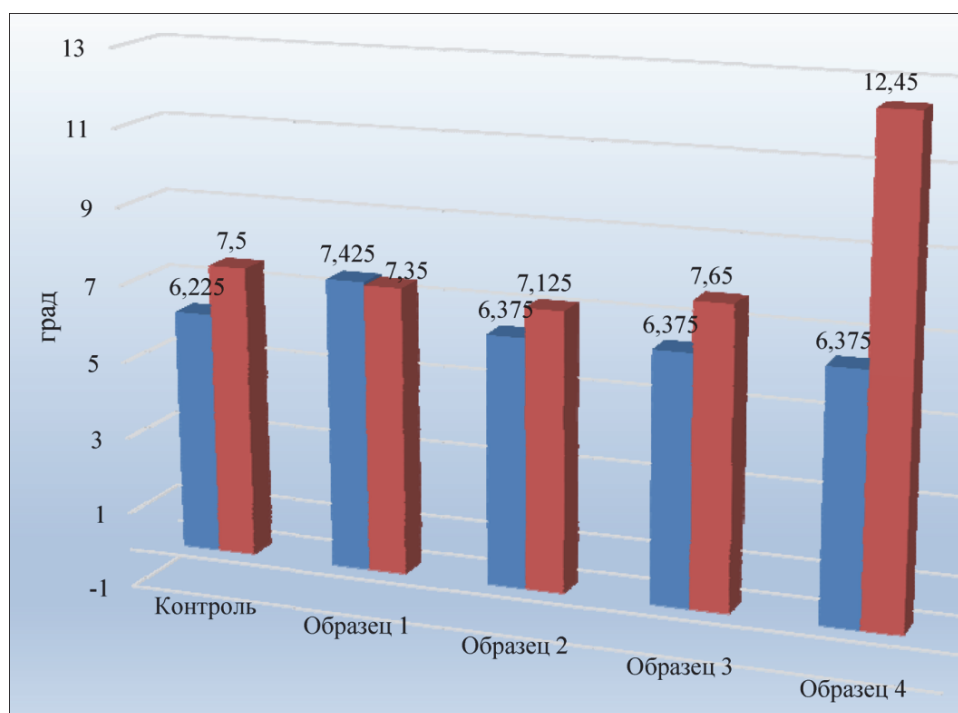
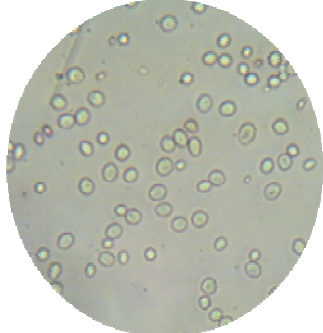
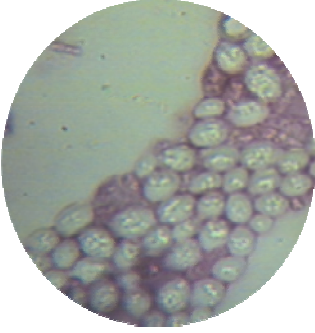
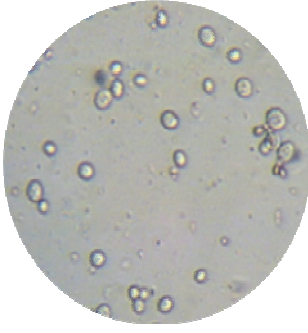
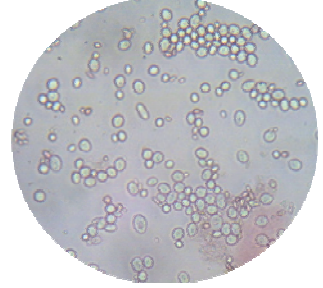
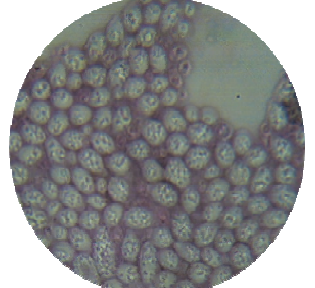
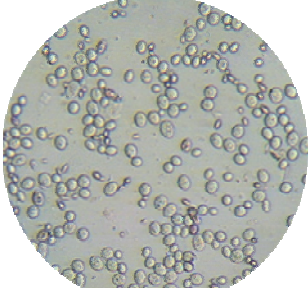
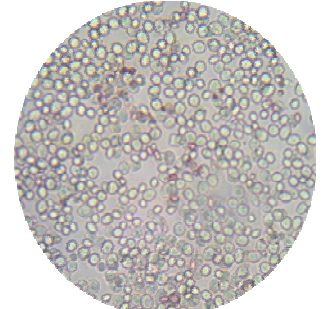
