

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРЬЯ И РЕЖИМА ЗАТИРАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУСЛА С НИЗКОЙ СТЕПЕНЬЮ СБРАЖИВАНИЯ

А.А. КЕРИМБАЕВА* , Г.И. БАЙГАЗИЕВА , А.К. КЕКИБАЕВА 

(Алматинский технологический университет, Казахстан, 050012, г. Алматы, Толе би 100)

Электронная почта автора корреспондента: a.kerimbayeva@gmail.com*

В настоящее время на рынке производства напитков большую эффективность набирает потребление безалкогольной или низкоалкогольной продукции. Пивоваренное производство, занимая лидирующие позиции, стремится увеличивать ассортимент продукции, направленной на данного потребителя. Поэтому рынок производства безалкогольного пива увеличивается. Получать данное пиво, применяя мембранные технологии или диализ, можно только на заводах большой мощности. В представленных исследованиях изучена возможность производства безалкогольного пива технологическими методами, подобрав подходящее сырье и режимы затираания. Данная технология позволит получать безалкогольное пиво и на заводах малой мощности. В связи с этим целью исследования является обоснование и применение нетрадиционной зерновой культуры сорго сорта Казахстанская 16, отечественной селекции, при производстве пивоваренного сусла с низкой степенью сбраживания. Изучена микроструктура зерна, рассчитан размер крахмальных зерен и обосновано его применение в производстве сусла с низкой плотностью. По результатам проведенных экспериментов исследована зависимость засыпи, гидромодуля и режима затираания на выход экстрактивных веществ в сусле. Подобран скачкообразный режим затираания с паузами 50-52°C, 72-74°C, минуя мальтозную паузу. На основе полученного низкосбраживаемого сусла произведено пиво, характеристики которого соответствуют безалкогольному.

Ключевые слова: пивоваренное производство, безалкогольное пиво, пивное сусло, экстрактивность, затираание, математическое планирование.

АШУ ДӘРЕЖЕСІ ТӨМЕН СУСЛОНЫ АЛУ ҮШІН ШИКІЗАТТЫ ЖӘНЕ ЫСҚЫЛАУ РЕЖИМІН ЗЕРТТЕУ

А.А. КЕРИМБАЕВА*, Г.И. БАЙГАЗИЕВА, А.К. КЕКИБАЕВА

(Алматы Технологиялық университеті, Қазақстан, 050012, Алматы қ., Толе би к-сі, 100)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: a.kerimbayeva@gmail.com*

Қазіргі уақытта сусындар өндірісі нарығында алкогольсіз немесе төмен алкогольді өнімдерді тұтыну тиімдірек болып жатыр. Сыра қайнату өндірісі жетекші орынға ие бола отырып, осы тұтынушыға бағытталған өнімдердің ассортиментін арттыруға ұмтылады. Сондықтан алкогольсіз сыра өндіру нарығы артып келеді. Сыраның сондай түрін мембраналық технологияларды немесе диализді қолдана отырып, тек жоғары қуаттылығы бар зауыттарда ғана шығаруға болады. Ұсынылған зерттеулерде технологиялық әдістермен алкогольсіз сыраны өндіру үшін, сәйкес шикізатты таңдау және ысқылау режимдері зерттелді. Бұл технология қуаттылығы төмен зауыттарда да алкогольсіз сыраны алуға мүмкіндік береді. Осыған байланысты зерттеудің мақсаты ашыту дәрежесі төмен сыра суслоны алу үшін – отандық селекциядағы дәстүрлі емес астық дақылдар ретінде құмай жүгерінің «Қазақстанская 16» сортының қолдануы зерттелді. Дәннің микроқұрылымы зерттеліп, крахмал дәндерінің мөлшері есептеліп, тығыздығы төмен сусло өндірісінде қолданылуы негізделді. Тәжірибе нәтижелері бойынша суслодағы экстрактивті заттардың шығымына төкпенің, гидромодульдің және ысқылау режимінің тәуелділігі зерттелді. Мальтозалы үзілісті өткізбей, 50-52°C, 72-74°C температурадағы секірмелі ысқылау режимі таңдалды. Алынған төмен ашытылған сусло негізінде сипаттамалары алкогольсізге сәйкес келетін сыра шығарылды.

Негізгі сөздер: сыра қайнату өндірісі, алкогольсіз сыра, сыра суслосы, экстрактивтілігі, ысқылау, математикалық жоспарлау.

RESEARCH OF RAW MATERIALS AND MASHING REGIMES TO PRODUCE LOW DIGESTION WORT

A.A. KERIMBAYEVA*, G.I. BAIGAZIYEVA, A.K. KEKIBAEVA

(Almaty technological university, Kazakhstan, 050012, Almaty, Tole bi str., 100)

Corresponding author e-mail: a.kerimbayeva@gmail.com*

Currently, consumption of non-alcoholic or low-alcoholic products is gaining more and more efficiency in the beverage market. The brewing industry is taking the lead and is striving to increase the range of products aimed at this consumer. Therefore, there is an increasing market for non-alcoholic beers. Brewing this beer using membrane technology or dialysis is only achievable in high-capacity breweries. The presented research studies the possibility of producing non-alcoholic beer through technological methods by selecting suitable raw materials and mashing regimes. This technology will enable the production of non-alcoholic beer at small-capacity breweries. The purpose of the research is to study and apply the non-traditional grain crop sorghum variety Kazakhstan 16 in the production of brewing wort with a low degree of digestion. We studied the microstructure of the grain, calculated the size of the starch grains and justified its use in the production of low-density wort. The microstructure of the grain, as the size of the starch grains were determined. The using of sorghum was justified in the production of low-density mash. Based on the results of the experiments, the dependence of mash, hydromodulus and mashing mode on the yield of extractive substances in the wort was studied. A mashing regime with mash pauses of 50-52°C, and 72-74°C, bypassing the maltose pause, was selected. Based on the resulting low fermentation wort, a beer whose characteristics correspond to a non-alcoholic beer was produced.

