

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 663.4

КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ КРАФТОВОГО ПИВА**Бурак Л.Ч.***ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Крафтовое пиво постепенно завоевывает предпочтения потребителей, создавая достойную конкуренцию промышленным предприятиям пивоваренной отрасли. Определение «крафтовая пивоварня» используют по отношению к мини-пивоварне, объемы производства пива которой незначительны. В процессе производства крафтового пива применяется классическая технология и используется традиционное сырье. Вместе с тем в качестве отличительных особенностей крафтовых сортов в ходе технологического процесса производства дополнительно используют травы, пряно-ароматическое сырье, фрукты, соки, экстракты и натуральные ароматические вещества. Разработка новых рецептур сортов пива оправдана, так как вносимое пряно-ароматическое и фруктовое сырье является источником биологически активных соединений, способствующих увеличению антиоксидантной активности крафтового пива. Кроме того, крафтовое пиво редко подвергается фильтрации и пастеризации, что исключает потерю, поэтому данный напиток содержит в своем составе много полезных микроэлементов и биологически активных веществ. Отсутствие фильтрации и пастеризации в крафтовом пивоварении требует строгого соблюдения санитарно-гигиенических норм, с целью обеспечения качества и безопасности готового продукта. Попадание в процессе производства крафтового пива физических, химических или микробиологических источников загрязнения представляет большую проблему для качества готового продукта и потенциальную опасность для здоровья потребителя. Источниками загрязнения являются сырье, а также несоблюдение требований технологического процесса и санитарных норм и правил. Данный научный обзор посвящен анализу потенциальных источников загрязнения крафтового пива и необходимым мерам по обеспечению качества и безопасности готовой продукции.

Ключевые слова: пиво, крафтовое пиво, загрязнение, микробиологическая порча, безопасность, микотоксины, сусло, хмель

QUALITY AND SAFETY OF CRAFT BEER**Burak L.Ch.***LLC Belrosakva, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Craft beer is gradually gaining consumer preferences, creating worthy competition for industrial enterprises in the brewing industry. The term "craft brewery" is used in relation to a mini-brewery, whose beer production volumes are insignificant. The craft beer production process uses classical technology and traditional raw materials. At the same time, herbs, spicy-aromatic raw materials, fruits, juices, extracts and natural aromatic substances are additionally used as distinctive features of craft varieties in the course of the production process. The development of new recipes for beer varieties is justified, since the introduced spicy aromatic and fruit raw materials are a source of biologically active compounds that increase the antioxidant activity of craft beer. In addition, craft beer is rarely filtered and pasteurized, which eliminates loss; therefore, this drink contains many useful microelements and biologically active substances. The absence of a filtration and pasteurization process in craft brewing requires strict adherence to sanitary and hygienic standards in order to ensure the quality and safety of the finished product. The introduction of physical, chemical or microbiological sources of contamination during the production of craft beer is a big problem for the quality of the finished product and a potential hazard to the health of the consumer. Sources of pollution are raw materials, as well as non-compliance with the requirements of the technological process and sanitary norms and rules. This scientific review is devoted to the analysis of potential sources of contamination of craft beer and the necessary measures to ensure the quality and safety of the finished product.

Keywords: beer, craft beer, contamination, microbiological spoilage, safety, mycotoxins, wort, hops

Проведенный научный поиск и анализ научных публикаций показывает, что за последнее десятилетие интерес ученых во всем мире к крафтовому пиву существенно вырос. В соответствии с основной базой данных научных статей и цитирований Scopus, с 2010 г. по 2021 г. опубликовано 372 статьи, где идет речь о крафтовом пиве, наибольшее количество их опубликовано в 2017 г. Как правило, крафтовое пиво производят небольшие пивоварни, которые используют традиционные, классические методы производства пива, исключая пастеризацию в конце процесса, отдавая предпочтение качеству, а не количеству. Как правило, такими пивоварнями руководит мастер-

пивовар, который старается производить уникальный по вкусу и качеству сорт пива. Фактически в настоящее время стало модным производить пиво на небольших независимых крафтовых пивоварнях, где ищут особое пиво (безглютеновое, функциональное или пробиотическое пиво и т.д.), зная, что потребители теперь отдают предпочтение полезным для здоровья и приятным на вкус продуктам и напиткам.

Органолептические показатели качества пива определяются некоторыми общими параметрами, такими как pH, горечь, содержание спирта и цвет, но в настоящее время не менее важно учитывать и некоторые другие характеристики, такие как антиок-

сидантная способность, содержание фолиевой кислоты или полифенолов, из-за пользы для здоровья, которую помогают обеспечить биологически активные соединения.

Единого определения, что такое крафтовое пиво, нет, но существует несколько юридических определений, установленных национальным законодательством конкретной страны, также применяются определения, которые используют в своей работе различные региональные или национальные торговые организации, такие как Ассоциация пивоваров, Общество независимых пивоваров Великобритании, Ассоциация немецких пивоваров, Австралийская независимая ассоциация пивоваров и другие [1]. Первые крафтовые пивоварни в России начали открываться в 2011–2012 г., но все было ограничено и точно, а расцвет пришелся на 2015 г. Именно тогда о крафте стали говорить, обсуждать, да и вообще этот термин появился в обиходе. В Республике Беларусь крафт развивается в рамках небольших пивоварен, но активнее всего в формате так называемого «промышленного крафта», когда линейки особенного специального пива выпускают крупнейшие пивоваренные предприятия страны. Первооткрывателем промышленного крафтового пива является ОАО «Лидское пиво», которое в 2014 г. открыло в Беларуси продажи первого промышленного крафта, «Вечер в Брюгге», который до сих пор производится и реализуется потребителям. За семь лет рынок крафтового пива в республике значительно изменился, появились другие производители, практически все крупные пивоваренные предприятия вошли в сегмент крафтового пива. Насчитывается более ста сортов, и ценовой диапазон приемлем практически для любого уровня дохода потребителей. Все это значительно увеличивает конкурентную борьбу за конечного покупателя. Несмотря на впечатляющий прогресс с точки зрения ассортимента, представленности и доступности, крафт по-прежнему занимает незначительную нишу пивного рынка Республики Беларусь. В других странах в последние годы, когда крафтовые пивоварни завоевали большую долю рынка, крупные пивоваренные компании отреагировали по-разному. Некоторые компании приобрели себе производителей крафтового пива, пополнив свой ассортимент сортами крафтового пива, с целью влияния на бары и других розничных покупателей [1]. Инновации в крафтовом пиве в основном касаются таких аспектов, как сырьевые ингредиенты, содержание алкоголя, выдержка, изотоничность и упаковка, чтобы привлечь интерес широкого круга потребителей.

