ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПИВА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ГОТОВОГО ПРОДУКТА. ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

THE USE OF STARCH-CONTAINING RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF BEER AND ITS INFLUENCE ON THE QUALITY OF THE FINISHED PRODUCT. REVIEW OF FOREIGN LITERATURE

УДК 663.32

DOI 10.24412/2658-3569-2021-10058

Бурак Леонид Чеславович, канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-6613-439X, директор Общество с ограниченной ответственностью «БЕЛРОСАКВА», г. Минск

Сапач Александр Николаевич, инженер-химик Общество с ограниченной ответственностью «БЕЛРОСАКВА», г. Минск

Burak L.Ch leonidburak@gmail.com

Sapach A.N aleksandr@belrosakva.by

Аннотация

Использование в пивоварении зерновых (пшеница, ячмень, кукуруза, рис, сорго, овес, рожь или просо), псевдозаков (гречиха, киноа или амарант) и клубней (сладкий картофель) в качестве добавок крахмалосодержащего сырья позволяет получать различные сорта высококачественного пива по составу и органолептическим показателям. Органолептические свойства полученного пива зависят от характеристик каждой добавки, а также от самой формы, в которых добавка внесена: цельнозерновые, крупа, солод, экструдированные

зерна или сироп. Добавление кукурузы или риса в виде экструдированных зерен позволяет получить в готовом пиве более высокое содержание ароматических соединений. Использование в процессе производства пива нетрадиционного сырья, таких как черный рис, гречка или сладкий картофель, приводит к увеличению содержания полифенолов в пиве и, следовательно, его антиоксидантной способности. Крупы, такие как кукуруза, рис, сорго или просо, являются наиболее перспективными для производства безглютенового пива. Применение добавок в пивоварении требует дополнительного использования новых ферментов, что влечет за собой дальнейшее развитие биотехнологии.

Annotation

The use in brewing of cereals (wheat, barley, corn, rice, sorghum, oats, rye or millet), pseudosacs (buckwheat, quinoa or amaranth) and tubers (sweet potatoes) as additives of starchy raw materials makes it possible to obtain various varieties of high-quality beer in composition and organoleptic indicators. The organoleptic properties of the resulting beer depend on the characteristics of each additive, as well as on the very form in which the additive is added: whole grains, cereals, malt, extruded grains or syrup. The addition of corn or rice in the form of extruded grains allows for a higher aroma content in the finished beer. The use of non-traditional raw materials in the beer production process, such as black rice, buckwheat or sweet potatoes, leads to an increase in the content of polyphenols in the beer and, therefore, its antioxidant capacity. Grains such as corn, rice, sorghum or millet are the most promising for the production of gluten-free beer. The use of additives in brewing requires additional use of new enzymes, which entails the further development of biotechnology.

Ключевые слова: пиво, солод, крахмалосодержащее сырье, сусло, сахара, добавки

Key words: beer, malt, starchy raw materials, wort, sugars, additives

1. Введение.

Зерновые злаковые культуры широко используются для производства алкогольных напитков, таких как пиво, водка, виски, бурбон и другие.

Пиво - классический алкогольный напиток, один из самых популярных во всем мире. Сырье и физико-химические процессы, которые происходят во время пивоварения (дробление затирание и брожение), влияют на содержание в готовом продукте аминокислот, углеводов, витаминов, минеральных и фенольных веществ. [1]. Основные полифенолы, которые содержаться в пиве, включают фенольные кислоты, флавоноиды, дубильные вещества, проантоцианидины и аминофенольные соединения. Данные вещества переходят в готовый продукт в основном из солода и хмеля, что значительно влияет на цвет, вкус и стабильность пива.

Основным сырьем для производства пива является ячменный солод, хотя другие солодовые или несоложеные злаки также используются вместе с ячменным солодом или вместо него [2]. Использование вспомогательных веществ может повысить уровень биологически активных соединений и придать пиву новые органолептические характеристики.