Keywords: brewing, non-alcoholic beer, beer wort, extractivity, mashing, mathematical planning.

Введение

Отрасль производства напитков с каждым годом увеличивает свои масштабы. Чтобы оставаться конкурентоспособным на рынке, заводы расширяют ассортимент выпускаемой продукции, применяя новые технологии производства, используя нетрадиционные виды сырья повышенной пищевой ценности. Одним из лидирующих производств является пивоваренная отрасль [1,2]. На сегодняшний день интерес потребителей растет в пользу потребления безалкогольной и слабоалкогольной продукции.

Пиво, являясь натуральным продуктом естественного брожения, не теряет свои позиции и имеет своего потребителя на рынке. В настоящее время все больший интерес направлен, на производство безалкогольного пива [3]. Определение безалкогольного пива может варьироваться в зависимости от страны, но обычно оно относится к безалкогольным или слабоалкогольным продуктам, которые могут содержать до 0,5% спирта по объему [4,5]. Существует несколько способов получения такого пива: термический, подразумевает пастеризацию молодого пива для удаления этилового спирта, но при этом полностью теряется его профиль; применение мембранных технологий позволяет получать пиво по классической технологии, удаляя образовавшийся спирт методом диализа, обратного осмоса, по-

лученное пиво сохраняет органолептические характеристики, данный способ эффективный, но дорогостоящий; технологический способ производства основан на изменении технологических режимов, применении низкосбраживаемых дрожжей и прерывании процесса сбраживания при образовании этилового спирта до 0,5%. Последний способ является более приемлемым, так как не требует перерасхода электроэнергии, установки дорогого оборудования и позволяет производить качественное безалкогольное пиво на заводах любой мощности. Различные технологии обработки для ограничения содержания спирта в пиве дают совершенно разные составы матриц и органолептические профили [6].

Технологические методы производства основаны на использовании в составе рецептуры различных соотношений солодов и нетрадиционных видов несоложенного сырья, также подбор оптимальных режимов затирания для получения пивоваренного сусла с низкой степенью сбраживания, что позволит в дальнейшем процессе брожения получить выход этилового спирта до заданного уровня [7].

Согласно проведенному мониторингу литературной информации наиболее перспективным видом нетрадиционного зернового сырья является культура сорго [8]. В настоящее время в работах ученых приводятся рецептуры соргового пива, произведенного по классиче-

ской технологии с выходом этилового спирта 3,6-4,0 % об.

Для производства низкосбраживаемого суслу зерно сорго имеет среднее содержание крахмала в своем составе, что не снижает качества суслу при выходе экстрактивных веществ, при этом клейстеризация крахмала проходит при высоких температурах, что сыграло важную роль в использовании данной культуры в виде несоложенного сырья для производства безалкогольного пива [9].

Как известно, чем выше температура клейстеризации зернового сырья, тем меньше активируются амилазные ферменты и гидролиз крахмала проходит не в полном объеме, что приводит к образованию меньшего количества сбраживаемых сахаров и высокому выходу декстринов. В результате пивоваренное суслу будет обладать низким содержанием экстрактивных веществ, чего и добиваются при производстве безалкогольного пива технологическим методом [10].

Сорго – уникальная злаковая культура, по содержанию крахмала не уступающая таким зерновым культурам как ячмень и пшеница. Неприхотлива к климатическим условиям, может культивироваться в засухоустойчивых регионах. Сорго занимает пятое место по мировому производству зерновых, при этом некоторые сорта, как сообщается, обладают хорошим пивоваренным и солодовым потенциалом из-за присутствия в них пивоваренных ферментов (таких как альфа-амилаза, бета-амилаза и протеиназы) [11].

Целью представленного научного исследования является подбор сырья и режима затириания при получении пивоваренного суслу с низкой степенью сбраживания для производства безалкогольного пива.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- обоснование и выбор зернового сырья для производства суслу с низкой степенью сбраживания,

- подбор режима затириания с применением нетрадиционного зернового сырья для производства суслу с низкой степенью сбраживания.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования являлись зерна сорго сорта Казахстанский 16, 20, экспериментально выработанные и представленные для исследования ТОО «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства» (Алматинская область, Казахстан),

используемые в качестве несоложенного сырья. Также для приготовления пивоваренного суслу применяли светлый ячменный солод «Пильзен», карамельный солод 150, горький хмель (α -кислота 15,2%) и ароматный (α -кислота 4,8%) в виде гранул, дрожжи штамма SafBrew TM LA-01.

Научные исследования проводились в научно-исследовательском институте «Пищевая безопасность» Алматинского технологического университета, в Казахстанско-Японском инновационном центре при НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет». Контрольная варка готового пива производилась в учебно-научном центре продуктов брожения Алматинского технологического университета на мини-пивоваренном заводе NANO BREWERY TYPE 50 L4.

Микроструктура зерна сорго сорта Казахстанская 16 исследовалась на сканирующем электронном микроскопе JoelJSM 6510LA. Данный микроскоп позволяет получать морфологический снимок поперечного среза зерна и рассчитывать размеры крахмальных зерен.

Методом математического планирования эксперимента выявлены зависимости зерновой засыпи и гидромодуля на выход экстрактивных веществ суслу и подобран оптимальный вариант. Поисковые эксперименты проводились по полнофакторному плану. Оптимизация проведена методом крутого восхождения.

Для построения графиков кривой нормального распределения в MS Excel для вычисления значений нормального распределения использовалась функция НОРМРАСП, которая вычисляет значения вероятности нормальной функции распределения для указанного среднего и стандартного отклонения.

Планирование эксперимента осуществлялось в программе Statistica 12.0. Получена матрица планирования, по которой проводился опыт, каждая точка подтверждена 3 параллельными опытами. При этом влияющими факторами являлись засыпь (x_1), гидромодуль (x_2), режим затириания (x_3), а результирующим зависимым фактором - экстрактивность полученного суслу (y_2). Переменные факторы и уровни их варьирования во многофакторном эксперименте описаны в таблице 1 [12].