Что касается производства промышленного пива, то основными ингредиентами крафтового пива являются вода, ячменный или пшеничный солод, хмель и дрожжи. Относительно ингредиентов и с учетом баварского закона о чистоте и других конкретных национальных законодательств, инновации проявляются в использовании новых смесей зерновых культур, совершенствовании существующего зернового солода, новых сортов хмеля, новых дрожжевых культур, фруктов, овощей и других экстрактов и ароматических веществ с целью улучшения/изменения органолептических показателей продукта, персонализировать пивной стиль или предложить новый стиль [2]. Что касается разработки дрожжей для крафтового пивоварения, набирающие популярность тенденции крафтового пива включают: исследование новых эффективных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*; создание синтетических гибридов *S. cerevisiae* – *Saccharomyces non cerevisiae*, с действием, аналогичным действию лагерных дрожжей; и применение одних диких или отобранных дрожжей, не являющихся *Saccharomyces*, или в кокультуре, или последовательной ферментации с *S. cerevisiae* для пивоварения кислого крафтового пива [3]. Чтобы расширить количество штаммов, используемых в производстве крафтового пива, интересы нескольких лабораторий и пивоваренных заводов были сосредоточены на диких дрожжах для характеристики их способности к брожению пива и выбора штаммов с желательными пивоваренными характеристиками. В свете этого гетеролактическая ферментация сахаров наблюдалась у штаммов *Schizosaccharomyces japonicus*, *Hanseniaspora Vineae*, *Lachancea fermentati* и *L. thermotolerans*, а также *Wickerhamomyces anomalus*, что делает возможным их использование в новой обработке кислого пива, известной как «первичное сквашивание». Таким образом можно избежать использования молочно-кислых бактерий, которые вместо этого необходимы в традиционном процессе кислого пива [4].

Классический процесс крафтового пивоварения включает в себя следующие операции: сололожение (проращивание злаков, таких как ячмень и/или пшеница); затирание (активация солодовых α - и β -амилаз и протеазы для расщепления крахмала и белков солода и несоложенных злаков на сахара, пептиды и аминокислоты); фильтрация (затор, рециркуляция и барботирование) для отделения жидкого суслу от твердых остатков; сепарирование (отделение нерастворимых компонентов); и стадии фер-

ментации, которые включают первичную ферментацию, выдержку, или вторичную ферментацию, и повторную ферментацию, которая происходит в бутылочном пиве. В отличие от промышленного пива, многие крафтовые сорта пива нефильтрованные и непастеризованные, чтобы сохранить аромат, исходящий от используемых ингредиентов и стадии ферментации. Тем не менее технологии, такие как высокое гидростатическое давление (ННР) и гомогенизация сверхвысокого давления (УНРН), могут применяться для снижения микробной нагрузки пива при очень низком нагреве. Фактически, обработка ННР позволяет повысить температуру пива всего на 2–3°C / 100 МПа из-за адиабатического тепла сжатия, тогда как при обработке УНРН температура может достигать 100°C, хотя и на очень короткое время (0,2 с). Импульсный свет – еще одна многообещающая холодная технология, способная снизить количество пищевых микроорганизмов, на основе его способности излучать световую вспышку широкого спектра (от 200 до 1100 нм) с примерно 25% в УФ-диапазоне [1, 5].

Одна из самых заметных тенденций – выдержка крафтового пива в бочках. В процессе выдержки в течение периода от 6 месяцев до 3 лет дубильные вещества, которые содержатся в древесине бочек, передают пиву ароматические соединения, фенольные вещества, а также микроорганизмы, которые влияют на их конечные органолептические свойства. Компоненты, связанные с дубом, включают: ванилин, придающий типичный ванильный аромат; синапальдегид; сиреневый альдегид, который окисляется до сиринговой кислоты и вызывает вяжущее ощущение во рту; и фурановые альдегиды, такие как 5-гидроксиметилфурфурол и фурфурол, которые придают пиву жареный вкус. Микроорганизмы, такие как *Pediococcus* spp., *Lactobacillus* spp. и *Acetobacter* spp., были обнаружены в пиве бочковой выдержки [6]. Так же как и все сорта пива, крафтовое не застраховано от воздействия внутренних и внешних загрязнителей.

Химическое загрязнение может произойти в результате выращивания зерна, обработки и упаковки. Например, заражение сельскохозяйственных культур микотоксинами (ниваленол (NIV), дезоксиниваленол (DON), зеараленон (ZEA), дезоксиниваленол-3-глюкозид (DON-3-Glc), фузаренон-X (FUS-X), 3-ацетил-дезоксиниваленол (3-ADON), 15-ацетил-дезоксиниваленол (15-ADON), токсин HT-2 (HT-2) и токсин T-2 (T-2)) оцениваются между 60 и 80% (45% более 40 лет назад) [7].

Осведомленность о возможном присутствии различных видов загрязняющих веществ в пищевых продуктах, в данном случае в пиве, может помочь применить различные стратегии для усиления контроля и уменьшения вредного воздействия. В данном обзоре мы хотим выделить наиболее распространенные загрязнители пива, а также те, которые чаще встречаются и оказывают значительное влияние на переработку продукта и здоровье человека.