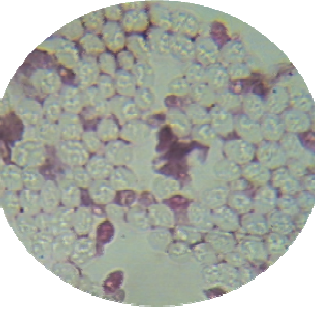
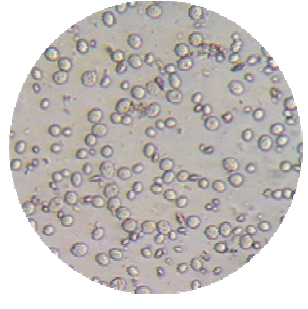
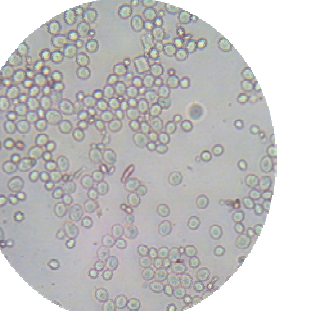
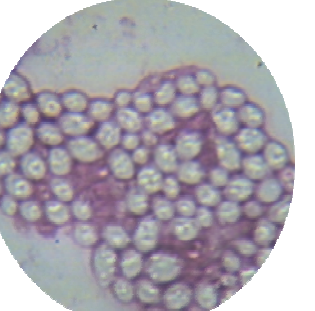
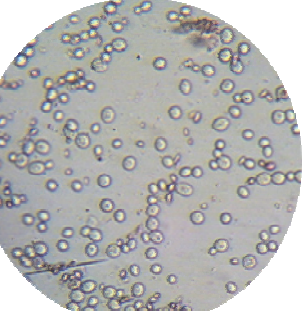
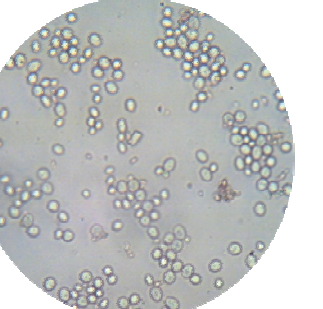
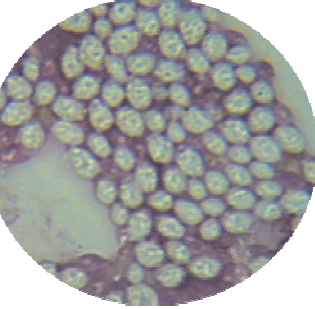
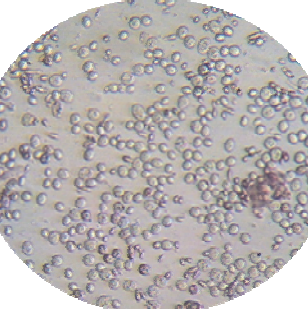


