

Обзор: биотехнология пива с применением дрожжей рас квейк, особенности производства и новые технологии

Янис Р. Арустамов ¹	aru.yanis@yandex.ru	
Инна В. Новикова ¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Александр С. Муравьев ¹	hntun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Квейк – это традиционный скандинавский штамм дрожжей, который был использован для варки пива в Швеции, Норвегии и Финляндии на протяжении тысячелетий. Эти дрожжи отличаются высокой температурной толерантностью, что позволяет использовать их при более высоких температурах во время брожения. Применение квейк-дрожжей в пивоварении становится все более популярным среди пивоваров во всем мире из-за их уникальных свойств. Квейк-дрожжи могут придавать пиву фруктовые и цитрусовые нотки, а также другие интересные ароматы и вкусы. Они также способны быстро и очень эффективно газировать пиво, что делает процесс производства более быстрым и удобным. Биотехнология пива с использованием квейк-дрожжей позволяет пивоварам создавать уникальные сорта пива с различными характеристиками. Эти дрожжи могут быть использованы как для традиционных стилей пива, так и для современных экспериментальных рецептов. Их высокая активность и способность работать при различных температурах делают их идеальным выбором для крафтового пивоварения. Биотехнология пива с использованием квейк-дрожжей предоставляет пивоварам новые возможности для творчества и экспериментов, что способствует развитию индустрии крафтового пивоварения и созданию уникальных и интересных сортов пива для любителей крафта.

Ключевые слова: квейк, дрожжи, брожение, генетика, биотехнология.

Overview: beer biotechnology using kweik yeast, production features and new technologies

Yanis R. Arustamov ¹	aru.yanis@yandex.ru	
Inna V. Novikova ¹	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892
Aleksandr S. Muravev ¹	hntun@mail.ru	 0000-0002-5989-0752

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Kweik is a traditional Scandinavian yeast strain that has been used to brew beer in Sweden, Norway and Finland for thousands of years. This yeast has a high temperature tolerance, which allows it to be used at higher temperatures during fermentation. The use of kweik yeast in brewing is becoming increasingly popular among brewers around the world because of its unique properties. Kweik yeast can impart fruity and citrus notes, as well as other interesting aromas and flavors to beer. They are also able to carbonate beer quickly and very efficiently, making the production process faster and more convenient. Kweik yeast beer biotechnology allows brewers to create unique beers with different characteristics. This yeast can be used for both traditional beer styles and modern experimental recipes. Their high activity and ability to work at different temperatures make them an ideal choice for craft brewing. Kweik yeast beer biotechnology provides brewers with new opportunities for creativity and experimentation, which contributes to the development of the craft brewing industry and the creation of unique and interesting beers for craft enthusiasts.

Keywords: kweik, yeast, fermentation, genetics, biotechnology.

Введение

Выбор пивных дрожжей на протяжении веков основывался на их важных свойствах: эффективно сбраживать сахара в сусле (мальтозу и мальтотриозу); уменьшать образование фенольного привкуса (важно для светлого пива); и обеспечивать эффективную флокуляцию [1]. Одомашнивание пивоваренных дрожжей, предположительно, произошло из-за частого повторного использования и обмена между пивоварами [2].

По словам К. Хабшида, исторически пивоварни сохраняли эти штаммы – некоторые более 100 лет – постоянно используя их в пивоварении и выпечке хлеба [3].

А. Тяхт утверждает, что при брожении в промышленных масштабах предпочтение отдается использованию заквасочных культур, а не инокулированию, для того чтобы избежать технических проблем, связанных с медленной скоростью брожения, изменчивостью конечного

Для цитирования

Арустамов Я.Р., Новикова И.В., Муравьев А.С. Обзор: биотехнология пива с применением дрожжей рас квейк, особенности производства и новые технологии // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 173–180. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-173-180

For citation

Arustamov Ya.R., Novikova I.V., Muravev A.S. Overview: beer biotechnology using kweik yeast, production features and new technologies. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 173–180. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-173-180

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

продукта и загрязнением дрожжами, которые могут испортить конечный продукт [4]. Коммерческие штаммы дрожжей являются изолятами из среды или были получены в результате селекции, в ходе которых они были отобраны по определенным фенотипическим признакам, таким как эффективное потребление азота [5], быстрая скорость брожения [6] и приятный ароматический профиль [7]. Эти коммерческие штаммы обычно проходили различные этапы одомашнивания, при этом точные условия зависели от методик, применяемых на предприятии [8]. Таким образом, признаки, представляющие промышленный интерес, могут различаться у разных рас, отражая специфику среды их одомашнивания.

