

Влияние продолжительности волновой обработки на развитие дрожжевых популяций

А.Г. Гришин, Д.В. Карпенко, В.А. Карагод

Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: Научная литература не содержит исследований о влиянии обработки монохроматическим светом на развитие популяций пивных дрожжей низового брожения.

Цель: Исследовать возможность активации развития популяции пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* за счет предварительной обработки светом с длинами волн видимого спектра, обеспечивающей технологическую и экономическую эффективность такого способа воздействия в производственном масштабе.

Материалы и методы: Объектом исследований являлся процесс культивирования популяции пивных дрожжей Saflager S-189 (Fermentis) низового брожения, предметом — влияние на этот процесс предварительной обработки засевных дрожжей монохроматическим светом с длиной волны 980 нм, результативность которого оценивали по убыли веса среды культивирования, приросту общего титра клеток, доле нежизнеспособных и «упитанных» клеток; в качестве источника монохроматического света с длинами волн видимого диапазона использовали фотоэлектроколориметр КФК-2; засев сред и подготовку проб к анализу проводили в боксе антибактериальной воздушной среды БАВнп-01-«Ламинар-С.»-1,2; бродильную активность дрожжей оценивали по убыли веса питательной среды; общий титр клеток устанавливали подсчетом в камере Горяева; процент нежизнеспособных клеток определяли с использованием красителя метиленовый синий; процент «упитанных» клеток дрожжей устанавливали окрашиванием гликогена раствором йода.

Результаты: Предварительная обработка засевных дрожжей монохроматическим светом (980 нм) позволила повысить бродильную активность пивных дрожжей низового брожения на 10–15% по сравнению с контролем, что согласуется с результатами других исследований групп в отношении популяций микроорганизмов других родов и видов. Величины прочих определяемых показателей — доли «упитанных» и нежизнеспособных клеток, общий титр клеток дрожжей — в опытных вариантах были на уровне таковых в контрольных образцах или незначительно уступали им. представлены данные о влиянии продолжительности облучения засевных дрожжей в течение 60, 120 или 180 мин на перечисленные контролируемые показатели, авторами высказано мнение о целесообразности ее проведения в течение 60 мин.

Выводы: Обоснована принципиальная возможность активации развития популяции пивных дрожжей низового брожения с помощью предварительной обработки засевных дрожжей светом с длиной волны 980 нм, что может дать экономический эффект в промышленном масштабе; отмечена необходимость апробации изучаемого технологического приема в условиях, близких к производственным.

Ключевые слова: пивные дрожжи низового брожения; активация развития популяции; волновые воздействия; монохроматический свет

Корреспонденция:

Карпенко

Дмитрий Валерьевич,

Российский биотехнологический университет,
125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11.

E-mail: KarpenkoDV@mgup.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 11.01.2023

Принята: 05.03.2023

Опубликована: 30.03.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Гришин, А. Г., Карпенко, Д. В., Карагод, В. А. (2023). Влияние продолжительности волновой обработки на развитие дрожжевых популяций. FOOD METAENGINEERING, 1(1), 17–25. <https://doi.org/10.1234/fme.2023.11>

The Impact of the Duration of Wave Treatment on the Development of Yeast Populations

Artem G. Grishin, Dmitriy V. Karpenko, Victoria A. Karagod

Russian Biotechnological University,
Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction: The scientific literature does not contain research on the influence of monochromatic light treatment on the development of bottom-fermenting beer yeast populations.

Purpose: To test the possibility of activating the development of the beer yeast *Saccharomyces cerevisiae* population through preliminary treatment with light of visible spectrum wavelengths, providing technological and economic efficiency of such an impact method on a production scale.