Поскольку присутствует этанол (0,5–10% мас./мас.), а также хмелевые горькие соединения (приблизительно 17–55 частей на миллион изо- α -кислот), низкий уровень pH (3,8–4,7) и высокое содержание углекислого газа (приблизительно 0,5% мас./об.), пиво является микробиологически стабильным напитком [8].

Каждый тип пива отличается своими специфическими свойствами, такими как цвет, содержание алкоголя, прозрачность, вкус, горечь, ингредиенты и даже микробное разнообразие. Крафтовое пиво реализуется в основном через сеть баров и ресторанов, поэтому существует потенциальная возможность загрязнения, поэтому вопрос качества и безопасности весьма актуален.

1. Безопасность пива

Несмотря на то, что пиво не является оптимальной средой для роста микроорганизмов, некоторые виды могут размножаться в пиве, изменяя его свойства, вызывая порчу и неприятный привкус [9]. Крафтовое пиво более подвержено порче, чем пиво, приготовленное на крупных промышленных предприятиях, вероятно потому, что оно реже подвергается пастеризации или стерильной фильтрации.

Порча пива наносит пивоварне экономический ущерб и, что самое главное, утрату доверия потребителей. Бактерии, вызывающие порчу пива, входят в состав грамположительных молочнокислых бактерий и грамотрицательных уксуснокислых бактерий [10–11]. Другие микроорганизмы, которые могут вызывать порчу пива, недостаточно изучались, их необходимо изучить. Порча и загрязнение пива в редких случаях были вызваны бактериями, принадлежащими к родам *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Enterobacter* и *Zygomonas*, которые изменяли pH конечного продукта, создавая осадок, тягучесть, помутнение и неприятный привкус. Одним из наиболее важных факторов роста клеток в пиве является температура. При снижении температуры с 35 до 4°C порча пива значительно уменьшилась, а это означает, что низкая температура играет

существенную роль в защите пива от порчи, например, *Staphylococcus xylosus*. Качество пива может ухудшиться из-за микотоксинов, образующихся при грибковом заражении пивоваренного ячменя. Нормы максимально допустимого уровня дезоксиниваленола, например, различаются от страны к стране и могут варьироваться от 0,75 до 1,17 мкг/г ячменя [12, 13]. В процессе соложения используются физические, химические и биологические обработки для уменьшения грибкового заражения. Одним из способов уменьшения грибкового заражения является использование микроорганизмов в качестве противогрибкового лечения, что эффективно, поскольку они проявляют чувствительность к окружающей среде и устойчивость. Однако на их эффективность могут влиять микробные взаимодействия или различные побочные эффекты. В исследовании описывается более эффективный биофунгицид, используемый в процессе соложения, с использованием обратной транскрипции – полимеразной цепной реакции (RT-PCR) для количественной оценки противогрибкового потенциала оомицетов *Pythium oligandrum* на ячмене, естественно или искусственно зараженном тремя видами *Fusarium* [14].

Биогенные амины представляют значительную группу химических загрязнителей пива. Группой ученых было проанализировано 118 образцов крафтового пива, произведенного на микропивоварнях Центральной Европы. Результаты показали, что более 30% проб имели общее содержание биогенных аминов в пределах 50–100 мг/л. Наиболее часто выявляемыми биогенными аминами были тирамин, путресцин и кадаверин. Однако в 18% образцов крафтового пива общее количество биогенных аминов превышало 100 мг/л [15].

Технология пива включает в себя операции, позволяющие повысить или понизить исходный уровень микотоксинов. Установлено, что затирание может снизить уровень микотоксинов – охратоксина А (ОТА), афлатоксина В₂ (AFB₂), фумонизина В₂ (FMB₂), афлатоксина G₁ (AFG₁), афлатоксина В₁ (AFB₁), зеараленона (ZON) и патулина. ПАТ) – на 50% от их исходного уровня [16]. Другие исследования показали, что ферментация может полностью удалить некоторые микотоксины (например, ZON и патулин [17, 18]. Выведение микотоксинов из пива в основном зависит от их перехода в пивную дробину. Наиболее важные процессы производства пива положительно влияют на снижение уровня микотоксинов: замачивание, сушка, затирание, ферментация и осветление [16]. В целом концентрации био-

генных аминов до 100 мг/кг или 100 мг/л считаются безопасными для потребителя.

2. Микробиологическая безопасность пива

В условиях крафтовой пивоварни часто бывает сложнее добиться строгого соблюдения санитарно-гигиенических норм в процессе приготовления пива. Обычное и в основном нетрадиционное сырье, такое как фрукты, травы, мед, специи и овощи, добавленные после кипячения суслу, увеличивают риск микробной порчи пива из-за их собственной микробной обсемененности [17]. Общее предположение состоит в том, что выживаемость патогенных микроорганизмов в пиве низка из-за различных ингибирующих факторов, таких как этанол (0,5–10% (мас./мас.)), хмелево-горькие соединения, низкий pH (3,8–4,7), углекислый газ, низкое содержание кислорода и отсутствие питательных субстратов [19], факторы, производные от технологического потока производства пива. Тем не менее текущая тенденция в производстве пива (снижение содержания этанола и горечи) может представлять потенциальный риск порчи пива. Есть несколько исключений грамположительных бактерий, таких как *Lactobacillus* и *Pediococcus*, которые могут расти в пиве [19]. Для молочнокислых бактерий устойчивость к хмелю имеет решающее значение для их способности выживать и размножаться в пиве. Соединения хмеля, в основном изо- α -кислоты в пиве, обладают антибактериальной активностью в отношении грамположительных бактерий [17].

Микробиологическое загрязнение имеет различные источники. Первичные загрязнители образуются из сырья и пивоваренного оборудования, а вторичные загрязнители попадают в готовый продукт во время розлива в бокалы или розлива в кеги. Приблизительно 50% установленных микробиологических загрязнений можно отнести к вторичным загрязнениям, но первичное загрязнение более вредно, поскольку может поставить под угрозу весь процесс приготовления напитка [20]. Загрязнение пива через пивоваренное оборудование вызвано неправильными способами и методами очистки и дезинфекции.