Производство пива, особенно крафтового, в последние годы выросло, как и разработка новых продуктов. По этой причине исследования были сосредоточены на отборе дрожжей с хорошей кинетикой брожения, а также пива с выдающимися ароматическими характеристиками. Конечный вкус и аромат пива представляет собой комбинацию сотен активных ароматических соединений, образующихся в основном во время брожения в результате метаболизма дрожжей (высшие спирты, сложные эфиры, альдегиды и вицинальные дикетоны). Аналогичным образом, несколько исследований продемонстрировали потенциал диких дрожжей рода *Saccharomyces* как в выработке ароматических веществ, так и в производстве полезных соединений, представляющих интерес, таких как мелатонин [9].

Дрожжи Квейк

Х. Гейр, пишет, что квейк – это традиционный скандинавский штамм дрожжей, который был использован для сбраживания пива в Швеции, Норвегии и Финляндии на протяжении тысячелетий. Эти дрожжи отличаются высокой термотолерантностью, что позволяет использовать их при более высоких температурах во время брожения. Обычно норвежский фермерский эль производился из ячменного солода и хмелевого сусла. Однако в него также добавляли хвою можжевельника [10–11].

Применение квейк-дрожжей в пивоварении становится все более популярным среди пивоваров во всем мире из-за их уникальных свойств. Квейк-дрожжи могут придавать пиву фруктовые и цитрусовые нотки, а также другие интересные ароматы и вкусы. Они также способны быстро и очень эффективно насыщать пиво CO₂, что делает процесс производства более быстрым и удобным [12].

По словам Б. Фостера, квейк привлекли внимание пивоваренного сообщества из-за

их отличия от обычно используемых пивоваренных дрожжей [13]. Эти дрожжи веками использовались в западной Норвегии для приготовления традиционного фермерского эля, для которого характерно добавление дрожжей в сусло при температуре в диапазоне 28–40 °C и последующее быстрое брожение, завершающееся в течение 1–2 дней [14].

Эти дрожжи могут храниться в сухом виде длительное время (до 1 года и более), а сусло (с более высокой начальной концентрацией сусла ~19%) обычно выдерживают при температуре 28–40 °C [15]. Нет ничего необычного в том, что время сбраживания часто длится 1–2 дня [16]. Получаемое пиво во многом напоминает светлое пиво, произведенное на *Saccharomyces pastorianus* (традиционных пивных дрожжах). *S. pastorianus*, однако, гораздо более чувствителен к температуре, требует более низких температур для брожения (10–15 °C), диациетил-паузы, более длительного брожения (до 10 дней), а срок созревания – 2–3 недели [17]. Дрожжи квейк гораздо более устойчивы к температуре и спирту (некоторые выдерживают до 16 % об. этанола), требуют меньше времени на брожение, не содержат остатков диацитила и не требуют длительного созревания – характеристики, которые, несомненно, будут интересны пивоваренной промышленности.

Генетика дрожжей квейк

Б. Галлон определил, что последовательно-сти генома шести штаммов квейк идентифицировали их как имеющие смешанное происхождение, причем один родительский штамм происходил из образца «Beer 1», как определено Б. Галлоном [18], а другой – как пока неизвестный родительский. Генетические и фенотипические характеристики выявили общие признаки одомашнивания и перспективные характеристики для производства пива. К ним относятся эффективная флокуляция (>80 % проанализированных штаммов), поддерживаемая повышенными вариациями числа копий (CNV) различных генов FLO, эффективное потребление основных сахаров в сусле с повышенными CNV генов метаболизма мальтозы и мальтотриозы (MAL) и гомозиготные однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) с потерей функции в генах (PDC1 и FDC1), ответственных за выработку 4-винилгваякола с фенольным привкусом, что делает их отрицательными по фенольному привкусу (POF). Наконец, фенотипическое тестирование показало устойчивость штаммов квейк к этанолу и термотолерантность, тем самым расширяя потенциальное применение этих дрожжей.

Эти штаммы квейк, хотя и тесно связаны филогенетически, генетически и функционально отличаются друг от друга.

Вышеупомянутые исследования брожения проводились при 30 °С. В настоящее время нет более подробной информации о диапазоне температур брожения, при которых различные штаммы квейк эффективно осуществляют брожение. Указанные показатели этанола и термотолерантности свидетельствуют о повышенной способности штаммов квейк бороться со стрессами во время брожения при более высоких температурах, тем самым повышая их потенциал для успешного завершения брожения при более высоких температурах. В настоящее время отсутствует понимание специфической кинетики брожения различных штаммов квейк в более широком диапазоне температур.