Обзор литературы

В последние годы на рынке производства напитков наблюдается тенденция к увеличению спроса на безалкогольное пиво, а также повышаются требования к его качеству и стоимости [13]. Известно, что свойства продукта и затраты на производство в значительной степени зависят от выбранной технологии. В производстве безалкогольного пива используют два основных метода: физико-химические и технологические. Первые позволяют получать безалкогольное пиво хорошего качества, используя методы диализа или обратного осмоса, но применимы только на предприятиях высокой мощности. Технологические методы являются экономически выгодными для любых заводов. Суть процесса заключается в снижении содержания спирта на стадиях производства. На этапе затираания необходимо подобрать сырье и режим, в результате которых получится сусло с низким содержанием сбраживаемых сахаров. Это становится возможным только в том случае, если в технологии производства пива используются нетрадиционные сырьевые компоненты необходимого качества [14].

На сегодняшний день при производстве пива помимо традиционных ячменя и мягкой пшеницы используют зерна тритикале, киноа, гречихи, тритордеума, сорго и др [15,16,17]. Эти злаковые культуры применяются в виде несоложенного сырья с целью повышения экстрактивности сусла, расширения ассортимента продукции, получения определенных органолептических характеристик и снижения себестоимости конечного продукта. Причем некоторые из них обладают и другими функциональными свойствами, что повышает пищевую ценность напитка. Авторами [18] разработаны образцы безалкогольного пива, имеющие антиоксидантные свойства из-за содержания фенолов и флавоноидов, полученных из киноа. Нововведением [19] исследования является разработка технологии производства кислого безалкогольного пива (безалкогольного Sour Ale) с использованием сока из плодов краснокрашенного сорта кизила (*Cornus mas L.*). Доказано, что помимо интересных органолептических качеств, таких как кислый вкус или аромат, данное пиво обладает другими ценными свойствами, такими как сильный антиоксидантный потенциал, а также содержит иридоиды, которые обнаружены в данных видах плодов.

Замена дорогостоящего пивоваренного солода несоложенным углеводсодержащим сы-

рьем является одной из важнейших и актуальных задач пивоваренной отрасли. Для производства безалкогольного пива, применяя технологические методы, важно подобрать сырье, позволяющее получать полупродукт с низкой конечной степенью сбраживания, при этом не снижая органолептических характеристик готового напитка.

Как известно, что при производстве традиционного пива чем выше экстрактивность сырья, тем быстрее имеющиеся ферменты гидролизуют крахмал до простых сахаров. Следовательно выход сбраживаемых углеводов увеличивается, что положительно сказывается на процессе основного брожения и увеличения выхода этилового спирта. Также процесс затираания сопровождается клейстеризацией крахмала при нагревании. Клейстеризованный крахмал легче подвергается действию амилолитических ферментов, тем самым более глубоко проводит процесс гидролиза крахмала, что также способствует повышению выхода экстрактивных веществ сусла [20]. Данные факторы противоречат производству пивоваренного сусла для безалкогольного пива, так как необходимым условием является неполный гидролиз крахмальных зерен с повышенным выходом декстринов. Для того, чтобы добиться оптимального углеводного состава сусла с низкой степенью сбраживания, необходимо подобрать сырье, отвечающее поставленной цели. В связи с этим согласно проведенному мониторингу научной литературы наиболее перспективным видом нетрадиционного зернового сырья, которое можно использовать при производстве безалкогольного пива может стать зерно сорго.

Зерновое сорго – уникальная злаковая культура, представляющая интерес для сельского хозяйства нашей республики. Проявляя свои засухоустойчивые свойства, ее можно культивировать в южных регионах с жарким климатом, давая неплохие урожаи. Неприхотлива к изменениям погодных условий, составу почвы, способам обработки [21].

Исследования позволяют сделать вывод, что зерно сорго по содержанию крахмала не уступает ячменю или кукурузе, что положительно сказывается на выходе экстрактивных веществ. Имеет повышенную температуру клейстеризации, что позволяет провести неполный гидролиз крахмала. Поэтому исследования по изучению возможности при-

менения зернового сорго в технологии безалкогольного пива являются актуальными.

Результаты и их обсуждение

Согласно проведенному мониторингу научно-технической информации обосновано применение технологических методов для производства безалкогольного пива. В связи с этим проведен ряд взаимосвязанных экспериментов.

Суть первой серии экспериментов заключается в получении суслу с низкой степенью сбраживания, что в дальнейшем приведет к низкому образованию этилового спирта в молодом пиве. Для этого большую роль играет подбор такого сырья, который позволит получить желаемый результат.

Для реализации поставленной задачи решено использовать зерновое сырье с более низкой экстрактивностью, чем у применяемого при производстве спиртосодержащего пива; подобрать определенные условия затираания, при которых в сусле будет накапливаться сравнительно небольшое количество сбраживаемых сахаров, при этом несбраживаемый экстракт, формирующий вкус готового пива, перейдет в жидкую фазу в достаточной степени.

На первом этапе исследования подобрано несоложенное сырье из нетрадиционных видов зерновых культур, которое по своим физико-химическим свойствам отвечает требованиям для производства качественного пива и в то же время позволило получить пивоваренное сусло с низкой степенью сбраживания. Данный результат способствует снижению себестоимости конечной продукции и, кроме того, позволяет использовать зерновые, культивируемые в регионах, где производится безалкогольное пиво. Такое зерно более доступно, уменьшаются расходы на его транспортировку и, следовательно, достигаются дополнительные экономические преимущества.

При применении несоложенного сырья общее количество вводимых несоложенных материалов может колебаться от 15 до 50 % от массы ячменного солода.

Сорго – уникальное злаковое растение, как по своим биологическим особенностям, так и по хозяйственным признакам. Основные посевы сорго на территории республики сосредоточены в Южно-Казахстанской области. Из сортов сорго, разрешенных к применению в пищевой промышленности, являются сорта Казахстанский 16 и 20.