Materials and Methods: The object of research was the process of cultivating a population of bottom-fermenting beer yeast Saflager S-189 (Fermentis). The subject was the influence of preliminary treatment of the seed yeast with monochromatic light with a wavelength of 980 nm on this process. Its effectiveness was assessed by the weight loss of the cultivation medium, the increase in the total cell titre, the proportion of unviable and “fed” cells. A KFK-2 photoelectrocolorimeter was used as a source of monochromatic light with wavelengths of the visible range. Seeding of mediums and sample preparation for analysis were performed in a BAVnp-01-“Laminar-S.”-1.2 antibacterial air medium box. The yeast’s fermenting activity was assessed by the weight loss of the nutrient medium; the total cell titre was established by counting in a Goryaev’s chamber; the percentage of unviable cells was determined using methylene blue dye; the percentage of “fed” yeast cells was established by staining glycogen with iodine solution.

Results: Preliminary treatment of the seed yeast with monochromatic light (980 nm) allowed increasing the fermenting activity of bottom-fermenting beer yeast by 10–15% compared to the control, which is consistent with the results of other research groups concerning populations of microorganisms of other genera and species. The values of other determined indicators — the proportion of “fed” and unviable cells, the total yeast cell titre — in the experimental variants were at the level of those in the control samples or slightly inferior to them. Data on the influence of the duration of seed yeast irradiation for 60, 120 or 180 minutes on the listed controlled indicators are presented, and the authors express the opinion about the appropriateness of its conduction for 60 minutes.

Conclusion: The principle possibility of activating the development of a population of bottom-fermenting beer yeast by preliminary treatment of seed yeast with light with a wavelength of 980 nm, which can give an economic effect on an industrial scale, is substantiated; the necessity of testing the technological method under study in conditions close to production ones is noted.

Keywords: bottom-fermenting beer yeast; population development activation; wave effects; monochromatic light

Correspondence:

Karpenko Dmitry Valer'evich,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe shosse, Moscow,
125080, Russian Federation.
E-mail: KarpenkoDV@mgupp.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 11.01.2023

Accepted: 05.03.2023

Published: 30.03.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Grishin, A. G., Karpenko, D. V., & Karagod, V. A. (2023). The impact of the duration of wave treatment on the development of yeast populations. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 17-25. <https://doi.org/10.1234/fme.2023.11>

ВВЕДЕНИЕ

Культивирование дрожжевых популяций является ключевым процессом в производстве напитков брожения, дрожжей различного назначения, белково-витаминных концентратов, хлебопечении и ряде других. От физиологического состояния дрожжевых клеток и их популяции в целом зависит технологическая и экономическая эффективность производственного цикла. При этом нередко технолог ведет процесс культивирования в неоптимальных для дрожжевой популяции условиях: температуре, концентрации питательных веществ и сбалансированности их состава.

Это делает особенно актуальной проблему активации развития дрожжевой популяции. Предлагается использовать для ее решения внесение химических соединений-активаторов (Гернет, 2019; Гернет, 2020; Помозова, 2002). Однако такой подход может вызвать обоснованные возражения, так как приводит к большему или меньшему изменению химического состава готового пищевого продукта/напитка, что не всегда допустимо. Упомянутые изменения побудили исследователей разрабатывать способы активирующего воздействия, не приводящие к прямому и непосредственному изменению химического состава технологической среды, а впоследствии и готовой продукции.

Способы, прямо не изменяющие состав технологических сред, базируются на физических воздействиях различных типов, направленных непосредственно на микробные клетки или на приготовленную для них питательную среду до ее засева. Наибольшее внимание уделяется разработке методов и параметров ультразвуковой обработки, которая широко применяется, в том числе, в производственной практике, для деструкции объектов воздействия — матрикса сырья для интенсификации экстракции, борьбы с биопленками и т.д. Однако установлено, что обработка этого же типа может активировать развитие микробных популяций (Слепян, 2014; Choi, 2015; Бойко, 2018; Huang, 2019; Калужина, 2020; Al Daccache, 2020; Kalugina, 2021; Yang & Xiang, 2020; He, 2021; Yang, Ren, 2021; Kajarekar, 2022; Xiang, 2022). Показана целесообразность применения с той же целью лазерного излучения (Данилова, 2017; Шабурова, 2019), магнитных полей различной интенсивности и характера (Ikehata, 2003; Iwasaka, 2005; Мамарасулов, 2017), а также электрического поля (Мирошников, 2007). Выявлена возможность активации микробных популяций с помощью электронно-ионной обработки

(Глуценко, 2010; Глуценко, 2013). Перспективным признано воздействие звука слышимого диапазона с фиксированной частотой (Karpenko, 2019).