Добавки - это вещества, помимо солода, которые используются в качестве источника экстрактивности. Их используют потому, что они являются более дешевым экстрактивным сырьем в сравнении с солодом,при этом они придают готовому пиву полезные свойства. Например, они могут снижать уровни растворимого азота и полифенольных дубильных веществ в сусле, способствуя использованию солода с высоким содержанием азота (богатого белком) и менее чувствительного к помутнению. Чем выше процент добавок в заторе, тем труднее добиться хорошего извлечения экстракта, и, кроме того, это имеет тенденцию к увеличению вязкости сусла, снижению дренажа и снижению скорости брожения. Добавление растворимых сахаров в сусло увеличивает производительность варочного цеха и является простым методом производства сусла с высокой плотностью и регулирования ферментируемости сусла [3].

В дополнение к этим преимуществам, использование добавок для частичной замены ячменного солода позволяет воспользоваться доступностью сырья на местном рынке и зачастую снижать производственные затраты. Например, было показано, что использование 30% кукурузы в качестве добавки приводит к снижению общих затрат на производство пива на 8% [4,5].

В процессе пивоварения используется доступная овсяная (*Avena sativa* L.) и сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) мука для сокращения времени затирания из-за высокой растворимости (экстрагируемости) мелко измельченных злаков и, таким образом, снижения энергозатрат [6].

Учитывая все эти факторы, использование добавок в пивоварении является растущим рынком в Соединенных Штатах Америки Европе и РФ в настоящее время они используются при пивоварении 85–90% пива, производимого во всем мире .

Добавки обычно считаются альтернативными источникам ячменного солода, которые вносят ферментируемые сахара в пивоваренное сусло. Это определение включает несоложеное твердое сырье, жидкие добавки и солодовые злаки, кроме ячменя [7,8]. Микроэлементы, такие как железо, медь и цинк, важны из-за их роли в качестве кофакторов в метаболических и биосинтетических процессах, таких как ферментация пива.

2. Классификация добавок

Существует огромное разнообразие добавок, и их можно классифицировать по разным критериям В зависимости от того, в каком состоянии они находятся, они классифицируются следующим образом.

2.1. Твердые добавки

К ним относятся несоложеные злаки, несоложеные псевдозерновые и их производные, а также сахар-песок . Кроме того, в соответствии с общим составом к этой группе относятся солодовые злаки, кроме ячменя. В общем, твердые добавки могут иметь различный вид: цельнозерновые, манная крупа,

мука, хлопья, жареные или солодовые (в смысле солода, который отличается от обычного солода, используемого для приготовления пива) [9] .

2.2. Жидкие добавки

Обычно они вносятся на стадии кипения сусла. Как правило это производные сахарного тростника или производные сахарной свеклы, сиропы на основе сахарозы и сиропы с гидролизом крахмала, включая солодовые экстракты и сиропы из гидролизованных злаков [10].

Их также можно разделить на категории в зависимости от времени их внесения в процесс производства пива [11]. Соложеные добавки следуют за процессом соложения, который предшествует процессу пивоварения, в то время как несоложеные добавки могут быть добавлены на разных этапах процесса пивоварения.

Соответственно, несоложеные добавки также можно классифицировать следующим образом:

Добавки к заторным процессам: добавки, которые подвергаются гидролизу в процессе затирания с солодом или внешними микробными ферментами [12]. В эту группу входят амиловые добавки, среди которых:

Продукты, которые не обрабатываются, но которые можно смешивать вместе с помолом, так же, как пшеничная мука.

Продукты, перерабатываемые вне пивоварни, в том числе зерновые хлопья, микронизированные и обжаренные цельные зерна и крупы с жемчугом .

Необработанные продукты, требующие варки в варочном цехе во время процесса затирания, такие как манная крупа и мука из риса, кукурузы или сорго, или производные рафинированные крахмалы из этих ингредиентов [13].

Эта классификация связана с различиями в температурах желатинизации крахмалов, произведенных из различных источников. В случае добавления крахмала, желатинизирующегося при более высоких температурах по сравнению с солодовыми ферментами, требуется предварительная клейстеризация крахмала перед смешиванием добавки с суслом из сусла . Это

может быть достигнуто с помощью вспомогательного котла в варочном цехе, если используется затирание путем настаивания. Желатинизацию сырых зерен можно провести в заторном чане перед добавлением солодовых зерен с водой. Однако эта процедура увеличивает процесс производство сусла [14].