Анатомическое строение сорго состоит из 4 основных структурных частей: оболочка, алейроновый слой, эндосперм и зародыш.

Наружная оболочка покрыта тонким восковым налетом, далее следующая средняя оболочка (мезокарпий) имеет толщину от нескольких остатков клеток с небольшими клетками крахмала до 3-4 слоев клеток, в составе которых имеется значительное содержание крахмала. Зерно сорго является единственной зерновой культурой, у которой в этой части строения зерна имеются крахмальные зерна (рис. 1).

На рисунке 1 изображено сечение зерна сорго сорта Казахстанский 16: (а-эндосперм зерна, б- алейроновый слой). Согласно микроснимкам, эндосперм составляет более 75% от массы самого зерна. Следовательно, содержание крахмала в нем позволяет получить необходимый выход экстрактивных веществ.

На рисунках 1 г-д изображена микроструктура крахмальных зерен и просчитан их размер. Для зерна сорго их размер колеблется от 3,9-10 мкм, что значительно меньше, чем для зерен кукурузы (от 5 до 30 мкм) или ячменя (от 3 до 25 мкм). Данный факт говорит о том, что гранулы крахмала имеют малый размер и плотно расположены друг к другу, следовательно для их гидролиза потребуется более высокая температура и продолжительное время нагревания.

Сорго имеет умеренное содержание крахмала, не уступающее традиционным видам несоложенного сырья, при высокой температуре клейстеризации (78-85°C), что выше, чем для остальных зерновых культур (в среднем составляет 60-72 °C). В связи с этим изучены физико-химические свойства некоторых зерновых культур в производстве пива, которые распространены на территории Республики Казахстан (табл. 2).

По результатам таблицы 2 видно, что зерно сорго по своему химическому составу не уступает традиционным видам зерновых культур. В зависимости от сорта содержание крахмала находится в пределах от 70 до 80%, что положительно сказалось на выходе экстрактивных веществ. При сбраживании низкоплотного суслу этот факт играет роль при образовании дрожжами вторичных продуктов брожения, определяющих профиль пива.

Также решающим фактором применения сорго в технологии производства низкоплотного суслу является температура клейстеризации. Клейстеризованный крахмал легче подвергается действию амилаз, тем самым более глубоко проводит процесс гидролиза крахмала, что способствует повышению выхода

экстрактивных веществ сула, при производстве классических сортов пива.

При производстве безалкогольного пива важным условием является неглубокий гидролиз крахмальных соединений, с максимальным выходом несбраживаемых сахаров. Так как зерно сорго имеет большое количество крахмальных зерен маленького размера (менее 1 мкм) и они плотно прилегают друг к другу, для их клейстеризации и разжижения необходимо использовать повышенные температуры в процессе затирания (78-85°C). В связи с этим подобран определенный режим затирания, в котором крахмальные зерна сорго в меньшем количестве подвергнуты клейстеризации, следовательно активность амилолитических ферментов низкая, так как амилолиз возможен только после клейстеризации крахмала.

Следующим важным показателем качества зерновых культур, применяемых в пивоварении, является наличие белка. Белок зерновых культур отвечает за физико-химическую стабильность и пеностойкость пива.

Согласно данным, приведенным в таблице 2, в зерне сорго белок находится в пределах норм, установленных ГОСТ5060-2021 «Ячмень пивоваренный. Технические условия», но имеет широкий предел колебаний. Далее на рисунке 2 приведен состав белка сорго сорта Казахстанский 16 и 20 по фракциям в сравнении с традиционным несоложенным сырьем, применяемым в пивоварении.

Как видно из рисунка 2 соотношение содержания белка по фракциям у зерновых культур различно. Содержание альбуминов, определяющих стойкость пены готового пива, в зернах сорго выше, чем у традиционных зерновых культур. Альбумин-нейтральный белок, растворим в воде, поэтому подобранный гидромодуль 1:6 является оптимальным и позволяет произвести более полный протеолиз белка на стадии затирания.

Проламины – это белки, которые растворяются в спирте. Важное значение они занимают при брожении и дображивании пива. Их количество (17,3 и 18,5 %) в зерне сорго значительно меньше, чем в ячмене (36,3 %), следовательно при образовании меньшего количества спирта (для безалкогольного пива), проламины подвергнуты меньшему растворению что положительно скажется на мутности конечного продукта.

Глобулин более устойчив к нагреванию и труднее коагулирует в процессе затирания, в воде не растворим, но растворяется в растворах

некоторых солей. При правильно подобранном режиме затирания и производстве пива глобулины не образуют холодной мути. Глютелины только растворимы в щелочных растворах.

Согласно вышесказанному, можно сделать вывод, что зерно сорго является альтернативным зерновым сырьем для производства безалкогольного пива. При использовании его в основной засыпи в виде несоложенного сырья можно получить пивоваренное суло с низкой плотностью. Данный факт обусловлен наличием мелких гранул крахмала, что требует высокой температуры клейстеризации, при этом действие амилолитических ферментов будет максимально малым вследствие чего произойдет образование высокого содержания декстринов (несбраживаемых сахаров). Наличие белка и выдержка оптимального температурного режима для протеолитических ферментов позволит сохранить пеностойкость готового напитка на выходе.

После обоснования применения зерна сорго для производства низкосбраживаемого сула следующим этапом исследования является подбор оптимального режима затирания. Для этого методом математического планирования подобран скачкообразный режим затирания, без выдержки мальтозной паузы, что сократит действие α - и β -амилаз, и позволит получить оптимальный углеводный состав для производства безалкогольного пива (рис. 3).