Каждый из перечисленных выше способов обладает своими преимуществами и недостатками. Например, ультразвуковое излучение требует усиления мероприятий по охране труда и, что еще важнее, вызывает повреждение облучаемых поверхностей технологического оборудования (Bredihin, 2021). Другие способы обработки, в частности, лазерной, требуют достаточно дорогостоящего оборудования. Все это сделало целесообразным изучение эффективности такой разновидности волнового излучения, как свет видимого диапазона. Супрунюк с соавторами (2016) установили выраженное влияние света с фиксированными длинами волн видимого спектра на состояние и развитие популяции пивных дрожжей верхового брожения, направление которого зависело от длины волны. Аналогичные эффекты были показаны для культивирования популяций бактерий и микроскопических грибов (Valadon, 2006; Тихонов, 2021; Тихонов, 2022) после облучения при фиксированных длинах волн, а также при обработке дрожжевых и грибных клеток синим (с длинами волн из диапазона 420–460 нм) и красным светом (620–640 нм) (Кобелев, 2013; Кобелев, 2014). Однако информация о результатах обработки пивных дрожжей низового брожения монохроматическим светом видимого спектра в литературе нами не обнаружена, поэтому было признано целесообразным начать исследования в этой области.

Целью данного исследования являлась оценка воздействия света видимого диапазона с фиксированными длинами волн на показатели популяции пивных дрожжей, культивируемой периодическим способом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В качестве объекта облучения светом видимого спектра использовали сухие пивные дрожжи Saflager S-189 (Fermentis) низового брожения.

Модельная питательная среда представляла собой 5 %-ный раствор сахарозы в дистиллированной воде, подвергнутый автоклавному при избыточном давлении 0,5 атм в течение 40 мин.

Оборудование

В качестве источника монохроматического света (длины волн 315, 364, 400, 440, 490, 540, 590, 670, 750, 870, 980 нм) использовали фотоэлектроколориметр КФК-2.

Засев стерильных питательных сред и разбавление образцов перед определением микробиологических показателей вели в боксе антибактериальной воздушной среды БАВнп-01-«Ламинар-С.»-1,2.

Методы

Обработку сухих дрожжей светом для формирования опытных вариантов проводили при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение определенного времени (60, 120 или 180 мин), помещая три равные навески в контейнер, расположенный в пятне света, созданном отражателем.

Засев равных объемов питательной среды осуществляли обработанными (опыт) и необработанными (контроль) навесками дрожжей при начальной норме задачи 15 млн кл/см³.

Культивирование опытных и контрольных дрожжевых популяций вели в течение 3 суток при температуре $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ при перемешивании 1 раз в сутки (перед отбором проб для анализа).

Пробы для определения значений контролируемых показателей осуществляли сразу после засева питательной среды (0 сутки), затем по окончании процесса культивирования, кроме убыли веса, которую фиксировали ежедневно.

Результаты брожения (утилизации питательных веществ клетками дрожжевой популяции) определяли весовым методом¹. Для учета потерь на испарение в рамках каждого эксперимента ставили три образца, представлявших собой объемы модельной среды без внесения дрожжей, равные объему питательных сред в контрольных и опытных вариантах. Их вес определяли параллельно с определением этого показателя в других образцах. Потери на испарение учитывали при расчете убыли веса в контрольных и опытных вариантах.

Общий титр клеток определяли подсчетом в камере Горяева².

Число (процент) нежизнеспособных дрожжевых клеток определяли с использованием красителя метиленовый синий (Давыденко, 2011).

Долю «упитанных» клеток дрожжей определяли окрашиванием гликогена раствором йода³.

Перечисленные выше показатели для каждого варианта определяли в трех повторностях. В таблице приведены средние значения, они же использованы при построении графиков (Рисунки 1 и 2).