2.1. Молочнокислые бактерии и другие ферментативные бактерии и порча пива

Пиво имеет низкий pH (3,8–4,7) и благодаря дрожжевому брожению имеет селективную питательную концентрацию, недостаточную для развития многих бактерий [16], но, несмотря на это, небольшое количество микроорганизмов способно ис-

портить пиво. Бактерии, портящие пиво, представляют собой серьезную проблему для пивоваренного бизнеса во всем мире, поскольку случаи порчи могут нанести ущерб ценности бренда и привести к дорогостоящим затратам [21].

Различные неприятные органолептические изменения являются частыми индикаторами микробной инфекции. Штамм *Staphylococcus xylosum* был обнаружен в произведенном мутном крафтовом пиве с неприятным привкусом, которое пивоварни продают на местном рынке. *S. xylosum* – микроб, обитающий на коже людей и животных, а также распространенная бактерия, встречающаяся в пищевых продуктах и сырье [22]. Этот штамм хорошо рос в присутствии хмелевых экстрактов и имел высокий потенциал испортить пиво.

Кислый вкус пива часто связан с уксуснокислыми и молочнокислыми бактериями. Две молочнокислые бактерии, которые, как считается, наиболее широко распространены в пиве, – *Pediococcus damnosus* и *Lactobacillus brevis*. Сильный маслянистый и диацилиловый привкус обычно является признаком заражения *P. Damnosus*. Менее частые загрязнения вызываются *Lactobacillus brevis*, *L. lindneri*. Молочнокислые бактерии (МКБ) являются наиболее распространенными бактериями, вызывающими порчу пива. Было установлено, что на долю МКБ приходится 60–90% опасностей микробиологических загрязнений на пивоваренных заводах. Типичная деградация пива МКБ приводит к помутнению, кислотности, газообразованию и постороннему привкусу из-за образования побочных метаболитов. *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus lindneri* и *Pediococcus Damnosus* являются наиболее часто выделяемыми МКБ, вызывающими порчу пива [19].

2.2. Дрожжи и порча пива

Дрожжи – это хемоорганотрофные микроорганизмы, которые получают углерод и энергию за счет переваривания органических веществ. До процесса кипячения процессы в технологии пива представляют наименьший риск заражения дрожжами, поскольку дрожжи не термоустойчивы и не могут выдержать даже малейшего отклонения процесса кипячения.

Наиболее частыми признаками того, что пиво испорчено дрожжами, являются образование поверхностной пленки, посторонний привкус и мутность из-за способности диких дрожжей не образовывать хлопьев [23]. В связи с растущей популярностью крафтового пива и нетрадиционных продуктов в пивоваренной промышлен-

ности все большее значение приобретают дикие дрожжи. Безалкогольное и слабоалкогольное ароматизированное пиво микробиологически неустойчиво из-за высокого содержания сахара, что может увеличить количество испорченных видов диких дрожжей [24].

По экономическим причинам повторное использование дрожжей является обычной практикой при производстве крафтового пива. Считается, что высокая жизнеспособность дрожжей, которая измеряет здоровье дрожжей, улучшает ферментацию и качество продукта. Здоровье дрожжей связано с эффективностью и предсказуемостью брожения, а также с ароматом и вкусом конечного пива. Таким образом, жизнеспособность дрожжей может напрямую влиять на производительность и финансовую эффективность пивоварни [25]. Правильный сбор, хранение и засев дрожжей необходимы для эффективного брожения. Во избежание микробиологического загрязнения во время этих процессов следует принимать меры предосторожности. Кроме того, чтобы предотвратить потерю качества дрожжей, повторное использование дрожжей целесообразно проводить не более десяти, а лучше пять или шесть [26]. Дрожжи в лучшем состоянии производят больше сульфитов и меньше сивушных спиртов, чем старые или инфицированные дрожжи [27]. Длительное повторное засеивание дрожжей может привести к деградации из-за вызванных стрессом физиологических изменений, генетических изменений исходной культуры и перекрестного загрязнения другими культурами или дикими микроорганизмами [28]. Частота внесения дрожжей также влияет на вкус пива. Более высокие скорости засева ускоряют ферментацию, но в конечном итоге ухудшают здоровье дрожжей.

Микробное заражение, основными представителями которого являются *Staphylococcus*, *Leuconostoc pseudomesenteroides* и *Acetobacter* sp., также происходит в помещении розлива [10].

Высокое содержание дрожжей в упакованном пиве или длительный контакт с дрожжами после брожения могут придать дрожжевой привкус, который по мере разложения дрожжей может перерасти в мармитовый или мясной привкус. Если используется бочковое или бутылочное кондиционирование, количество дрожжей должно быть в пределах 0,52 млн кл./мл после завершения первичного брожения и диацилилового остатка. Затем пиво следует отделить от дрожжей [29].

Сообщается, что производство вкусовых соединений (сложных эфиров и фе-

нольных соединений) улучшает вкус пива при использовании смешанных культур *Pichia kluyveri* и *Brettanomyces*, *Torulasporea delbrueckii* и *Saccharomyces cerevisiae*, *Naumovozyma dairenensis* и *Saccharomyces cerevisiae* [30]. С другой стороны, перепроизводство сложных эфиров может придать пиву горьковатый, чрезмерно фруктовый вкус. Пивовару необходимо поддерживать соответствующие условия для создания сбалансированного органолептического профиля пива [31]. Среди наиболее часто используемых методов, предназначенных для выявления микробиологической порчи пива, – чашечный подсчет, полимеразная цепная реакция и проточная цитометрия [24].