Первый режим затирания предусматривает приготовление затора на основе ячменного солода, зерна сорго, ароматного и горького хмеля, при этом выдержку затора проводили при температуре 50-52 °C - 15 минут, далее резко повышали температуру до 70-72°C в течении 15 минут проводили осахаривание, затем нагревали до температуры 78°C выдерживали еще 30 мин. По второму режиму затирания предусмотрен тот же состав, но после приготовления затора температуру резко повышали до 70-72 °C и выдерживали 45 мин, далее еще раз увеличивали до 78°C и направили на фильтрацию. Для подобранных режимов затирания установлено регламентированное значение pH 5,4-5,6, которое является благоприятным для выдержки подобранных пауз.

На рисунке 3 приведен сводный график функции желательности, где видны зависимости выхода экстрактивных веществ от соотношения засыпи, гидромодуля и режима затирания. Линейная зависимость, отображенная в формуле 1, показывает зависимость экстрактивности от гидромодуля и количества засыпи.

$$Z = 1,0947 - 0,0593 \times x - 0,1858 \times y \quad (1)$$

Для экспериментальных исследований взяты соотношения в засыпи ячменный солод: зерно сорго 10 образцов: 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30, 65:35, 60:40, 55:45, 50:50, так как более 50% несоложенного сырья не допускается использовать в пивоварении. При этом варьировали гидромодулем от 3 до 7, если уменьшить показатель, то сусло получается очень плотным, что неприемлемо в производстве безалкогольного пива, а повышение гидромодуля выше 7 приведет к снижению экстрактивных веществ и пустому профилю на-

питка. Согласно данным, отображенным в рисунке 2 показано, чем выше засыпь и ниже гидромодуль выход экстрактивных веществ будет повышен. Оптимальным является засыпь 60:40 при гидромодуле 1:6, экстрактивность будет соответствовать 6,62%.

Зависимость, отображенная в формуле 2, показывает выход экстрактивных веществ от соотношения засыпи и режима затирания, где наиболее эффективным при использовании сорта сорго Казахстанская 16 является первый режим затирания.

$$Z = 1,0297 - 0,0636 \times x - 0,0522 \times y \quad (2)$$

В зависимости, отображенной в формуле 3, показан выход экстрактивных веществ от гидромодуля и режима затирания, где также

можно проследить, что наиболее эффективным является первый режим затирания.

$$Z = 1,0675 - 0,1871 \times x - 0,0289 \times y \quad (3)$$

По представленному графику математической обработки данных можно сделать вывод, что для производства пивоваренного сусла с низкой степенью сбраживания, при применении в виде несоложенного сырья зерна сорго сорта Казахстанская 16 лучший результат будет при внесении в засыпи 60% ячменного солода и 40% зерна сорго, при этом гидромодуль составляет 1/6. Для данной рецептуры соответствует первый режим затирания со скачкообразным температурным режимом, что позволяет получить оптимальный углеводный состав с выходом экстрактивных веществ 6,62%, что соответствует низкоплотному суслу, на основе которого можно получить безалкогольное пиво.

Заключительным этапом исследования являлось производство безалкогольного пива на основе разработанного пивоваренного сусла. Для этого полученное сусло отфильтровали, провели кипячение с хмелем, удалили белковую взвесь и охладили до температуры брожения.

Для производства пива с низким содержанием спирта использовали низкосбраживаемые дрожжи штамма SafBrew™ LA-01.

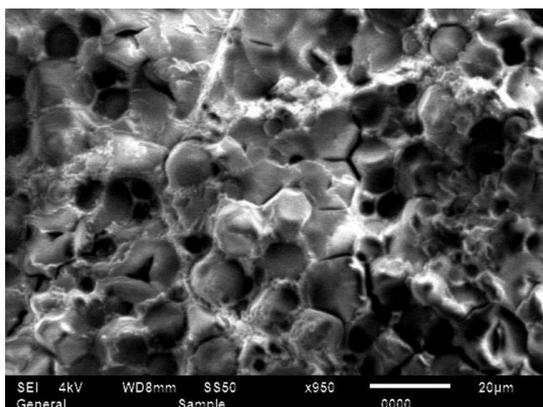
Брожение проводили при температуре 6°C первые трое суток, затем сняли дрожжи и понизили температуру до 3°C, выдержали еще 1 сутки и направили на дображивание еще на 4 дня при температуре 0°C. По истечении 8 суток безалкогольное молодое пиво отфильтровали и исследовали физико-химические показатели (рис. 3) в соответствии с ГОСТ 31711-2012 Пиво. Общие технические условия.

Согласно результатам экспериментальных исследований, приведенных на рисунке 4, пиво, полученное на основе разработанного низкосбраживаемого сусла с применением в виде несоложенного сырья зернового сорго, имело показатели, соответствующие установленным стандартам. Высота пены и пеноустойчивость обусловлены, тем что при тепловом режиме затирания подобран скачкообразный режим с выдерживанием белковой паузы, что способствуют гидролизу белковых соединений. Экстрактивность начального сусла позволила сбродить пивное сусло до содержания этилового спирта до 0,5%об, что соответствует безалкогольному пиву.

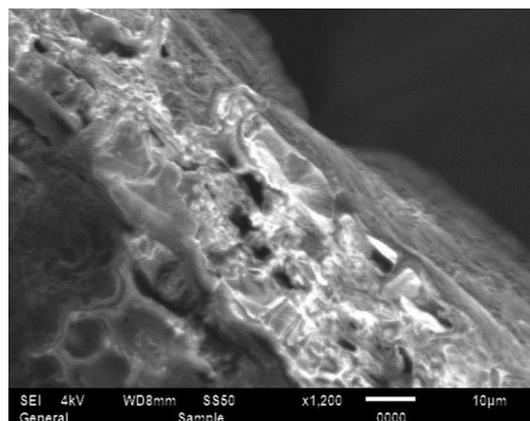
Рисунки и таблицы

Таблица 1-Переменные факторы и уровни их варьирования во многофакторном эксперименте