Процедура исследования

На предварительном этапе исследований (данные не приведены) сухие дрожжи обрабатывали светом с длинами волн из диапазона 315–980 нм в течение 60 мин при комнатной температуре. Обработанными дрожжами засекали опытные варианты питательной среды, необработанными — контрольные. Культивирование вели как указано выше, контролируя показатели, указанные в предыдущем разделе. Анализ полученных результатов позволил выбрать две длины волны (670 и 980 нм), при которых был выявлен наибольший положительный эффект волновой обработки.

При этих длинах волн обработку проводили в течение 3 часов для выбора рациональной продолжительности волнового воздействия, обеспечивающей наибольший прирост титра клеток и/или наибольшую убыль сухих веществ (степень сбраживания) питательной среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе исследований была проведена серия однотипных экспериментов, отличавшихся только длиной волны света, который использовали для обработки в течение 60 мин трех навесок сухих дрожжей (опытные образцы), которыми затем засекали питательные среды. В каждом эксперименте анализировали указанные в предыдущем разделе показатели, приоритетным являлась бродильная активность (убыль веса питательной среды). По этому критерию лучшие результаты были достигнуты при 670 и 980 нм. Более выраженный активирующий эффект был зафиксирован во втором случае. Поэтому именно при этой длине волны (несмотря на то, что она

¹ Качмазов, Г. С. (2021). *Дрожжи бродильных производств. Практическое руководство: учебное пособие для СПО*. 2-е изд. Лань.

² Там же.

³ Там же.

относится к ближней инфракрасной, а не видимой области спектра) решено было провести эксперимент, в котором продолжительность обработки сухих дрожжей составляла 60, 120 или 180 мин. В Таблице 1 приведены результаты определения контролируемых показателей, полученные в ходе экспериментов двух разных серий, в опытных вариантах, засеянных дрожжами после их 60-минутной обработки монохроматическим светом. Для облегчения сопоставления приведенных значений решено было указать их только для опытных образцов, выразив в процентах по отношению к величинам в соответствующих контрольных вариантах.

Результаты определения убыли веса в образцах, полученных с использованием обработанных светом дрожжей, облученных монохроматическим светом с длиной волны 980 нм в течение разного времени представлены на Рисунке 1. Значения выражены в процентах к величинам в контрольных вариантах (здесь и на следующем рисунке).

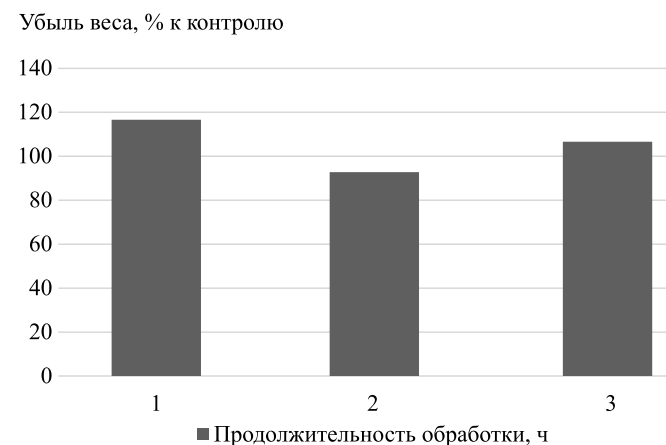
Результаты определения микробиологических показателей, характеризующих состояние дрожжевых популяций после обработки светом в течение разного времени приведены на Рисунке 2.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленные результаты подтверждают, по нашему мнению, гипотезу о возможности повышения метаболической активности клеток дрожжевой популяции за счет облучения светом определенной длины волны. Подтверждено, что при культивировании в модельной среде обработанные световым излучением (980 нм) в течение 60 мин клетки более интенсивно утилизируют питательные вещества: убыль веса в опытных вариантах была достоверно, на 10–15 % больше, чем в контрольных об-

Рисунок 1

Влияние продолжительности обработки сухих дрожжей светом с длиной волны 980 нм на бродильную активность (убыль веса питательной среды)



разцах. Значения остальных определяемых показателей были на уровне контрольных или незначительно хуже.