Свойства клеток дрожжей квейк

Устойчивость к этанолу и термическому стрессу – полигенные признаки, которые зависят от множества путей борьбы с этим воздействием окружающей среды на дрожжи. Высокие концентрации этанола и температуры нарушают целостность клеточных стенок, текучесть мембран и их целостность, что приводит к утечке клеточного содержимого в окружающую среду и денатурирует структуру белка, что в итоге влияет на его функцию. Вместе эти проблемы нарушают структурную целостность клетки, негативно влияя на ее метаболизм, приводя к снижению клеточной функциональности, что может привести к гибели клеток. Дрожжевые клетки борются с повышением концентрациями этанола или высокими температурами с помощью внутренних механизмов, которые включают стабилизацию клеточных стенок и клеточных мембран и увеличение способности клеток сворачивать белки. С этой целью молекулярные шапероны, такие как белки теплового шока (Hsp), индуцируются стрессом окружающей среды для стабилизации сворачивания белка, тем самым защищая от денатурации с потерей определенных функций. Кроме того, производство и накопление трегалозы, дисахарида глюкозы, который может функционировать как резервированный углевод, образующийся при ограничении потребления глюкозы, индуцируется высокими температурами и, как известно, защищает плазматическую мембрану и белки от воздействия окружающей среды (тепло, холод, этанол) и клеточных стрессов (АФК/окислительный стресс).

Р.С. Магальяес выявил, что внутриклеточные уровни трегалозы контролируются скоординированной регуляцией реакций биосинтеза и гидролиза трегалозы, которые регулируются сигналами питательных веществ и реакциями на стресс в течение жизненного цикла [20]. В ответ на стресс индуцируется биосинтез трегалозы и снижается гидролиз трегалазами, что приводит к накоплению трегалозы внутриклеточно, где, как предполагается, что она связывает и стабилизирует белки и мембраны. Высокоаффинный транспортер трегалозы, Agt1, транспортирует накопленную трегалозу в периплазматическое пространство, где, как предполагается, она связывает полярные головки фосфолипидов во внешнем листочке плазматической мембраны для защиты ее от воздействия окружающей среды [21].

Происхождение

Дрожжи квейк давно известны в Норвегии и других частях Скандинавии. Изначально их использовали как для выпечки хлеба, так и для производства пива. Только многовековой опыт домашних пивоваров, в основном норвежских, которые сохранили традиционные способы приготовления пива, а также штаммы дрожжей, используемые в процессе, привел к их отделению от пива, пивоварни или окружающей среды. Этот район славится традиционными сортами *stjærdalsøl*, *konnjøl* и *maltøl*. Дрожжи квейк внутри своей группы делятся на две отдельные подгруппы. В состав первого входят дрожжи из регионов Гранвин, Странда, Ледал и Восс, тогда как во втором – дрожжи из регионов Сиккилвен, Хорниндал и Стордал. Интересно, что обе группы географически соответствуют северу и югу от ледника Йостедал. Результаты последнего генотипирования были опубликованы в 2018 году. Штаммы дрожжей квейк из девяти различных норвежских источников были охарактеризованы с помощью ПЦР-дактилоскопии, полногеномного секвенирования выбранных штаммов и фенотипического скрининга. Авторы обнаружили, что изученные штаммы квейк генетически отличались от других одомашненных штаммов *Saccharomyces* [22].

Хранение дрожжей

Дрожжи квейк хранятся очень специфическим способом, а именно на специальных деревянных конструкциях в высушенном виде. Эти деревянные конструкции представляют собой надрезанные бревна или специальные конструкции овальной формы. Такая деревянная

конструкция погружается в дрожжевой осадок, образовавшийся после брожения, затем в муку или золу и, наконец, высушивается, так что ее можно хранить в течение длительного периода, в течение года или более, в то время как жидкая часть дрожжей будет очень быстро портиться.

Такой метод хранения суспензии означает, что в дополнение к квейк дрожжам в этих конструкциях также могут присутствовать переносимые по воздуху дрожжи и бактерии [23]. Следовательно, в зависимости от региона они могут существенно отличаться от тех, которые были одомашнены и сохранялись в географически изолированных пивоварнях [24].