3. Химическая безопасность пива

3.1. Микотоксины

Плесневые грибы, такие как *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium*, производят токсичные вторичные метаболиты, называемые микотоксинами. Почти каждый микотоксин является иммунодепрессантом и может быть классифицирован как гепатотоксин, нейротоксин, нефротоксин или канцероген, оказывающий острое и/или хроническое воздействие на здоровье человека и животных [32]. Сообщалось о микотоксинах в различных видах пищевых продуктов, но наиболее важным источником этих метаболитов являются потребляемые во всем мире продукты, такие как злаки (пшеница, ячмень, кукуруза или рис) [32]. В настоящее время потребители выбирают высококачественное пиво с особенными, уникальными органолептическими свойствами от небольших и местных пивоварен. Наличие микотоксинов было установлено в некоторых сортах крафтового пива [33].

Грибковое заражение зерен ячменя и солода, особенно видами *Fusarium*, может быстро поставить под угрозу безопасность и качество солода и пива. Загрязнение пива грибами связано с явлением «выплескивания», которое вызывает чрезмерное пенообразование пива, приводящее к переливу. Другими негативными последствиями загрязнения ячменя являются снижение продуктивности производства солода, полноты ядра и прорастания [34].

Наиболее распространенными микотоксинами, обнаруженными в различных образцах ячменя и солода, являются: ниваленол (NIV), дезоксиниваленол (DON), зеараленон (ZEA), дезоксиниваленол-3-глюкозид (DON3G), фузаренон-X (FUS-X), 3-ацетилдезоксиниваленол (3ADON), 15-ацетилдезоксиниваленол (15ADON), токсин HT-2 (HT-2) и токсин T-2 (T-2) [32]. Одним

из наиболее часто встречающихся микотоксинов в ячмене является ДОН, в основном продуцируемый *Fusarium graminearum* [33].

В 2015 г. авторы Piacentini et al. проанализировали два соответствующих микотоксина (DON и FB₁) методом ВЭЖХ из 53 различных сортов бразильского крафтового пива (эль и лагер). На физико-химические свойства пива это никак не повлияло. Таким образом, pH, кислотность и настоящий экстракт соответствовали бразильским нормам, а это означает, что уровень микотоксинов не влияет на качество пива. Для темного пива были получены следующие результаты: pH (4,55 ± 0,27), кислотность (0,26 ± 0,06) и действительный экстракт (5,40 ± 1,48). Аналогичные результаты были получены для светлого пива: pH (4,74 ± 0,21), кислотность (0,24 ± 0,07) и экстракт (5,17 ± 1,59). Из положительных образцов среднее значение 221 мкг/л (32% от всех образцов) было зарегистрировано для ДОН и 105 мкг/л (15,09% от всех образцов) для FB₁.

Тот же автор провел еще одно исследование в 2017 г. на 114 бразильских лагерах. Из этих образцов около 50% имеют положительную реакцию на FB₁ в диапазоне от 201,70 до 1568,62 мкг/л. Что касается ДОН, ни в одном из образцов эти микотоксины не были обнаружены.

Группа ученых, Peters et al., проанализировала выборку из 1000 сортов пива (60% крафтового пива) из 47 стран на наличие различных микотоксинов: афлатоксина В₁, охратоксина А (ОТА), фумонизинов (FBs). Это исследование выявило больше микотоксинов в крафтовом пиве, чем в промышленном [35]. Что касается типа брожения, то в том же исследовании 2019 г. было замечено, что эль имеет более высокий уровень загрязнения (42%) по сравнению с лагером (29%), что может быть связано с адсорбцией токсина клетками дрожжей во время ферментации [35, 31].

Другое исследование было проведено на 83 образцах итальянского пива (крафтового и промышленного) с использованием ВЭЖХ-ФЛД для обнаружения ОТА, ГХ-МС для ДОН и ЖХ-МС/МС для стеригматоцистина (СТХ). Сообщалось о низких концентрациях упомянутых микотоксинов как в крафтовом, так и в промышленном пиве, и обнаруженные значения не оказывают влияния на здоровье потребителя [36].

Точно так же исследование, проведенное Mastanjević et al., 2018, показало, что *Fusarium culmorum* не оказывает негативного влияния на процесс пивоварения, поскольку дрожжи являются ферментативными микроорганизмами и могут адсорби-

ровать микотоксины на компонентах своей клеточной стенки [37]. Концентрация триптофол в три раза выше в образцах пива, инфицированных *Fusarium culmorum*. Триптофол является востребованным соединением в ферментационной промышленности, поскольку он улучшает вкус и аромат ферментированных продуктов и напитков [36].

Все исследования показали, что очень высокого уровня загрязнения микотоксинами не было. DON, ZEA, FBs, HT-2 и T-2, по-видимому, являются наиболее изученными микотоксинами в ячмене и пиве. Замачивание, сушка, затирание, ферментация могут оказывать ингибирующее действие на уровни микотоксинов, поскольку они могут быть удалены, разбавлены или разрушены после термической обработки. Однако удалить DON в технологическом процессе затруднительно, так как это соединение химически стабильно и термостойко. С другой стороны, ЗЕН удаляется примерно на 60% с пивной дробинкой [37].

3.2. Тяжелые металлы

Как природные, так и антропогенные факторы вносят тяжелые металлы в окружающую среду. Тяжелые металлы, в отличие от органических загрязнителей, не растворяются и постоянно находятся в окружающей среде. Кроме того, более широкое использование химических удобрений и пестицидов может повысить концентрацию тяжелых металлов в почве и растениях. Из-за возможных опасностей накопление тяжелых металлов в почве и растениях стало серьезной проблемой для здоровья людей [38].

Ионы металлов, таких как Cu, Mn и Zn, необходимы для физиологических функций, а некоторым ферментам требуются ионы металлов для каталитической активности [38, 39]. Другие металлы, такие как Al, Cd, Hg и Pb, опасны даже в малых количествах и не нужны для биологических процессов в организме.