Еще одним заслуживающим внимания положительным фактом является воспроизводимость полученных результатов. Значения аналогичных показателей в таблице не идентичны, что, очевидно, объясняется неизбежными различиями в характере развития дрожжевых популяций в разных циклах культивирования, однако тенденции, зафиксированные в первом эксперименте, подтвердились во втором, за исключением доли нежизнеспособных клеток, величины которой разнонаправленно колебались относительно контроля.

Данные Рисунка 1 позволяют предположить нелинейное влияние продолжительности обработки светом с длиной волны 980 нм на убыль веса питательной среды. Установлено, что после 1 часа облучения засеваемых

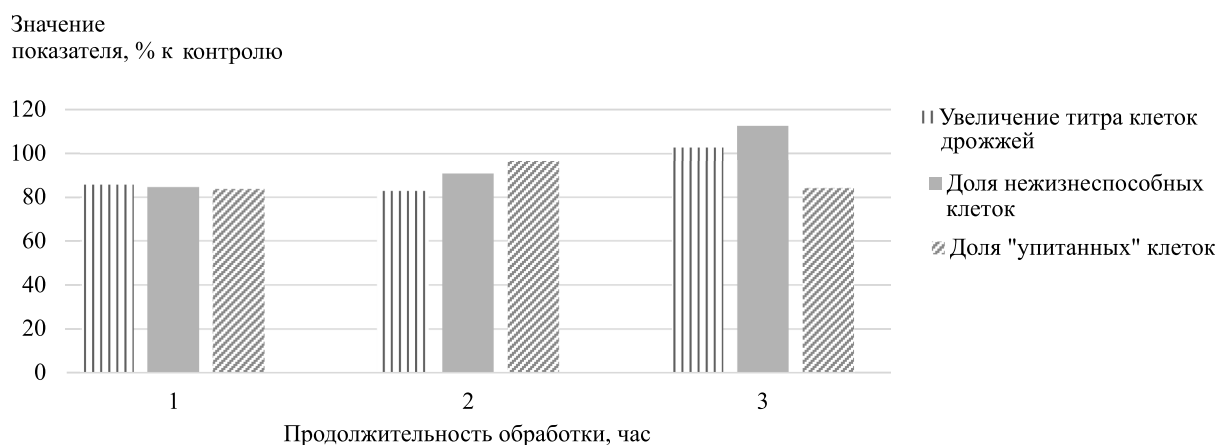
Таблица 1

Влияние обработки светом с длиной волны 980 нм на результаты развития популяции пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*

Величина показателя в опытном варианте, % к контролю				
Эксперимент	Убыль веса среды культивирования	Титр дрожжевых клеток	% «упитанных» клеток	% нежизнеспособных клеток
1	110,68 ± 3,81	98,95 ± 4,67	95,89 ± 6,03	105,34 ± 8,21
2	116,59 ± 2,99	85,16 ± 5,82	83,60 ± 6,48	84,57 ± 7,44

Рисунок 2

Влияние продолжительности обработки сухих дрожжей светом с длиной волны 980 нм на состояние популяции по окончании культивирования



дрожжей в условиях эксперимента убыль веса увеличилась на 16 % по сравнению с контролем, а после 3 ч — на 6 %. При этом обработка двухчасовой продолжительности привела к снижению величины убыли веса примерно на 7 %, что превышает погрешность определения использованного нами метода. Механизм воздействия монохроматического света видимого спектра и ближних ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов пока не вполне ясен, но можно предположить, что определенную роль играет энергия, вводимая облучением в среду культивирования. В этом случае именно ее количество может определять результат обработки рассматриваемого типа, влияя на метаболические системы клеток засевных дрожжей и, как следствие, на результаты культивирования их популяции. С точки зрения интенсивности потребления дрожжевыми клетками компонентов питательной среды наиболее целесообразно предварительное облучение засевных дрожжей светом с длиной волны 980 нм в течение 60 мин.

Судя по данным Рисунка 2, облучение засевных дрожжей светом с длиной волны 980 нм при продолжительности, равной 1 и 2 часам, привело в условиях эксперимента к незначительному снижению интенсивности накопления микробной биомассы: прирост титра клеток в опытных вариантах был на 15–17 % меньше, чем в контрольных; воздействие в течение 3 часов не повлияло на обсуждаемый показатель.