Рис. 4. Результаты оценки титруемой кислотности образцов винного суслу, град

Биохимический и пищевой инжиниринг

Микрофотографии препаратов дрожжевых культур *Saccharomyces cerevisiae* суслу в разный период сбраживания (препараты окрашены трипановым синим, увеличение $\times 900$)

	Через пять дней брожения	Через пять дней брожения	Через 10 дней брожения
Контроль			
Образец 1			
Образец 2			
Образец 3			
Образец 4			

Литература

1. Антушева, Т.И. Некоторые особенности влияния ультразвука на микроорганизмы / Т.И. Антушева // *Живые и биокосные системы*. – 2013. – № 4. – 11 с.
2. Бодрова, О.Ю. Интенсификация процессов дрожжегенерирования и брожения в технологии спирта с использованием ультразвуковой обработки засевных дрожжей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Ю. Бодрова. – М., 2006. – 24 с.
3. Дурмишидзе, С.В. Биохимия виноградного растения / С. Дурмишидзе, О. Хачидзе. – Тбилиси: Мецниереба, 1985. – 562 с.
4. Дурмишидзе, С.В. Дубильные вещества и антоцианы виноградной лозы и вина / С.В. Дурмишидзе. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1955. – 324 с.
5. Ильчибаева И.Б. Технологическое значение органических соединений в виноделии: учеб. пособие / И.Б. Ильчибаева. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007. – 112 с.
6. Родопуло А.К. Основы биохимии виноделия / А.К. Родопуло. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 240 с.
7. Гонtareва, Е.Н. Современные технологические приемы винификации красных вин / Е.Н. Гонtareва, Н.М. Агеева, Т.И. Гугучкина // *Плодоводство и виноградарство юга России*. – 2015. – № 34(4). – С. 86–102.
8. Кишковский, З.Н. Использование обработанной ультразвуком и теплом древесины дуба при созревании коньячных спиртов / З.Н. Кишковский, Н.Н. Коновалова // *Виноделие и виноградарство*. – 2004. – № 3. – С. 12–14.
9. Микробиология и биохимия вина. – <http://vinobio.narod.ru>.
10. Производство вина. – <https://terrawine.kz>.
11. Самойленко, Д.Н. Массоперенос красящих веществ винограда в процессе брожения при наложении ультразвуковых колебаний / Д.Н. Самойленко, Е.П. Кошевой // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 2008. – № 1. – С. 79–81.
12. Царахова, Э.Н. Интенсификация технологических процессов с помощью ультразвука / Э.Н. Царахова, Д.Г. Касьянов, Н.А. Одинец // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 2010. – № 2–3. – С. 122–123.
13. Carrera, C. Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes / C. Carrera, A. Ruiz-Rodriguez, M. Palma, C.G. Barroso // *Analytica Chimica Acta*. – 2002. – V. 73. – P. 100–104.
14. Darra, N.El et al. Effect of pulsed electric field treatment during cold maceration and alcoholic fermentation on major red wine qualitative and quantitative parameters / N.El. Darra, H.N. Rajha, M.-A. Ducasse et al. // *Food Chemistry*. – 2016. – V. 213. – P. 352–360.
15. Gracin, L. et al. Influence of high power ultrasound on *Brettanomyces* and lactic acid bacteria in wine in continuous flow treatment / L. Gracin et al. // *Applied Acoustics*. – 2016. – V. 103. – P. 143–147.
16. Herrmann, K. Über Oxidationsfermente und phenolische Substrate in Gemüse und Obst. III. Catechine, Oxyzimtsäuren und O-polyphenoxyoxidase in Obst. / K. Herrmann // *Z. Lebensmittel-Untersuch. und Forsch.* – 1958. – 108. – P. 152–157.
17. Jiranek, V. High power ultrasonics as a novel tool offering new opportunities for managing wine microbiology / V. Jiranek, P. Grbin, A. Yap et al. // *Biotechnology Letters*. – 2008. – V. 30 (1). – P. 1–6.
18. Lucía González-Arenzana et al. Pulsed Electric Field treatment after malolactic fermentation of Tempranillo Rioja wines: Influence on microbial, physicochemical and sensorial quality / Lucía González-Arenzana, Javier Portua, Noelia López et al. // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2019. – V. 51. – P. 57–63.
19. Matsuura K., Hirotsune M., Nunokawa Y., Satoh M., Honda K. Acceleration of cell growth and ester formation by ultrasonic wave irradiation / K. Matsuura, M. Hirotsune, Y. Nunokawa et al. // *J. Ferment. Bioeng.* – 1994. – V. 77. – P. 36–40.
20. Maturano, Y.P. et al. Optimization of fermentation-relevant factors: A strategy to reduce ethanol in red wine by sequential culture of native yeasts / Y.P. Maturano, V.M. Mestre, B. Kuchen et al. // *International Journal of Food Microbiology*. – 2019. – V. 289. – P. 40–48.
21. Ojha, K.S. et al. Ultrasound technology for food fermentation applications / K.S. Ojha, T.J. Mason, C.P. O'Donnell, J.P. Kerry, B.K. Tiwari // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2017. – V. 34. – P. 410–417.
22. Rez-Magarino, S. Evolution of flavanols, anthocyanins, and their derivatives during the aging of red wines elaborated from grapes harvested at different stages of ripening / S. RezMagarino, M.L. Gonza Lez-San Jose // *J. Agric. Food Chem.* – 2004. – V. 52. – P. 1181–1189.

23. Rokhina, E.V. *Low-frequency ultrasound in biotechnology: state of the art* / E.V. Rokhina, P. Lens, Ju. Virkutyte // *Trends in Biotechnology*. – 2009. – V. 27, № 5. – P. 298–306.

24. Somers, T.C. *Phenolic composition of natural wine types* / T.C. Somers, T. Verette // *Modern Methods of Plant Analysis. – New Series, Volum 6 Wine Analysis*. – 1988. – P. 219–257.

Попова Наталия Викторовна, кандидат технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), nvpopova@susu.ru

Сонавайн Шириш, доктор философских наук, профессор Департамента химической инженерии, Национальный технологический институт (Варангал, шт. Телангана, Индия), shirish@nitw.ac.in, ORCID: 0000-0002-3201-6731.