Добавки, которые не требуют гидролиза и могут быть непосредственно внесены в пивоваренное сусло на стадии кипячения можно разделить на две категории. Во-первых, разбавители сусла, в основном добавляющие только углеводы (такие как сахароза, инвертный сахар и сиропы гидролизованного крахмала), и заменители сусла, такие как экстракты солода и сиропы гидролизованных злаков. Эти вещества добавляют в технологический процесс углеводы и целый ряд других важных компонентов.

В таблице 1 представлен обзор основных типов добавок, которые сегодня широко используются в мировой индустрии напитков [15]. Очевидно, что разнообразие добавок, обычно используемых тем или иным пивоваренным предприятием, варьируется в зависимости от его конкретного местоположения.

Таблица 1. Основные виды добавок используемых в пивоварении.

форма сырья	Наименование сырья
Цельное зерно	Ячмень, гречка, кукуруза, сорго, тритикале, пшеница
Хлопья	Ячмень, кукуруза, рис, сорго
Микронизированнаые	Ячмень, кукуруза, овес, рис
Экструдированные хлопья	Кукуруза, рис, сорго, пшеница
Мука / крахмал	Кукуруза, картофель, рис, соя, сорго, пшеница
Сироп	Ячмень, кукуруза, картофель, сахароза, пшеница
Солод	Овес, рожь, сорго, пшеница
Солод из псевдозерновых	Гречка, киноа

Из-за большого разнообразия типов добавок, используемых в пивоваренной промышленности, в данной работе основное внимание уделяется крахмалистым добавкам. Проанализировано влияние добавок крахмала на органолептические и питательные свойства готового продукта.

3. Зерно ячменя и другие хлебные злаки: структура крахмала.

Ячмень - основное зерновое сырье, используемое при производстве пива. Важнейшей характеристикой качества зерна является его размер, поскольку производители солода качественный по размеру и составу ячмень [16]. В таблице 2. показано вариабельность содержания крахмала, амилозы, амилопектина и белка в зернах злаков.

Таблица 2. Диапазон общего содержания крахмала, амилозы (АМ), амилопектина (АП) и белка в пяти преобладающих зернах хлебных злаков [17].

Вид зерновых	Крахмал (%)	АМ (%)	АП (%)	Содержание белка
Ячмень	50–60	22–27	78–73	8-20
Кукуруза	75–80	24–31	76–69	6-10
Рис	75–87	23–30	77–70	6-10
Сорго	65–75	22–27	78–73	6-15
Пшеница	65–70	22–27	78–73	9-20

Содержание крахмала является определяющим фактором качества в зерновых культурах, однако взаимосвязь между вариациями в структуре крахмала и его влиянием во время обработки еще полностью не исследована. Недавно Balet и другие исследовали крахмальные свойства выращиваемых в Южной Африке сортов пивоваренного ячменя. В этом исследовании не было обнаружено различий в содержании амилозы, однако наблюдались вариации в распределении длин амилозной цепи, хотя все ячменя демонстрировали сходные параметры гранул. Более длинная цепь амилазы приводила к повышению температуры склеивания. Изменения в структуре крахмала не наблюдались при

изменении содержания и могли влиять на эффективность ферментации за счет изменения ферментируемых сахаров, гидролизованных из крахмала [18].

Содержание крахмала в ячмене ниже, чем в других злаках . Независимо от содержания крахмала от 55% до 60%, несколько переменных крахмала, таких как содержание амилопектина и амилозы или соотношение амилопектин: амилоза крахмала, являются результатом изменения структуры крахмала, например скорости разветвления амилопектина, и длина амилозной цепи [19].