Характеристики дрожжей

Из-за небольшого количества исследований дрожжей квейк их характеристики до конца еще не изучены. Кроме того, традиционная дрожжевая суспензия, полученная для исследований, очень часто состоит из различных штаммов, обладающих совершенно разными свойствами, что затрудняет как исследование, так и выводы [25]. Часто совместное действие нескольких штаммов бактерий приводит к совершенно иным результатам, чем при использовании одного штамма. Однако большинство штаммов квейк фенотипически отличаются от широко известных и используемых пивных дрожжей (дрожжей высшего брожения).

К. Адаменко утверждает, что отличительными особенностями дрожжей квейк являются сильная флокуляция, высокая скорость брожения, отсутствие фенольного послевкусия, исключительная устойчивость к температуре во время брожения ($>30\text{ }^{\circ}\text{C}$), отсутствие или небольшое количество образующегося 4-винилгваякола (ответственного за аромат гвоздики) и высокая переносимость спирта, а также уникальный профиль вкуса. На развитие таких свойств могло повлиять сухое хранение в вышеупомянутых деревянных конструкциях [26].

Благодаря своим характеристикам штаммы дрожжей квейк могут оказаться весьма полезными в качестве новой группы пивных дрожжей. Выбранные штаммы позволяют сохранить соответствующие физико-химические характеристики пива в стиле New England Pale Ale, которые также характеризуются антиоксидантной активностью, а также новым и интересным профилем летучих соединений и вкусовыми свойствами. Насколько известно, в доступной литературе есть только одна работа, посвященная использованию дрожжей квейк для приготовления

крепкого пива, в то время как при их использовании очень важно контролировать процесс приготовления светлого пива. В темных солодах типа стаут соединения реакции Майяра влияют на метаболизм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Их добавление в технологический процесс влияет как на основные технологические параметры пива, так и на профиль соединений, которые являются побочными продуктами брожения этанолом и влияют на вкусовые качества [27]. Существуют определенные различия в технологии производства темного и светлого пива, которые могут напрямую повлиять на процесс производства пива с использованием дрожжей квейк.

Современные исследования квейк

Целью диссертации И. Тодда, было изучить несколько аспектов дрожжей квейк. Во-первых, были изучены природа и штаммовый состав суспензий квейк, чтобы определить степень вариативности в пределах определенной культуры. Впоследствии была исследована способность отдельных штаммов квейк переносить стрессоры, присутствующие во время брожения. На основе этого анализа было проведено сравнение эффективности брожения штаммов квейк с современными пивными дрожжами при различных температурах. Это было достигнуто путем оценки хода брожения, а также качественной оценке выработки вкусовых соединений. В рамках этого исследования вклад отдельных изолятов в ферментацию оценивался с использованием различных рас дрожжей квейк, полученных из одной и той же «материнской» культуры [28].

Полученные данные демонстрируют, что дрожжи квейк способны успешно сбрасывать при высоких температурах благодаря своей способности переносить целый ряд стрессовых факторов, включая высокую степень врожденной термостойкости. Анализ летучих компонентов показал, что штаммы квейк уникальны и отличаются от других штаммов пивоваренных дрожжей. Анализ индивидуальных штаммов также позволил предположить, что определенные штаммы могут доминировать, потенциально оказывая большее влияние на получаемое пиво как с точки зрения выхода алкоголя, так и с точки зрения производства вкуса.

В диссертации [29] было изучено микробиологическое разнообразие десяти различных видов квейк. Были выделены, секвенированы и идентифицированы штаммы бактерий и дрожжей

из четырех квейков: Орьясетер, Гауземель, Оттердал и Гамлегруа. Анализы эукариотической и прокариотической микробиоты были проведены на этих квейк, в дополнение к Espe, Tormodgarden, Midtbust, Ebbegarden, Sigmund и Stalljen. Были изучены антибактериальные эффекты можжевельника в отношении молочнокислых бактерий (LAB) *Lactobacillus plantarum*, *Lb. buchneri* и *Lb. brevis*. Квейкс Орьясетер, Гауземель и Гамлегруа были изучены в ходе исследований роста и метаболизма при температурах 22, 30 и 37 °С. Измерения pH, количества клеток, содержания сахара и ароматических компонентов проводились на 0, 2 и 7 сутки инкубации. Исследуемые дрожжи также использовались при пивоварении в пилотном масштабе. Целью было определить различия как в метаболитах, так и в сенсорных характеристиках между культурами. Брожение проводилось при разных температурах. Три образца ($n = 3$) 9 сортов пива, четыре образца ($n = 4$) одного сорта пива и два образца ($n=2$) одного сорта пива с использованием трех температур брожения 22, 30 и 37 °С были проанализированы с помощью газовой хроматографии HSGC).

Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* были выделены и идентифицированы методом секвенирования по Сэнгеру в Эрьясетере, Гауземеле, Оттердале и Гамлегруа. Бактерии *Lb. plantarum* и *Acetobacter malorum* были выделены и идентифицированы секвенированием по Сэнгеру в Gausemel и Gamlegrua. В квейк были обнаружены варианты последовательности дрожжей *S. cerevisiae*, полученные в результате анализа микробиоты эукариот. Анализ прокариотической микробиоты показал, что все десять квейк, проанализированных в этом исследовании, содержали бактерии. Наблюдалось антибактериальные эффекты экстрактов можжевельника в отношении LAB. Наблюдалось различия в содержании летучих компонентов и общего содержания фенола между готовыми сортами пива, как результат различий в температуре брожения, так и в культуре, используемой для проведения брожения.

Вывод этого исследования заключается в том, что айнерлог (сорт пива), приготовленный из веточек и хвои можжевельника, оказывает антибактериальное действие на LAB. Некоторый эффект наблюдался у незрелых ягод. Все десять квейк, включенных в это исследование, состояли из вариантов последовательности *S. cerevisiae* и вариантов последовательности нескольких бактерий, таких как *Acetobacter spp.*, *Lb. brevis*,

Lb. backii и *Lactococcus lactis*. Более низкие температуры брожения приводят к повышению общего содержания фенолов и сложных эфиров в пиве, сброженного квейк. Добавление квейк в айнерлог привело к более высокому общему содержанию фенола и более низкому содержанию диацетила и сложных эфиров в готовом пиве. Пиво, ферментированное с квейк, содержит более высокие уровни сложных эфиров и более низкие уровни высших спиртов и диацетила, чем пиво, ферментированное с US-05.

Штамм Voss был получен З. Йернесом из Voss в Норвегии. Было обнаружено, что этот штамм поддерживает широкий диапазон температур брожения от 25 до 40 °С, при оптимальном диапазоне от 35 до 40 °С. При оптимальном диапазоне температур может быть достигнута очень быстрая брожение (обычно 2–3 дня) [30].

Типичная норма задачи составляет 50–100 г/л в зависимости от плотности суслу и требуемого количества сложных эфиров (меньшая норма задачи = больше сложных эфиров). Для пивоварения с высокой плотностью может потребоваться более высокая норма задачи и плотности. Профиль вкуса нейтральный с тонкими фруктовыми нотами апельсина и цитрусовых. Эти дрожжи, как и все квейк, обладают высокой флокулянтностью; характеристика, которая была необходима для непрерывного повторного использования и выживания культур [31].

Чаще всего с использованием этих дрожжей производят фермерский эль, современный и традиционный эль, английский эль и IPA. Дрожжи после брожения можно повторно использовать в течение 5 последующих генераций.

Как и в случае с любым штаммом в сухом виде, регидратацию можно проводить перед задачей. Однако самые исследования показали, что разницы в генерации с регидратацией и без нее нет. Сухие дрожжи можно хранить в оригинальной упаковке в закрытом виде при температуре 5–7 °С до истечения срока годности.

Для оценки различий в профиле летучих соединений темного и светлого пива, сброженного разными штаммами пивных дрожжей, была проведена газовая хроматография с пламенно-ионизационным определением и газохроматографический масс-спектрометрический анализ восьми сортов пива. Преобладающей группой соединений во всех проанализированных сортах пива были спирты (56,41–72,17 %), затем сложные эфиры (14,58–20,82 %), альдегиды (8,35–20,52 %), терпены и терпеноиды (1,22–6,57 %) и кетоны

(0,42–1,00 %) [32]. Преобладающими высшими спиртами были 2-метилпропан-1-ол, 3-метилбутанол, фенэтиловый спирт, среди альдегидов фурфурол, деканал, нонанал, а среди сложных эфиров этилацетат, фенилэтилацетат и изоамилацетат. Пиво, ферментированное дрожжами высшего брожения *Saccharomyces cerevisiae* var. *diastaticus*, имело самое высокое содержание летучих веществ. Добавление темного солода в процессе варки суслу не повлияло на общее содержание летучих веществ, но для некоторых сортов пива это вызвало изменения в общем содержании сложных эфиров, терпенов и терпеноидов. Различия в общем содержании летучих веществ в пиве, сброженном разными штаммами дрожжей, в основном обусловлены выделяемыми сложными эфирами и спиртами.