Абдуллина Альфия Рушановна, студент, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск).

Поступила в редакцию 25 ноября 2018 г.

DOI: 10.14529/food190109

RESEARCH OF AN IMPACT OF THE LOW-FREQUENCY ULTRASOUND EFFECTS ON THE PROCESSES OF WINE MATERIALS FERMENTATION

N.V. Popova¹, Sh. Sonawane², A.R. Abdullina¹

¹ *South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

² *National Institute of Technology, Warangal, Telangana State, India*

The complexity of the grape wines production consists in the length and complexity of the technological process; therefore, strict management of all operations is required. Modern technologies are focused on reducing the time of production, including the process of fermentation of wine materials while ensuring the high quality of finished products. We propose to intensify the process of fermenting wine wort under the influence of ultrasound. Ultrasonic cavitation leads to the formation of free radicals, local turbulence, volutin and microturbulence. Liquid microcirculation can improve fluid transportation and reduce mass transfer resistance in heterogeneous systems. Cavitation can cause changes at the molecular level, increasing mass transfer and minimizing process time while ensuring product safety and quality. The use of ultrasound of different power (189 and 315 Watt) and processing time (from three to five minutes) showed positive effects in the intensification of alcoholic fermentation, changes in acidity, and caused changes in yeast cells. After five days of fermentation, the mass fraction of alcohol in the wine wort increased by 20.7 – 88% (depending on the ultrasonic treatment mode), after 10 days of fermentation, the alcohol content in the experimental samples exceeded the alcohol content in the control sample by 4.8–5.8%. The intensity of the increase in acidity after five days of fermentation made up from 2.4 to 19.3%. Ultrasonic processing of the mash before fermenting the wort increases the activity of the yeast, accelerating the technological process. The positive effects of ultrasonic processing established in the course of research allow to conclude that further research is needed in this direction.

Keywords: low-frequency ultrasound, wine materials, fermentation processes.

References

1. Antusheva T.I. *Nekotorye osobennosti vliyaniya ul'trazvuka na mikroorganizmy* [Some Features of Ultrasound Impact on Microorganisms]. *Zhivye i biokosnye sistemy* [Zhivye I Biokosnye Sistemy], 2013, no. 4. 11 p.