Тяжелые металлы могут быть обнаружены в пиве из-за сельскохозяйственных гербицидов, фунгицидов и бактерицидов, содержащих эти вредные металлы [40]. Отбраковка конкретных загрязненных партий является основным действием, направленным на снижение или устранение этой опасности [41].

Пивовары и потребители особенно заинтересованы в определении общего состава металлов в пиве, включая основные, второстепенные и микроэлементы [40].

Еще одним источником тяжелых металлов в крафтовом пиве является загрязнение пивоваренного оборудования, такого как трубопроводы, резервуары, контейнеры

и оборудование для фильтрации, используемое для обработки пива, включая ферментацию, кондиционирование, фильтрацию, карбонизацию и упаковку. Загрязнение пива также может происходить из тары, в которой хранится и доставляется готовый продукт (бочки и кеги).

Согласно исследованию Eticha and Hymete средние концентрации металлов в пиве местного производства в Эфиопии были следующими: 0,0014 мг/л для Cd, 0,0368 мг/л для Cu, 0,0954 мг/л для Mn, 0,006 мг/л для Pb. и 1,5206 мг/л для Zn. Однако оценка риска средних уровней не выявила риска для здоровья, связанного с этими тяжелыми металлами при употреблении в пиве [42].

3.3. Биогенные амины

Количество биогенных аминов (БА) в пиве определяется наличием активности декарбоксилазы аминокислот у многих микроорганизмов, участвующих в брожении. Основным источником биогенных аминов в пиве является метаболизм молочнокислых бактерий [9]. Наиболее вредным для здоровья человека БА является гистамин из-за его потенциального аллергического или иммунного ответа у чувствительных лиц. Источником БА в пиве чаще всего является сырье (солод) и загрязняющая микрофлора, особенно при производстве крафтового пива.

4. Оценка рисков и система НАССР (анализ рисков и критические контрольные точки) в производстве крафтового пива

На нескольких этапах производственного процесса биологические, химические и физические загрязнители могут оказывать негативное влияние на качество пива. Программа НАССР представляет собой превентивный методический подход к безопасности пива, который устраняет риск путем предотвращения. Применяя подход НАССР, операторы могут снизить эту вероятность.

Большинство стран во всем мире в настоящее время применяют НАССР, поскольку его значение и признание постоянно растут. Директивы Совета 91/43/93 и 92/5/92, в частности, ввели принятие НАССР на всей территории ЕС. В Республике Беларусь практически все предприятия пивоваренной отрасли внедрили систему НАССР, в том числе и мини-пивоварни, выпускающие крафтовые сорта пива. Наблюдаемая тенденция в последние годы – процесс интеграции НАССР и ISO 9001 или ISO 9002 в контексте всеобщего управления качеством [43].

Перед внедрением системы качества крафтовые пивоварни должны приложить усилия для создания плана НАССР, который обычно делится на пять этапов [44]: а) определение ресурсов НАССР и создание группы; б) описать сырье, готовые сорта пива и механизм их реализации; в) четко обозначить предполагаемое использование и потребителей; г) создать схему технологического процесса и д) подтвердить точность этой схемы при фактическом использовании (эксплуатации).

Перечисленные ниже семь принципов НАССР служат основой для написания НАССР

1. Проведите анализ рисков.
2. Используйте дерево решений НАССР, чтобы найти критические контрольные точки (ККТ).
3. Назначьте критические пределы (КП) для каждой ККТ.
4. Создайте программу мониторинга.
5. Создайте корректирующие меры.
6. Создайте систему ведения записей.
7. Создавайте протоколы проверки.

Заключение

Рынок крафтового пива развивается во многих странах и Республике Беларусь в том числе, подтверждением является проведенный анализ научных публикаций. Крафтовые пивоварни ищут инновационные решения для получения продукции более высокого качества, отвечающей требованиям потребителей. Процессы пивоварения, такие как затирание, кипячение, ферментация, созревание и хранение, могут повлиять на ценные соединения, особенно на содержание фенолов. Следовательно, будущие исследования должны определить новые методы защиты уровня биологически активных соединений в специальном крафтовом пиве и повышения биодоступности, а также оптимизации органолептических и технологических показателей. Вопросы безопасности пива посвящены несколько научных исследований, которые сосредоточены в основном на возможных рисках для здоровья, связанных с ростом микробов и/или биосинтезом, присутствием токсичных химических соединений. На самом деле разнообразие микроорганизмов, способных размножаться в готовом пиве, ограничено из-за низкого содержания питательных веществ, низкого pH и присутствия алькоголя и хмеля. Более того, большинство этих микроорганизмов не влияют на безопасность продукции, а оказывают влияние на качество, придавая посторонние привкусы или мутность. Что касается конкретно крафтового пива, следует отметить, уче-

ные исследовали наличие и концентрацию потенциально токсичных карбонильных соединений и производных фурана на различных этапах крафтового пивоварения. Ацетальдегид, акролеин, формальдегид и фурфуроловый спирт были обнаружены на всех этапах производства эля и лагерного крафтового пива, в то время как концентрации этилкарбамаата и фурфуrolа были ниже пределов обнаружения. Было обнаружено, что в процессе кипячения происходит увеличение содержания фурфуролового спирта, в то время как пастеризация и созревание снижают уровни этого соединения в обоих типах пива. В крафтовом пиве на основе эля образование ацетальдегида происходит на стадии ферментации, поскольку он является промежуточным звеном при образовании этанола из глюкозы. Что касается присутствия в крафтовом пиве биогенных аминов, путресцина, тирамина и гистамина, то они были также обнаружены, хотя в концентрациях ниже токсичных. Обнаружена отрицательная корреляция между pH и присутствием некоторых биогенных аминов. Что касается присутствия некоторых токсичных тяжелых металлов при производстве крафтового пива, то вода, солод, хмель и дрожжи обычно содержат очень низкие концентрации (мкг/л) Cr, Zn и Cu. Эти металлы в основном извлекаются из дробленого зерна, горячего осадка и дрожжей, и лишь ограниченные количества попадают в пиво. Возможно увеличение содержания данных элементов в процессе фильтрации в результате использования вспомогательных средств фильтрации, но без значительного воздействия на здоровье потребителей. С гигиенической точки зрения микробиологическое загрязнение может иметь большое значение между промышленным пивом и крафтовым пивом, особенно непастеризованным и нефильтрованным. Пиво может содержать микробные загрязнители из нескольких источников, от сырья и сосудов пивоваренного цеха (первичные загрязнители), тогда как вторичные загрязнители возникают во время розлива в бутылки, консервирования или розлива в кеги.