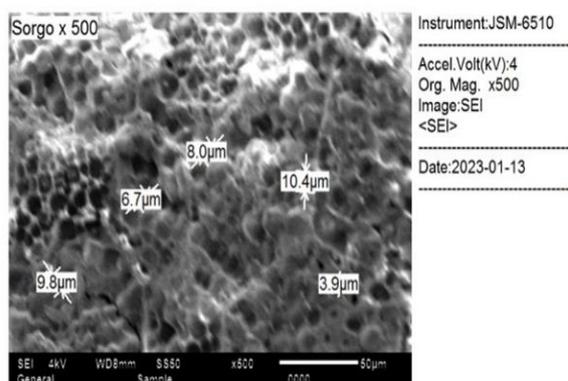
Наименование фактора	Кодированное обозначение фактора	Интервал варьирования фактора	Уровни варьирования		
			Нижний -1	Средний 0	Верхний +1
гидромодуль	X ₁	2	3	5	7
засыпь	X ₂	45	10	55	100
режим затирания	X ₃	1	1	1,5	2



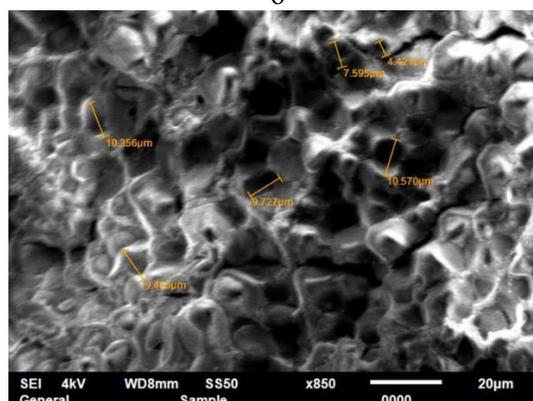
а



б



в



г

Рисунок 1- Микроструктура зерна сорго сорта Казахстанская 16. а) эндосперм зерна; б) алейроновый слой; в) мучнистая часть эндосперма; г) микроструктура крахмальных зерен

Таблица 2- Физико-химические свойства некоторых зерновых культур

Показатель	Вид зерна						
	ячмень	рис	кукуруза	сорго	тритикале	просо	гречиха
Влажность, %	14,0-14,5	10,0-13,5	11,0-13,5	10,0-12,5	13,0-14,0	13,0-13,5	13,0-14,0
Экстракт, % СВ	75,0-77,2	89,0-94,0	88,0-93,0	75,5-82,0	70,0-77,4	65,0-69,8	60,0-67,8
Жиры, % от СВ	2,0-2,4	0,2-0,7	0,8-1,3	0,5-0,8	1,8-2,1	3,5-4,5	2,5-3,1
Крахмал, % от СВ	76,0-80,0	67,0-88,0	71,0-74,0	70,0-81,0	60,0-75,0	67,0-72,0	
Белок, % от СВ	8,0-12,2	6,0-9,0	9,0-11,0	6,0-13,0	8,0-13,9	9,0-12,1	10,0-13,1
Зола, %	1,8-2,6	0,9-1,5	1,4-1,8	1,6-2,5	1,5-2,2	2,5-4,3	0,8-2,8

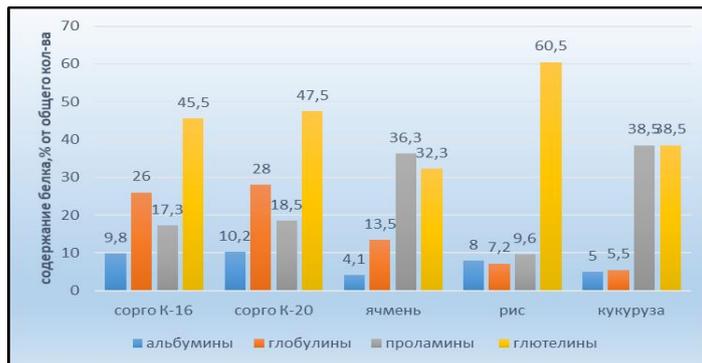


Рисунок 2 -Фракционный состав белка зерна сорго сорта Казахстанский 16 и 20 и других зерновых культур

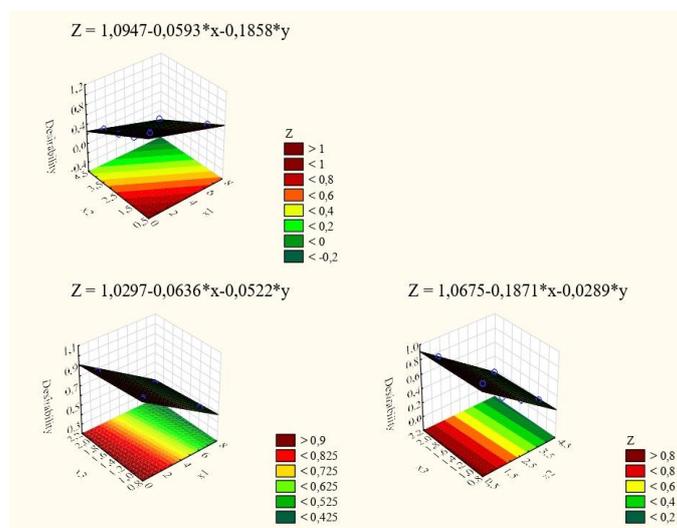


Рисунок 3 - Сводный график функции желательности в зависимости экстрактивности от засыпи, гидромодуля и режима затирания

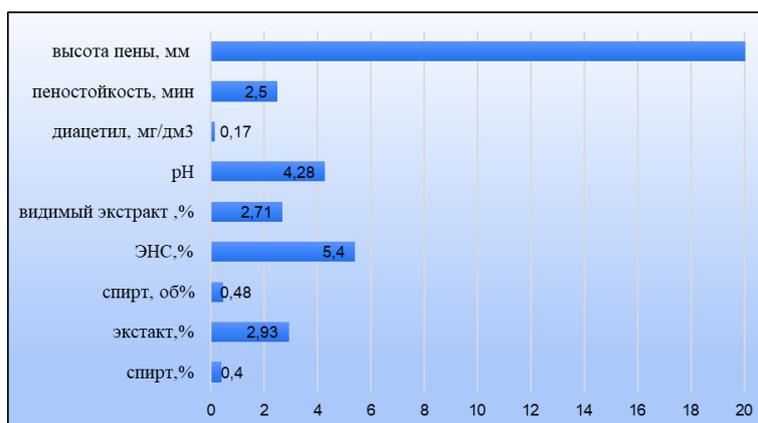


Рисунок 4- Физико-химические показатели качества готового пива

Заключение, выводы

На основе проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для получения пивоваренного суслу с низкой степенью сбраживания подобран вид

несоложенного сырья зернового сорго сорта Казахстанский 16 отечественной селекции. Введение данной зерновой культуры обосновано наличием оптимального содержания крахмала (70,0-81,0 %) и повышенной температурой клейстеризации (78-85°C), что спо-

способствует низкому гидролизу крахмальных зерен и высокому выходу декстринов.