2. Bodrova O.Yu. *Intensifikatsiya protsessov drozhzhegenerirovaniya i brozheniya v tekhnologii spirta s ispol'zovanie ul'trazvukovoy obrabotki zasevnykh drozhzhey* [Intensification of the Processes of Yeast Generation and Fermentation in the Technology of Alcohol with the Use of Ultrasonic Processing of Seed Yeast: Author's Abstract of the Thesis of a Candidate of Sciences (Engineering)]. Moscow, 2006. 24 p.
3. Durmishidze S.V., Khachidze O. *Biokhimiya vinogradnogo rasteniya* [Biochemistry of a Grape Plant]. Tbilisi, 1985. 562 p.
4. Durmishidze S.V. *Dubil'nye veshchestva i antotsiany vinogradnoy lozy i vina* [Tannins and Anthocyanins of Grape Vine and Wine]. Moscow, 1955. 324 p.
5. Il'chibaeva I.B. *Tekhnologicheskoe znachenie organicheskikh soedineniy v vinodelii* [Technological Value of Organic Compounds in Winemaking]. Novocherkassk, 2007. 112 p.
6. Rodopulo A.K. *Osnovy biokhimii vinodeliya* [Basics of Biochemistry of Winemaking]. Moscow, 1983. 240 p.
7. Gontareva E.N., Ageeva N.M., Guguchkina T.I. [Modern Techniques for Vinification of Red Wines]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii* [Fruit Growing and Viticulture of South Russia], 2015, no. 34(4), pp. 86–102. (in Russ.)
8. Kishkovskiy Z.N., Konovalova N.N. [Use of Ultrasound and Heat Processed Oak Wood in the Course of Cognac Spirits Maturation]. *Vinodelie i vinogradarstvo* [Wine-Making and Viticulture], 2004, no. 3, pp. 12–14. (in Russ.)
9. *Mikrobiologiya i biokhimiya vina* [Microbiology and Biochemistry of Wine]. Available at: <http://vinobio.narod.ru>.
10. *Proizvodstvo vina* [Wine Production]. Available at: <https://terrawine.kz>.
11. Samoylenko D.N., Koshevoy E.P. [Mass Transfer of Grapes Colouring Substances During Fermentation When Using Ultrasonic Vibrations]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Institutes of Higher Education. Food Technology], 2008, no. 1, pp. 79–81. (in Russ.)
12. Tsarakhova E.N., Kas'yanov D.G., Odinets N.A. [Intensification of Technological Processes by Ultrasound]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Institutes of Higher Education. Food Technology], 2010, no. 2–3, pp. 122–123. (in Russ.)
13. Carrera S., Ruiz-Rodriguez A., Palma M., Barroso C.G. Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes. *Analytica Chimica Acta*, 2002, vol. 73, pp. 100–104. DOI: 10.1016/j.aca.2011.11.032
14. Darra N.El. Rajha H.N., Ducasse M.-A., Turk M.F., Grimi N., Maroun R.G., Louka N., Vorobiev E. Effect of pulsed electric field treatment during cold maceration and alcoholic fermentation on major red wine qualitative and quantitative parameters. *Food Chemistry*, 2016, vol. 213, pp. 352–360. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.06.073
15. Gracin L. et al. Influence of high power ultrasound on *Brettanomyces* and lactic acid bacteria in wine in continuous flow treatment. *Applied Acoustics*, 2016, vol. 103, pp. 143–147. DOI: 10.1016/j.apacoust.2015.05.005
16. Herrmann K. Über Oxidations fermente und phenolische substrate in Gemüse und Obst. 111. Catechine, Oxyzimtsäuren und O-polyphenoioxidase in Obst. *Z. Lebensmittel-Untersuch. und Forsch.*, 1958, vol. 108, pp. 152–157. DOI: 10.1007/BF01460561
17. Jiranek V., Grbin P., Yap A., Barnes M., Bates D. High power ultrasonics as a novel tool offering new opportunities for managing wine microbiology *Biotechnology Letters*, 2008, vol. 30 (1), pp. 1–6. DOI: 10.1007/s10529-007-9518-z
18. Lucía González-Arenzanaa, Javier Portua, Noelia Lópezb, Pilar Santamaríaa, Ana Rosa Gutiérreza, Rosa Lópezc, Isabel López-Alfaro. Pulsed Electric Field treatment after malolactic fermentation of Tempranillo Rioja wines: Influence on microbial, physicochemical and sensorial quality. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2019, vol. 51, pp. 57–63. DOI: 10.1016/j.ifset.2018.05.019
19. Matsuura K., Hirotsune M., Nunokawa Y., Satoh M., Honda K. Acceleration of cell growth and ester formation by ultrasonic wave irradiation. *J. Ferment. Bioeng.*, 1994, vol. 77, pp. 36–40. DOI: 10.1016/0922-338X(94)90205-4

20. Maturano Y.P., Mestre V.M., Kuchen B., Toro E.M., Mercado L.A., Vazquez F., Combina M. Optimization of fermentation-relevant factors: A strategy to reduce ethanol in red wine by sequential culture of native yeasts. *International Journal of Food Microbiology*, 2019, vol. 289, pp. 40–48. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.016

21. Ojha K.S., Mason T.J., O'Donnell C.P., Kerry J.P., Tiwari B.K. Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017, vol. 34, pp. 410–417. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.001

22. Rez-Magarino S., Gonza Lez-San Jose M.L. Evolution of flavanols, anthocyanins, and their derivatives during the aging of red wines elaborated from grapes harvested at different stages of ripening. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, vol. 52, pp. 1181–1189. DOI: 10.1021/jf035099i

23. Rokhina E.V., Lens P., Virkutyte Ju. Low-frequency ultrasound in biotechnology: state of the art. *Trends in Biotechnology*, 2009, vol. 27, no. 5, pp. 298–306. DOI: 10.1016/j.tibtech.2009.02.001

24. Somers T.C., Verette T. Phenolic composition of natural wine types. *Modern Methods of Plant Analysis. New Series, Volum 6 Wine Analysis*, 1988, pp. 219–257.

Natalia V. Popova, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, South Ural State University (Chelyabinsk), nvpopova@susu.ru

Sonawane Shirish, Doctor of Sciences (Philosophy), Professor of the Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology (India, Telangana State), shirish@nitw.ac.in, ORCID: 0000-0002-3201-6731.

Alfiya R. Abdullina, Students of South Ural State University (Chelyabinsk)

Received November 25, 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Попова, Н.В. Исследование влияния эффектов низкочастотного ультразвука на процессы сбраживания виноматериалов / Н.В. Попова, Ш. Соनावайн, А.Р. Абдуллина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 79–88. DOI: 10.14529/food190109

FOR CITATION

Popova N.V., Sonawane Sh., Abdullina A.R. Research of an Impact of the Low-Frequency Ultrasound Effects on the Processes of Wine Materials Fermentation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 79–88. (in Russ.) DOI: 10.14529/food190109