Следует особо отметить, что крафтовые пивоварни, в отличие от крупных промышленных предприятий, могут более гибко и оперативно реагировать на особые запросы потребителей из-за более низкой производственной мощности. Это объясняет разработку серии крафтовых сортов пива, демонстрирующих пользу для здоровья, таких как низкокалорийное, низкоуглеводное и уже упоминавшееся низкоалкогольное изотоническое пиво. Управление пищевыми рисками и их оценка основаны на научных

данных, поэтому, рассматривая публикации о наличии определенных загрязнителей в крафтовом пиве, можно сделать вывод, что ими пренебрегать нельзя. Все это указывает на необходимость специального регулирования и стандартизированных методов аналитического определения для всех идентифицированных загрязняющих веществ. С другой стороны, поскольку пиво считается неподходящей средой в основном для биологического роста и поскольку технологические параметры поддерживают биодетоксикацию, химическое загрязнение крафтового пива представляется наиболее опасным.

Список литературы

1. Бурак Л.Ч. Состояние и перспективы развития крафтового пива (обзор) // The Scientific Heritage. 2022. № 87–1 (87). С. 52–66.
2. Heyder M., Theuvsen L. Strategic management in the German brewing industry: Are there still differences between East and West. Journal for East European Management Studies. 2018. Vol. 13. P. 10–39.
3. Estela Escalante W.D. Perspectives and uses of non *Saccharomyces* yeasts in fermented beverages. *IntechOpen*. 2018. DOI: 10.5772/INTECHOPEN.81868.
4. Morata A., Loira I., Tesfaye W., Bañuelos M.A., González C., Suárez Lepe J.A. *Lachancea thermotolerans* Applications in Wine Technology. Fermentation. 2018. Vol. 4. No. 3. P. 53. DOI: 10.3390/FERMENTATION4030053.
5. Vanderpoorten K. Microbial quality of barrel aged beers in the craft brewing industry (Master of Science Thesis). Retrieved from. 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/482/227/RUG01-002482227_2018_0001_AC.pdf (дата обращения: 13.12.2022).
6. Ambra R., Pastore G., Lucchetti S. The Role of Bioactive Phenolic Compounds on the Impact of Beer on Health. *Molecules*. 2021. Vol. 26. P. 486. DOI: 10.3390/MOLECULES26020486.
7. Eskola M. et al. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. Critical reviews in food science and nutrition. 2020. Vol. 60. No. 16. P. 2773–2789. DOI: 10.1080/10408398.2019.1658570.
8. Rodríguez-Saavedra M., de Llano D.G., Moreno-Arribas M.V. Beer spoilage lactic acid bacteria from craft brewery microbiota: Microbiological quality and food safety. Food Research International. 2020. Vol. 138. P. 109762. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2020.109762.
9. Liu J. et al. Discovery and control of culturable and viable but non-culturable cells of a distinctive *Lactobacillus harbinensis* strain from spoiled beer. Scientific Reports. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-018-28949-y.
10. Yu Z. et al. Beer spoilage characteristics of *Staphylococcus xylosum* newly isolated from craft beer and its potential to influence beer quality. Food science & nutrition. 2019. Vol. 7. No. 12. P. 3950–3957. DOI: 10.1002/fsn3.1256.
11. Asano S., Shimokawa M., Suzuki K. PCR analysis methods for detection and identification of beer-spoilage lactic acid bacteria. Lactic Acid Bacteria. Humana Press, New York, NY. 2019. Vol. 2. P. 95–107. DOI: 10.1007/978-1-4939-8907-2_9.
12. Gonzalez Viejo C., Fuentes S. Beer aroma and quality traits assessment using artificial intelligence. Fermentation. 2020. Vol. 6. No. 2. P. 56. DOI: 10.3390/fermentation6020056.
13. Rodman A.D., Gerogiorgis D.I. An investigation of initialisation strategies for dynamic temperature optimisation in beer fermentation. Computers & Chemical Engineering. 2019. Vol. 124. P. 43–61. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2018.12.020.
14. Piacentini K.C. et al. Fungi and the natural occurrence of deoxynivalenol and fumonisins in malting barley (*Hordeum vulgare* L.). Food chemistry. 2015. Vol. 187. P. 204–209. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.101.
15. Pascari X. et al. Mycotoxins and beer. Impact of beer production process on mycotoxin contamination. A review. Food Research International. 2018. Vol. 103. P. 121–129. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.07.038.
16. Oliveira P. et al. Lactic acid bacteria bioprotection applied to the malting process. Part II: Substrate impact and mycotoxin reduction. Food Control. 2015. Vol. 51. P. 444–452. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.11.011.
17. Postulkova M. et al. Suppression of fungal contamination by *Pythium oligandrum* during malting of barley. Journal of the Institute of Brewing. 2018. Vol. 124. No. 4. P. 336–340. DOI: 10.1002/jib.518.
18. Lorencová E. et al. Biogenic amines occurrence in beers produced in Czech microbreweries. Food Control. 2020. Vol. 117. P. 107335. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107335.
19. Keşa A.L. et al. Strategies to improve the potential functionality of fruit-based fermented beverages. Plants. 2021. Vol. 10. No. 11. P. 2263. DOI: 10.3390/plants10112263.
20. Bergsveinson J., Pittet V., Ziola B. RT-qPCR analysis of putative beer-spoilage gene expression during growth of *Lactobacillus brevis* BSO 464 and *Pediococcus claussenii* ATCC BAA-344T in beer. Applied microbiology and biotechnology. 2012. Vol. 96. No. 2. P. 461–470. DOI: 10.1007/s00253-012-4334-3.
21. Geissler A.J. et al. Metabolic strategies of beer spoilage lactic acid bacteria in beer. International Journal of Food Microbiology. 2016. Vol. 216. P. 60–68. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.016.
22. Sakamoto K., Konings W.N. Beer spoilage bacteria and hop resistance. International journal of food microbiology. 2003. Vol. 89. No. 2. P. 105–124. DOI: 10.1016/S0168-1605(03)00153-3.
23. Wang W. et al. Hop resistance and beer-spoilage features of foodborne *Bacillus cereus* newly isolated from filtration-sterilized draft beer. Annals of Microbiology. 2017. Vol. 67. No. 1. P. 17–23. DOI: 10.1007/s13213-016-1232-4.
24. Sampaolesi S. et al. Potentiality of yeasts obtained as beer fermentation residue to be used as probiotics. Lwt. 2019. Vol. 113. P. 108251. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108251.
25. Turvey M.E. et al. Identification of beer spoilage microorganisms using the MALDI Biotyper platform. Applied microbiology and biotechnology. 2016. Vol. 100. No. 6. P. 2761–2773. DOI: 10.1007/s00253-016-7344-8.
26. Zhao X. et al. The use of chitoooligosaccharide in beer brewing for protection against beer-spoilage bacteria and its influence on beer performance. Biotechnology letters. 2016. Vol. 38. No. 4. P. 629–635. DOI: 10.1007/s10529-015-2013-z.
27. Riedl R. et al. Combined yeast biofilm screening-characterization and validation of yeast related biofilms in a brewing environment with combined cultivation and specific real-time PCR screening of selected indicator species. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2019. Vol. 77. No. 2. P. 99–112. DOI: 10.1080/03610470.2019.1579036.
28. Zendeboodi F. et al. Detection of Non-Alcoholic beer spoilage microorganisms at critical points of production by polymerase chain reaction. Biointerface Res. Appl. Chem. 2020. Vol. 11. P. 9658–9668. DOI: 10.33263/BRIAC112.96589668.
29. Wang Z. et al. Formation of viable, but putatively non-culturable (VPNC) cells of beer-spoilage lactobacilli growing in biofilms. LWT. 2020. Vol. 133. P. 109964. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109964.
30. Krogerus K. et al. Repurposing brewery contaminant yeast as production strains for low-alcohol beer fermentation. Yeast. 2022. Vol. 39. P. 156–169. DOI: 10.1002/yea.3674.
31. Michel M. et al. Optimisation of yeast vitality measurement to better predict fermentation performance. Journal of the Institute of Brewing. 2020. Vol. 126. No. 2. P. 161–167. DOI: 10.1002/jib.604.