2. Методом математического планирования исследованы зависимости зерновой за­сыпи, гидромодуля и режима затирания на выход экстрактивных веществ. Наиболее эффективным является соотношение засыпи ячменный солод/сорго, 60/40, при гидромодуле 1/6, при этом режим затирания предусматривает выдержку белковой паузы далее минуя мальтозную сразу выдержку ферментативной паузы. В результате экстрактивность полученного суслу составляет 6,62%, что наиболее приемлемо для получения на выходе безалкогольного пива.

3. На основе разработанного пивоваренного суслу произведено безалкогольное пиво и изучены его физико-химические характеристики. Полученные данные соответствуют установленным требованиям для безалкогольного пива.

Благодарность, конфликт интересов (финансирование)

Выражаем благодарность АО «ИП Эфес Казахстан» за спонсорское финансирование при приобретении мини пивоваренного завода NANO BREWERY TYPE 50 L4. Данный вклад дает возможность проводить многочисленные исследования в пивоваренной отрасли.

Авторы декларируют об отсутствии конфликта интересов относительно данного исследования, в том числе финансового, личностного характера, авторства или иного характера, который мог бы повлиять на исследование и его результаты, представленные в данной статье.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Груздева Е.Н. Опыт модернизации предприятий пивоваренной промышленности // Пиво и напитки. 2011.- №5.- С.4-5.
2. Dziędziński M., Stachowiak B., Kobus-Cisowska J. Supplementation of beer with Pinus sylvestris L. shoots extracts and its effect on fermentation, phenolic content, antioxidant activity and sensory profiles // Electronic Journal of Biotechnology, 2023.- Vol. 63.- P. 10-17.
3. Katainen A., Uusitalo L., Saarijärvi H. Who buys non-alcoholic beer in Finland? Sociodemographic characteristics and associations with regular beer purchases//International Journal of Drug Policy, Vol. 113.- 2023.- P. 556-569.
4. Ghasemi-Varnamkhasti M., Saeid Mohtasebi S, Ahmadi H. Classification of non-alcoholic beer based on aftertaste sensory evaluation by chemometric

tools//Expert Systems with Applications, Vol. 39.- 2012.-P. 4315-4327.

5. Хоконова М.Б., Кажаров Р.А. Разработка технологии безалкогольного пива // Инновационная наука. 2015. -№3.- С.65-68.

6. Georg Krebs, Magdalena Müller, Thomas Becker, Martina Gastl. Characterization of the macromolecular and sensory profile of non-alcoholic beers produced with various methods//Food Research International, Vol. 116.-2019.-P. 508-517.

7. Оганнисян В.Г. Безалкогольное пиво и технологии его получения // Пиво и напитки, 2007. - №6. – С. 25-33.

8. Матвиенко Е.В. Сорго как пищевая культура // IACJ, 2020.- №3.- С. 102-108.

9. Шакиров Д.Р., Кривов Н.В. Использование зернового сорго в качестве соложенного и несоложенного сырья при производстве пива // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2018.- №2. – С. 65-74.

10. Борисенко Т.Н. Технология отрасли. Технология пива / Борисенко Т.Н., Кардашева М.В. — Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014.- 122 с.

11. P. Othuke Akpogheli, G. Iruoghene Edo, E. Akhayere. Proximate and nutritional composition of beer produced from malted sorghum blended with yellow cassava//Biocatalysis and Agricultural Biotechnology.-2022, Vol. 45.- P. 235-246.

12. Kerimbayeva A., Iztayev A., Baigazyeva G. The impact of grain sorghum on the carbohydrate composition of wort for non-alcoholic beer // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.- 2022, №5/11 (119).-P. 75–82.

13. Ramsey I, Yang Q, Ford R. Understanding the sensory and physicochemical differences between commercially produced non-alcoholic lagers, and their influence on consumer liking//Food Chemistry: X, Vol. 9,2021.- P. 789-796

14. Кобелев К.В., Волкова Т.Н., Селина И.В. Несахаромыцетные дрожжи в производстве слабоалкогольного пива // Пиво и напитки, 2020.- №3.- С. 66-72.

15. Gasiński A., Kawa-Rygielska J., Sychaj R. Production of gluten-free beer brewing from sorghum malts mashed without external enzyme preparations//Journal of Cereal Science, Vol. 112.- 2023.- P. 256-266.

16. García-Puebla, E. Heredia-Olea, J. Pedro López-Córdova. Use of durum wheat (Triticum Durum L.) with “yellow berry” as an alternative to malts in the production of ale-type beer: Physicochemical, quality of malts, and sensorial analysis // Journal of Cereal Science, 2023, Vol.109.- P. 445-462.

17. M. Zdaniewicz, A. Pater, A. Knapik. The effect of different oat (Avena sativa L) malt contents in a top-fermented beer recipe on the brewing process performance and product quality//Journal of Cereal Science, 2021, Vol. 101.- P. 325-336.

18. Prasad D. C, Vidyalakshmi R, Baskaran N, Tito Anand M. Influence of *Pichia myanmarensis* in fermentation to produce quinoa based non-alcoholic beer with enhanced antioxidant activity//*Journal of Cereal Science*, Vol. 103, 2022.-P. 456-466.