Доля нежизнеспособных клеток по окончании культивирования дрожжевой популяции оказалась наибо-

лее чувствительной к продолжительности облучения: после воздействия света в течение 1 часа ее величина была на 15 % ниже, чем в контроле, в течение 2 часов — на 10 %, тогда как после 3 часов обработки значение этого показателя было на 12,5 % выше контрольного, что превышает обычную погрешность определения.

Доля «упитанных клеток» по всех опытах обсуждаемого эксперимента была ниже, чем контрольных вариантах на 3–17 %, таким образом, мало зависела от продолжительности волнового воздействия.

Информация о результатах обработки пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* монохроматическим светом видимого диапазона в научной литературе нами не обнаружена, в силу чего имеется возможность сравнить полученные нами данные только с результатами обработки иными типами волн или микроорганизмов других родов и видов. Можно заключить, что снижение доли нежизнеспособных клеток, достигаемое в результате облучения светом, несколько меньше, чем в результате электронно-ионной обработки при рациональных экспозиции и напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве (Глуценко, 2013). Лазерное излучение обеспечило 11-кратный прирост титра клеток молочнокислых бактерий (Данилова, 2017), но в нашей работе задача интенсификации накопления дрожжевой биомассы не ставилась, поэтому незначительное снижение числа клеток при повышении степени утилизации питательных веществ в результате обработки светом можно считать положительным результатом. Обработка ультразвуком в условиях, при-

знанных оптимальными (при частоте колебаний 44 кГц в течение 2 мин) (Калужина, 2020) обеспечила увеличение бродильной активности пивных дрожжей на 36 %, тогда как в лучшем варианте после воздействия светом оно составило 16 %. По нашему мнению, это объясняется, с одной стороны, меньшим количеством энергии, вводимой в обрабатываемую среду, а с другой стороны тем, что оптимальные параметры облучения видимым светом нами пока еще не установлены, так как наши исследования находятся на начальном этапе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате оценки воздействия света видимого диапазона выявлены длины волн, позволяющие повысить бродильную активность пивных дрожжей при периодическом способе культивирования их популяции, что соответствует выдвинутой гипотезе исследований. Выявлено, что на эффективность обработки дрожжей светом влияет как длина волны, так и продолжительность воздействия.

Производство в Российской Федерации пива низового брожения является высоко конкурентным, поэтому необходимо интенсифицировать каждую из ключевых технологических стадий, включая главное брожение. Одним из эффективных способов решения такой задачи является засев сусла дрожжами с высокой бродильной активностью. На основании проводимых исследований можно предположить, что она может быть повышена за счет предварительной обработки засевных дрожжей монохроматическим светом с длиной волны 980 нм. Важно подчеркнуть, что в результате такого воздействия увеличивается степень утилизации компонентов

питательной среды, но прирост биомассы ниже, чем при традиционной технологии. Это выгодно с точки зрения уменьшения объема вторичного ресурса пивоваренного производства — избыточных дрожжей, рациональная утилизация которых является, как правило, достаточно затратным мероприятием.

Безусловно, приведенные в статье результаты получены при использовании модельной питательной среды и сухих дрожжей для ее засева, что не практикуется в промышленном масштабе. В силу этого, на следующем этапе исследований необходимо определить эффективность обсуждаемого способа обработки применительно к дрожжевой суспензии и процессу сбраживания пивного сусла в условиях максимально близким к производственным.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Артём Геннадьевич Гришин: курирование данных, написание — подготовка черновика рукописи, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Дмитрий Валерьевич Карпенко: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Виктория Артёмовна Карагод: курирование данных, написание — подготовка черновика рукописи, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Бойко, С. С., Яценко, Е. С. (2018). Изучение влияния ультразвукового воздействия на споро- и неспорообразующие бактерии. *Вестник биотехнологии*, 14(1), 102–105.
- Гернет, М. В., Борисенко, О. А., Грибкова, И. Н. (2019). Комплексный активатор брожения в технологии пива. *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, 8(3), 134–138.
- Гернет, М. В., Грибкова, И. Н., Борисенко О. А. (2020). Исследование возможности активации дрожжей при приготовлении ферментированных напитков. *Пищевая промышленность*, 8, 56–59.
- Глуценко, Л. Ф., Глуценко, Н. А. (2010). *К вопросу об управлении жизнедеятельностью микроорганизмов* (с. 27–43) Академия естествознания.
- Глуценко, Н. А. (2013). О некоторых эффектах влияния электронно-ионной обработки на дрожжевые микроорганизмы. *Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого*, 71–2, 36–40.
- Давыденко, С. Г., Васильева, Л. М., Баташов, Б. Э., Дедегкаев, А. Т. (2011). Применение методов окраски дрожжей для оценки их физиологического состояния. *Пиво и напитки*, 5, 8–11.