32. Guido L.F. et al. The impact of the physiological condition of the pitching yeast on beer flavour stability: an industrial approach. *Food Chemistry*. 2004. Vol. 87. No. 2. P. 187–193. DOI: 10.1016/j.foodchem.2003.10.033.
33. Powell C.D., Diacetis A.N. Long term serial repitching and the genetic and phenotypic stability of brewer's yeast. *Journal of the Institute of Brewing*. 2007. Vol. 113. No 1. P. 67–74. DOI: 10.1002/j.2050-0416.2007.tb00258.x.
34. Djoulde D.R. Deoxynivalenol (DON) and fumonisins B1 (FB1) in artisanal Sorghum opaque beer brewed in north Cameroon. *African Journal of Microbiology Research*. 2011. Vol. 5. No. 12. P. 1565–1567. DOI: 10.5897/AJMR10.709.
35. Rodhouse L., Carbonero F. Overview of craft brewing specificities and potentially associated microbiota. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019. Vol. 59. No. 3. P. 462–473. DOI: 10.1080/10408398.2017.1378616.
36. Bauer J.I. et al. Investigations on the occurrence of mycotoxins in beer. *Food Control*. 2016. Vol. 63. P. 135–139. DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.11.040.
37. Piacentini K.C. et al. Mycotoxin analysis of industrial beers from Brazil: The influence of fumonisin B1 and deoxynivalenol in beer quality. *Food chemistry*. 2017. Vol. 218. P. 64–69. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.062.
38. Tian Y. et al. Elimination of Fusarium mycotoxin deoxynivalenol (DON) via microbial and enzymatic strategies: Current status and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 124. P. 96–107. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.04.002.
39. Bertuzzi T. et al. Known and emerging mycotoxins in small-and large-scale brewed beer. *Beverages*. 2018. Vol. 4. No. 2. P. 46. DOI: 10.3390/beverages4020046.
40. Mastanjević K. et al. From malt to wheat beer: A comprehensive multi-toxin screening, transfer assessment and its influence on basic fermentation parameters. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 254. P. 115–121. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.02.005.
41. Wall-Martínez H.A. et al. Frequency and levels of mycotoxins in beer from the Mexican market and exposure estimate for deoxynivalenol mycotoxins. *Mycotoxin research*. 2019. Vol. 35. No. 2. P. 207–216. DOI: 10.1007/s12550-019-00347-x.
42. Eticha T., Hymete A. Health risk assessment of heavy metals in locally produced beer to the population in Ethiopia. *Journal of Bioanalysis & Biomedicine*. 2014. Vol. 6. No. 6. P. 65. DOI: 10.4172/1948-593X.1000114.
43. Singh K. et al. HACCP Implementantation on beer production from barley. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018. Vol. 7. No. 5S. P. 140–145.
44. Onescu N. Applications of quality management systems in beer production enterprises. 2020. Vol. 3. No. 4. P. 49–53. DOI: 10.5281/zenodo.4296323.