Что касается использование ячменя для качественного солода, особенно важными являются крупный размер ядра и содержание белка (от 9% до 13% в пересчете на сухое вещество). Содержание крахмала было в значительной степени связано с размером ядра, подтверждая что более крупные ядра ячменя обычно содержат значительно больше крахмала и более крупные молекулярные размеры амилозы и более длинные амилозные цепи [20]. Некоторые добавки могут обеспечивать дополнительную ферментативную активность. Однако гидролиз дополнительного крахмала, необходимого для ферментации, почти полностью зависит от ферментов в солоде.

Существуют значительные различия в содержании крахмала, амилозы и амилопектина в зависимости от злаков, используемых при производстве пива, а также есть различия в структуре крахмала в этих злаках с аналогичными пропорциями в отношении длины амилозной цепи, степени разветвления амилопектина и длины амилопектиновой цепи. Важно отметить, что амилопектин является преобладающим компонентом злаков, в нем в три-четыре раза больше белка [21].

4. Приготовление сусла с добавлением несоложенного сырья

Процесс приготовления сусла с добавлением несоложеных злаков - серьезная проблема, поскольку необходимо детальное понимание всех

факторов, которые ограничивают возможность внесение большего количества несоложеных материалов, а также их влияние на весь технологический процесс.

Когда вносят большие количества необходимо учитывать функциональные возможности пивоварения и технологичность затора, не должно быть отрицательного воздействия на качество готового пива. [22]. Основная проблема с точки зрения технологичности при добавлении несоложеных материалов заключается в снижении активности амилолитических, цитолитических и протеолитических ферментов в заторе, поскольку эти ферментные системы активизируют свою работу и синтезируются во время операции затирания. Действие этих трех ферментных систем, возникающих во время соложения и затирания, влияет на химический состав сусла и эффективность извлечения пивоваренного экстракта [23]. Недостаточная ферментативная активность и вариации в составе несоложеных добавок могут оказать влияние на вкусовые свойства пива. Однако это влияние на аромат и вкус готового пива еще детально не изучено.

Принимая во внимание вышесказанное, следует отметить, что используемые добавки в производстве пива обычно оказывают свое влияние на первые стадии производственного процесса.

После дробления пивоваренного солода из ячменя в это же время можно добавить другие злаки, которые планируют использовать в технологическом процессе, если они еще не помолоты. Добавки, такие как кукуруза, рис, пшеница, несоложеный ячмень или сорго, являются подходящим сырьем для производства пива. Тем не менее, если дополнительный крахмал имеет температуру желатинизации превышающую оптимальную температуру активности β-амилазы, составляющую около 62 ° С, как в случае с кукурузой, рисом и сорго, его необходимо сначала желатинизировать и кипятить отдельно от сусло в зерноварке [24]. Если добавка находится в не измельчаемой форме, такой как прежелатинизированные хлопья или сироп, ее добавляют на следующем этапе процесса.

Таблица 3. Характеристики крахмалистых добавок, используемых на пивоварнях [25].

Сырье	Температура клейстеризации (° C)	Доп. экстракт (%)	Экстракт солода (%)	Диастатическая мощность (единицы WK)
Пшеница	52–66	75	85,7	405
Ячмень	58–66	70	76–88	200–416
Кукуруза	62–80	78	68–68,75	77
Рис	67–91	84	64,3–77,8	19–62
Сорго	69–80	82	68, 0	72–101
Овес	52,6–62	72	62,1	82–124
Рожь	50–62	74	89,2	177
Просо	54–80	ст. отклонение	59,6–68,9	40–61
Гречиха	65,4–72	ст. отклонение	61,9–65,3	72
Киноа	64	ст. отклонение	37,7	61
Амарант	64–74	ст. отклонение	88,6–91,1	Ст. отклонение

Впоследствии во время затирания происходят биохимические изменения, такие как клейстеризация крахмала и активность ферментов, разлагающих крахмал. Двумя важными целями этих стадий являются максимальное желатинизация и последующий гидролиз крахмала до сбраживаемых сахаров. Оба процесса сложны и зависят от множества переменных затирания [26].

Ферменты ячменного солода очень активны в отношении крахмала и белков во время затирания. Несоложеное зерно влияет на время затирания и температуру, используемую в процессе затирания.