- Данилова, А. Н., Пономарева, М. С., Гернет, М. В., Шабурова, Л. Н. (2017). Влияние лазерного излучения на молочнокислые бактерии. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 12, 12–14.
- Калужина, О. Ю., Яковлева, К. С., Кашапова, Р. А., Черников, Е. Н., Черненкова, А. А., Бодров, А. Ю. (2020). Влияние ультразвука на пивоваренные дрожжи. *Вестник ВГУИТ*, 82(1), 103–109. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-103-109>
- Кобелев, А. В., Багаева, Т. В. (2013). Влияние разного светового спектра на рост дрожжей *Saccharomyces cerevisia*. *Материалы II Междунар. интернет-конференции* (с. 147–149). ИП Синяев Д. Н.
- Кобелев, А. В., Багаева, Т. В., Галкина, Л. А. (2014). Влияние разного светового спектра на биосинтез вторичных метаболитов микромицета *Fuzarium equiseti*. *Биотехнология. Взгляд в будущее: Материалы III Международной научной Интернет-конференции* (с. 99–102). ИП Синяев Д. Н.
- Мамарасулов, Б. Д., Насирова, О. А., Мирзарахметова, Д. Т. (2017). Интенсификация процесса сбраживания пивного суслу. *Пиво и напитки*, 5, 24–27.
- Мирошников, А. И. (2007). Стимуляция и ингибирование роста клеток при культивировании в питательной среде, модифицированной электрическим полем. *Вестник биотехнологии*, 3(2), 18–25.
- Помозова, В. А., Пермьякова, Л. В., Сафонова, Е. А., & Артемазов, В. В. (2002). Активация пивных дрожжей. *Пиво и напитки*, 2, 26–27.
- Слепян, Л. И., Каухова, И. Е., Солодникова, Е. С., Красовицкая, И. А. (2014). Влияние ультразвука на рост и метаболизм биологически активных веществ в штаммах *Panax ginseng* С.А. Мей. и *Panax quinquefolius* L. (Araliaceae). *Вестник биотехнологии*, 10(1), 46–51.
- Супрунюк, А. Ю., Карпенко, Д. В. (2016). Влияние обработки монохроматическим светом на характеристики пивных дрожжей. *Общезащитная научная конференция молодых ученых и специалистов «День науки»* (часть 2, с. 134–138). МГУП.
- Тихонов, С. Л., Тихонова, Н. В., Кирпикова, К. Е., Пестова, И. Г., Московенко, Н. В., Кольберг, Н. А. (2021). Биосинтез низина с применением фотостимуляции продуцента *Lactobacillus lactis* и пептидов фабрициевой сумки в составе питательной среды. *Современная наука и инновации*, 3, 85–95. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.3.85-95>
- Тихонов, С. Л., Тихонова, Н. В., Пестова, И. Г., Тихонова, М. С. (2022). Исследование влияния фотостимуляции на продуктивность культуры *Lactobacillus lactis* и активность полученного низина. *Индустрия питания*, 7(1), 63–69. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-1-8>
- Шабурова, Л. Н., Данилова, А. Н., Пономарева, М. С., Гернет, М. В. (2019). Действие импульсной частоты лазерного излучения на дрожжи верхового брожения. *Пиво и напитки*, 2, 16–19.
- Al Daccache, M., Koubaa, M., Salameh, D., Maroun, R. G., Louka, N., & Vorobiev, E. (2020). Ultrasound-assisted fermentation for cider production from Lebanese apples. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104952. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104952>
- Bredihin, S. A., Andreev, V. N., Martekha, A. N., Schenzle, M. G., & Korotkiy, I. A. (2021). Erosion potential of ultrasonic food processing. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 335–344. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-335-344>
- Choi, E. J., Ahn, H., Kim, M., Han, H., & Kim, W. J. (2015). Effect of ultrasonication on fermentation kinetics of beer using six-row barley cultivated in Korea. *Journal of the Institute of Brewing*, 121(4), 510–517. <https://doi.org/10.1002/jib.262>
- He, R., Ren, W., Xiang, J., Dabbour, M., Mintah, B., Li, Y., & Ma, H. (2021). Fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* in a 7.5 liter ultrasound-enhanced fermenter: Effect of sonication conditions on ethanol production, intracellular Ca²⁺ concentration and key regulating enzyme activity in glycolysis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105624. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105624>
- Huang, G., Chen, S., Tang, Y., Dai, C., Sun, L., Haile Ma, H., & He, R. (2019). Stimulation of low intensity ultrasound on fermentation of skim milk medium for yield of yoghurt peptides by *Lactobacillus paracasei*. *Ultrasonics sonochemistry*, 51, 315–324. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.033>
- Ikehata, M., Iwasaka, M., Miyakoshi, J., Ueno, S., & Koana, T. (2003). Effects of intense magnetic fields on sedimentation and gene expression profile in budding yeast. *Journal of Applied Physics*, 93(10), 6724–6726. <https://doi.org/10.1063/1.1556929>
- Iwasaka, M., Ikehata, M., Miyakoshi, J. & Ueno, S. (2005). Strong static magnetic field effects on yeast proliferation and distribution. *Bioelectrochemistry*, 65(1), 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2004.04.002>
- Kajarekar, B., & Gogate, P. (2022). Ultrasound Assisted Intensification of Streptomycin production based on Fermentation. *Chemical Engineering and Processing — Process Intensification*, 171(2), 108748. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108748>
- Kalugina, O., Nafikova, A., Chernenkov, E., Leonova, S., Chernenkova, A., Badamshina, E., & Bodrov, A. (2021). Application of ultrasound for enhancing fermentation rates in brew-