19. Adamenko K., Kawa-Rygielska J.Characteristics of Cornelian cherry sour non-alcoholic beers brewed with the special yeast *Saccharomyces ludwigii* // *Food Chemistry*, Vol. 312,2020.- P. 789-796.

20. Кунце В. Технология солода и пива.- СПб.: Профессия, 2009. - 912 с.

21. Аскарбеков Э.Б., Байгазиева Г.И., Кекибаева А.К. Ферментативная активность дрожжей, исследуемых для сбраживания сиропа сахарного сорго// *Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. № 2 (78) 2018.- С.24-30.*

REFERENCES

1. Gruzdeva E.N. Opyt modernizacii predpriyatij pivovarennoj promyshlennosti [Experience of modernization of the brewing industry]. *Beer and drinks*, 2011.- №5.- P.4-5.

2. Dziędziński M., Stachowiak B., Kobus-Cisowska J. Supplementation of beer with *Pinus sylvestris* L. shoots extracts and its effect on fermentation, phenolic content, antioxidant activity and sensory profiles. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2023.- Vol. 63.- P. 10-17.

3. Katainen A., Uusitalo L., Saarijärvi H. Who buys non-alcoholic beer in Finland? Sociodemographic characteristics and associations with regular beer purchases. *International Journal of Drug Policy*, Vol. 113.- 2023.- P. 556-569.

4. Ghasemi-Varnamkhasi M., SaeidMohtasebi S, Ahmadi H. Classification of non-alcoholic beer based on aftertaste sensory evaluation by chemometric tools. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39.- 2012.-P. 4315-4327.

5. Hokonova M.B., Kazharov R.A. Razrabotka tekhnologii bezalkogol'nogo piva [Development of non-alcoholic beer technology]. *Innovative science*. 2015. -№3.- P.65-68.

6. Georg Krebs, Magdalena Müller, Thomas Becker, Martina Gastl. Characterization of the macromolecular and sensory profile of non-alcoholic beers produced with various methods. *Food Research International*, Vol. 116.-2019.-P. 508-517.

7. Ogannisyan V.G. Bezalkogol'noe pivo i tekhnologii ego polucheniya [Non-alcoholic beer and technologies for its production]. *Beer and drinks*, 2007. - No. 6. - P. 25-33.

8. Matvienko E.V. Sorgho kak pishchevaya kul'tura [Sorghum as a food crop]// *IACJ*, 2020.- №3.- P. 102-108.

9. Shakirov D.R., Krivov N.V. Ispol'zovanie zernovogo sorgho v kachestve solozhyonogo i nesolozhyonogo syr'ya pri proizvodstve piva [The use of grain sorghum as a malted and unmalted raw material in the production of beer]. *Bulletin of Science and Ed-*

ucation of the North-West of Russia, 2018.- No. 2. - P. 65-74.

10. Borisenko T.N. Tekhnologiya otrasli. Tekhnologiya piva [Industry technology. Technology of beer]/ Borisenko T.N., Kardasheva M.V. — Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry, 2014.- 122 p.

11. P. Othuke Akpoghelie, G. Iruoghene Edo, E. Akhayere. Proximate and nutritional composition of beer produced from malted sorghum blended with yellow cassava. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*.-2022, Vol. 45.- P. 235-246.

12. Kerimbayeva A., Iztayev A., Baigazyeva G. The impact of grain sorghum on the carbohydrate composition of wort for non-alcoholic beer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.- 2022, №5/11 (119).-P. 75–82.

13. Ramsey I, Yang Q, Ford R. Understanding the sensory and physicochemical differences between commercially produced non-alcoholic lagers, and their influence on consumer liking. *Food Chemistry: X*, Vol. 9,2021.- P. 789-796.

14. Kobelev K.V., Volkova T.N., Selina I.V. Nesaharomicetnye drozhzhi v proizvodstve slaboalkogol'nogo piva [Non-saccharomycete yeasts in the production of low-alcohol beer]. *Beer and drinks*, 2020.- No. 3.- P. 66-72.

15. Gasiński A., Kawa-Rygielska J., Spychaj R. Production of gluten-free beer brewing from sorghum malts mashed without external enzyme preparations. *Journal of Cereal Science*, Vol. 112.- 2023.- P. 256-266.

16. García-Puebla, E. Heredia-Olea, J. Pedro López-Córdova. Use of durum wheat (*Triticum durum* L.) with “yellow berry” as an alternative to malts in the production of ale-type beer: Physicochemical, quality of malts, and sensorial analysis. *Journal of Cereal Science*, 2023,Vol.109.- P. 445-462.

17. M. Zdaniewicz, A. Pater, A. Knapik. The effect of different oat (*Avena sativa* L) malt contents in a top-fermented beer recipe on the brewing process performance and product quality. *Journal of Cereal Science*, 2021, Vol. 101.- P. 325-336.

18. Prasad D. C, Vidyalakshmi R, Baskaran N, Tito Anand M. Influence of *Pichia myanmarensis* in fermentation to produce quinoa based non-alcoholic beer with enhanced antioxidant activity. *Journal of Cereal Science*,Vol. 103,2022.-P. 456-466.

19. Adamenko K., Kawa-Rygielska J. Characteristics of Cornelian cherry sour non-alcoholic beers brewed with the special yeast *Saccharomyces ludwigii*. *Food Chemistry*, Vol. 312,2020.- P. 789-796.

20. Кунце В. Технология солода и пива.[Technology of malt and beer].- СПб.: Профессия, 2009. - 912 p.

21. Аскарбеков Э.Б., Байгазиева Г.И., Кекибаева А.К. Ферментативная активность дрожжей, исследуемых для сбраживания сиропа сахарного сорго [Enzymatic activity of yeasts studied for the fermentation of sugar sorghum syrup]. *Ізденістер, нәтижелер – Research, results. No. 2 (78) 2018.- P.24-30.*