Исследователи Калифорнийского университета использовали дрожжи *S. kudriavzevii*, *S. mikatae*, *S. paradoxus*, *S. bayanus* и *S. uvarum* для сбраживания суслу в двух образцах, с помощью одного бродильного аппарата и добавлением 10 г/л сухого хмеля. Аналитические измерения проводились каждый день брожения и сравнивались с контрольными образцами SafAle™ US-05 и SafLager™ W 34/70 [33]. Готовое пиво также подвергали сенсорной оценке. Все сорта пива обладали пряными характеристиками, вероятно, из-за присутствия фенолов; сухое охмеление усиливало фруктовые нотки, а также горечь и терпкость. Все виды дрожжей, включенные в это исследование, продемонстрировали большой потенциал для пивоварения.

Квейк в процессе брожения

Генетические исследования показывают, что квейк – это уникальная и древняя группа дрожжей, отличная от других одомашненных штаммов *S. cerevisiae*. Учитывая возможное дальневосточное происхождение дрожжей квейк, очевидный эндемизм западной Норвегии остается большим парадоксом. Эти находки имеют важные последствия для понимания одомашнивания дрожжей и использования квейк в современной практике пивоварения.

Выбор биологического материала может предложить эффективный метод увеличения концентрации фенольных соединений в пиве и повышения его антиоксидантного потенциала. После первичной и вторичной брожения все сорта пива, ферментированные квейк, имели более высокое или аналогичное содержание фенольных соединений по сравнению с контрольным пивом.

После выдержки в пиве LK, VK2 и FM53 было определено более высокое содержание фенольных соединений по сравнению с контрольным образцом. Дрожжи типа квейк, HVK и FM53, позволили производить пиво с более высокой антиоксидантной активностью, измеренной в анализе DPPH•, по сравнению с контрольным образцом. Самая высокая антиоксидантная способность, измеренная в тесте ABTS•+, была показана для готового пива HVK, тогда как самые высокие значения FRAP были обнаружены для готовых сортов пива FM53 и VK2 [34].

Пиво, сброженное дрожжами типа квейк, имело различные концентрации идентифицированных летучих соединений по сравнению с контрольным образцом. В образцах LK, FM53 и HVK концентрация летучих соединений была ниже, чем в контрольном пиве, тогда как в пиве VK2 содержание этих соединений было аналогичным. Основные летучие соединения, идентифицированные в ходе исследования, включали этилацетат и гексанат в образце HVK; фенэтиловый спирт в образце пива LK; 2-метилбутанол и 3-метилбутанол в образце VK2; 1-пропанол в образце пива FM53; и, наконец, этилок-таноат и деканоат в контрольном образце US-05 [35].

Группа дегустаторов отдала больше предпочтений пиву, сброженному дрожжами квейк, из-за более интенсивного фруктового аромата. Степень горечи также была оценена более высоко по сравнению с пивом, полученным с помощью коммерческого штамма дрожжей. Пиво, получившее лучшую оценку по вкусу и аромату, было ферментировано с использованием HVK [36].

Заключение

Биотехнология пива с использованием квейк-дрожжей позволяет пивоварам создавать уникальные сорта пива с различными характеристиками. Эти дрожжи могут быть использованы как для традиционных стилей пива, так и для современных экспериментальных рецептов. Их высокая активность и способность работать при различных температурах делают их идеальным выбором для крафтового пивоварения.

Биотехнология пива с использованием квейк-дрожжей предоставляет пивоварам новые возможности для творчества и экспериментов, что способствует развитию индустрии крафтового пивоварения и созданию уникальных и интересных сортов пива для любителей крафта.