- ing technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 20(3), 301–312. <http://dx.doi.org/10.17306/J.AFS.2021.0950>
- Karpenko D. V., Gernet M. V., Krjukova E. V., Gribkova I. N., Nurmukhanbetova D. E., Assembayeva E. K. (2019). Acoustic vibration effect on genus *Saccharomyces* yeast population development. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 4(436), 103–112. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.103>
- Valadon, L., Osman, M., Mummery, R., Jerebzoﬀ-Quintin, S., & Jerebzoﬀ, S. (2006). The effect of monochromatic radiation in the range 350 to 750 nm on the carotenogenesis in *Verticillium agaricinum*. *Physiologia Plantarum*, 56(2), 199–203. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1982.tb00325.x>
- Xiang, J., Dabbour, M., Gao, X., Mintah, B. K., Yang, Y., Ren, W., He, R., Dai, C., & Ma, H. (2022). Influence of low-intensity ultrasound on ϵ -polylysine production: intracellular ATP and key biosynthesis enzymes during *Streptomyces albulus* fermentation. *Foods*, 11, 3525. <https://doi.org/10.3390/foods11213525>
- Yang, Y., Ren, W., Cheng, L., Dapaah, M., He, R., & Ma, H. (2021). Incorporating transcriptomic-metabolomic analysis reveal the effect of ultrasound on ethanol production in *Saccharomyces cerevisiae*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79(4), 105791. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105791>
- Yang, Y., Xiang, J., Zhang, Z., Umego, E. C., Huang, G., He, R., & Ma, H. (2020). Stimulation of in situ low intensity ultrasound on batch fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* to enhance the GSH yield. *Journal of Food Process Engineering*, 43(10), e13489. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13489>