References

- 1 Adamenko K., Kava-Rigelska J., Kuharska A.Z. Characteristics of non-alcoholic Cornelian cherry sour beer brewed with special yeast *Saccharomycodes ludwigii* // Food chemistry. 2020. V. 312. P. 125968.
- 2 Benucci I., Cecchi T., Lombardelli K., Maresca D. et al. New yeast in microcapsules for primary fermentation of green beer: kinetic properties, volatiles and sensory profile // Food chemistry. 2021. V. 340. P. 127900.
- 3 Bellut K., Arendt E.K. Chance and trial: yeast that does not contain *Saccharomyces* in the preparation of non-alcoholic and low-alcohol beer – Review // J. Am. Soc. Beer. Chemistry. 2019. V. 77. P. 77–91.
- 4 Gallon B., Mertens S., Gordon J.L., Maer S. et al. The origin, evolution, domestication and diversity of *Saccharomyces* brewer's yeast // Curr. Opinion. Biotechnology. 2018. V. 49. P. 148–155.
- 5 Guignas I., Breda S., Barros A.I. Characterization and distinction of commercial varieties of Portuguese beer based on phenolic composition and antioxidant capacity // Products. 2021. V. 10. P. 1144.
- 6 Gasinski A., Kava-Rigelska J., Mikulski D., Klosowski G. et al. The use of white grape pomace in brewing technology and their effect on the concentration of esters and alcohols, physico-chemical parameters and antioxidant properties of beer // Food chemistry. 2022. V. 367. P. 130646.
- 7 Garvey E.K., O'Sullivan M.G., Kerry J.P., Kilcauley K.N. Factors influencing the sensory perception of baked confectionery products with modified recipes // Critical edition of Food Science. Interior. 2020. V. 60. P. 1160–1188.
- 8 Gamero A., Dijkstra A., Smith B., De Jong S. The aromatic potential of various types of non-traditional yeast for winemaking // Fermentation. 2020. V. 6. P. 50.
- 9 Kava-Rigelska J., Adamenko K., Kuharska A.Z., Prophet P. et al. Physico-chemical and antioxidant properties of Cornelian cherry beer // Food chemistry. 2019. V. 281. P. 147–153.
- 10 Cortese M., Gigliobianco M.R., Peregrina D.V., Sagratini G. et al. Quantitative determination of phenolic compounds in various varieties of craft beer, wort, initial and spent ingredients by liquid chromatography-tandem mass spectrometry // J. Chromatogr. A. 2020. V. 1612. P. 460622.
- 11 Krogerus K., Preiss R., Gibson B., Krogerus K. et al. A unique hybrid *Saccharomyces cerevisiae* × *Saccharomyces uvarum* isolated from Norwegian farm beer: characterization and reconstruction // The front. Microbiology. 2018. V. 9. P. 2253.
- 12 Li S., Li K., Ni S., Tian Yu. et al. The use of plasma mutagenesis in drug administration and combination therapy to create yeast habits with reduced formation of acetaldehyde // J. Inst. Beer. 2018. V. 124. P. 236–243.
- 13 Luo S.R., Demarche T.A., Deriancho D., Stelik A. et al. Characteristics of fermentation and sensory profiles of new drinks from acidic yeast fermentation serum // Products. 2021. V. 10. P. 1204.
- 14 Laurent J., Struf N., Bautil A., Bakeeva A. et al. The potential of *Kluyveromyces marxianus* for the production of bread from unleavened dough and sourdough with low FODMAP content: an experimental study // Bioprocess technology of food products. 2021. V. 14. P. 1920–1935.
- 15 Magalhães F., Kalton A., Heine R.–L., Gibson B. Psychrotolerant species of *Saccharomyces* and hybrids derived from them have psychrotolerance when baking frozen dough // Food microbiol. 2021. V. 94. P. 103640.
- 16 Magalhães R.S.S. et al. The trehalose protective mechanism during thermal stress in *Saccharomyces cerevisiae*: the roles of Ath1 and Agt1 // FEMS yeast research. 2018. V. 18. №. 6. P. foy066.
- 17 Mulero-Cerezo J., Briz-Redón Á., Serrano-Aroca Á. *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*: Valuable probiotic starter for craft beer production // Applied Sciences. 2019. V. 9. №. 16. P. 3250.
- 18 Oda Yu., Tanizaki S., Yokoyama-Ohtsuka M., Sakurai H. Interspecific hybrid of *Saccharomyces mikatae* and *Saccharomyces cerevisiae* as an alternative strain for baking bread // J. Microbiol. Biotechnology. Food science. 2020. V. 10. P. 127.
- 19 Struif N., Vandevile H., Herrera-Malaver B., Verspruit J. et al. *Kluyveromyces marxianus* yeast allows the production of whole grain bread with a low FODMAP content // Food Microbiol. 2018. V. 76. P. 135–145.
- 20 Tokpokhozin S.E., Fischer S., Becker T. Selection of new *Saccharomyces* yeast to improve the corresponding components of the aroma of beer from sorghum, higher alcohols and esters // Food microbiology. 2019. V. 83. P. 181–186.
- 21 Tyakht A., Kopeliovich A., Klimenko N., Efimova D. et al. Characteristics of bacterial and yeast microbiomes in beer and cider of spontaneous and mixed fermentation // Food microbiol. 2021. V. 94. P. 103658.
- 22 Huang K.J., Lu M.Y., Chang Y.V., Li V.H. Experimental evolution of yeast for resistance to high temperatures // Mole. Biol. Evol. 2018. V. 35. P. 1823–1839.
- 23 Holt S., Mix M.H., de Carvalho B.T., Fulke-Moreno M.R. et al. Molecular biology of fruit and floral aromas in beer and other alcoholic beverages // Microbiol FEMS. Rev. 2019. V. 43. P. 193–222.
- 24 Khreptovich K., Sternitskaya M.K., Kovalska P.D., Mezheevskaya J. Screening of yeast for the production of 2-phenylethanol (with rose flavor) in organic waste media // Lett. Application. Microbiol. 2018. V. 66. P. 153–160.
- 25 Preiss R., Tyrava K. Traditional Norwegian quakes are a genetically distinct group of domesticated brewing yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Available at: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.02137/full?fbclid=IwAR2x_pS6u95ZtcwcJtalepf7N0KleBYaifJ0OdTgigDRITQUUlzEMafQI
- 26 Kawa-Rygielska J., Adamenko K., Pietrzak W., Paszkot J. et al. Characteristics of new england india pale ale beer produced with the use of Norwegian kveik yeast // Molecules. 2022. V. 27. №. 7. P. 2291.
- 27 Foster B., Tirava S., Ozsakhin E., Lubberts M., Krogerus K., Press R., van der Merwe G. Yeast brewing quakes that cause an increased level of elasticity at an acceptable fermentation temperature of beer and a linkshone accumulation of trivalose // Anterior microbiol. 2022. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2022.747546/full>
- 28 Aazen N.M. Growth, metabolism and brewing beer with kveik. URL: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2681970>
- 29 Habshid K. Pseudo-sweet beer – brewing using Lutra® yeast kveik. URL: <https://www.mdpi.com/2311-5637/8/4/410>
- 30 Kava-Rygelska J., Adamenko K., Pietrzak J., Passat J., Glowacki A., Gasinski A., Leszczynski P. The potential of traditional Norwegian yeast квеік for the preparation of new beer on the example of a foreign extra stout // Biomolecules. 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/12/1778>

31 Foster B., Tyrawa C., Ozsahin E., Lubberts M. Traditional Norwegian yeast kveik for the preparation of a new beer on the example of a foreign extra stout // *Biomolecules*. 2021. doi: 10.1101/2021.07.26.453768

32 Kits D., Garshol L.M. Norwegian kveik brewing yeast are adapted to higher temperatures and give less unpleasant aftertaste under thermal stress than commercial *Saccharomyces cerevisiae* American brewer's yeast // *Biorxiv*. 2021. doi: 10.1101/2021.06.15.448505

33 Dondrup M., Eiken H.G., Martinussen A.O., Haugland L.K. Traditional Norwegian yeast kveik: an ancient sister group in relation to domesticated *Saccharomyces cerevisiae* // *Biorxiv*. 2023. doi: 10.1101/2023.07.03.547515

34 Isbell T. Assessment of stress resistance and fermentation efficiency of traditional Norwegian yeast Landras (kveik). URL: <http://eprints.nottingham.ac.uk/72087/>

35 Shayevitz A., Van Zandycke S., Brewing L. Kveik yeast – the process of selection and effectiveness of the Voss strain. URL: <https://asiabrewersnetwork.com/technical/квейк-yeast-the-voss-strain-selection-process-performance>

36 Paszkot J., Gasiński A., Kawa-Rygielska J. Evaluation of volatile compound profiles and sensory properties of dark and pale beers fermented by different strains of brewing yeast // *Scientific Reports*. 2023. V. 13. №. 1. P. 6725. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-33246-4>

Сведения об авторах

Янис Р. Арустамов аспирант, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aru.yanis@yandex.ru

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Александр С. Муравьев к.т.н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hnrtrun@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yanis R. Arustamov graduate student, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aru.yanis@yandex.ru

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Aleksandr S. Muravev Cand. Sci. (Engin.), engineer, metrology and standardization department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hnrtrun@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5989-0752>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2024	После редакции 14/02/2024	Принята в печать 01/03/2024
Received 18/01/2024	Accepted in revised 14/02/2024	Accepted 01/03/2024