На скорость гидролиза крахмала во время затирания влияют различные параметры, такие как температура, качество воды, размер зерна и pH, а также продолжительность затирания. Существует несколько диапазонов времени и

температуры затирания; однако все они имеют главную цель - желатинизировать крахмал и оптимизировать ферментативную активность [27].

Температура - самая важная переменная в процессе затирания. Понимание его важности имеет решающее значение для прогнозирования характеристик конкретного затора [28]. Повышение температуры затора может быть полезным, поскольку оно ускоряет скорость всех ферментативных реакций, снижает вязкость, желатинизирует крахмал и ускоряет диффузию и растворение. Однако это повышение температуры также ускорит денатурацию всех ферментов, а увеличение скорости растворения может привести к экстракции нежелательных веществ (например, дубильных веществ) в солод. Следовательно, температура затора должна быть достаточно высокой для достижения полной желатинизации, но также и достаточно низкой, чтобы не разлагать различные амилолитические ферменты очень быстро [29].

PH затора (обычно означает начальный pH затора, поскольку pH редко, если вообще когда-либо, контролируется во время процесса затора) также имеет фундаментальное значение для производительности затора, но его влияние менее известно. Этот пробел в знаниях усугубляется тем фактом, что диссоциация кислоты увеличивается с ростом температуры, поэтому измеренное значение pH образца зависит от температуры образца во время измерения. Как правило, pH сусла находится в диапазоне 4,6–5,8.

В процессе затирания поддерживается pH около 5,5, чтобы обеспечить оптимальную активность амилазы. Контроль pH во время затирания будет играть решающую роль во времени затирания и конверсии зерна, и при использовании несоложенного зерна следует проводить мониторинг.

Использование добавок не сильно влияет на другие этапы процесса производства пива.

Соответствующими характеристиками сусла являются содержание азота (общий растворимый азот, TSN) и состав (свободный аминный азот, FAN), pH, а также концентрация и состав сбраживаемых сахаров. Все эти свойства

развиваются в заторе и влияют на ферментацию. Использование несоложеного зерна влияет на все эти качества [30].

5. Крахмалосодержащие добавки используемые в пивоварении, и их влияние на сенсорные и питательные свойства пива.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО) сообщает, что среди злаковых и псевдозерновых есть 11 добавок крахмала, которые широко применяются в пивоварении. К злакам относятся пшеница, ячмень, кукуруза, рис, сорго, овес, рожь и просо, а к псевдозернам - гречка, киноа и амарант.

В частности, в этот обзор включен сладкий картофель (*Ipomoea batatas*), поскольку он состоит в основном из крахмала и сахаров на 80–90% своего сухого вещества и обладает отличными свойствами для использования в качестве добавки в пивоваренной промышленности [31].

Сводная информация о добавках крахмала, используемых в пивоваренной промышленности, их корреляции с типом пива и общим влиянием на сенсорные и питательные свойства пива представлены в таблице 4.

Таблица 4**.** Добавки крахмала, используемые в пивоварении, корреляция с типом пива и влияние на сенсорные / питательные свойства [3,13,22,30,32,33,34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45].

Крахмалосодержащее сырье	Вид сырья	Тип пива	Влияние на органолептические показатели
Пшеница	Шоколадный солод Crystal Malt Темный солод	Эль / Лагер	Более выраженный солодовый аромат Темный цвет более насыщенный

	Пшеничная мука	Эль	Бледный цвет Низкая устойчивость пены Повышенная интенсивность запаха зерна
Ячмень	Молотый ячмень	Лагер	Бледный цвет Более интенсивный горький вкус Более терпкий
Кукуруза	Кукурузный солод	Эль	Слегка горьковатый вкус Менее стабильная пена
	Голубой кукурузный солод	Лагер	Более высокое содержание антоцианов
	Измельченная кукуруза	Лагер	Бледный цвет Снижение содержания полифенолов Снижение антиоксидантной активности
Рис	Светлый рисовый солод	Эль / Лагер	Легкий аромат ванили Густая пена Плоский сенсорный профиль
	Карамельный рисовый солод Темный рисовый солод	Эль	Потемнение цвета (янтарный цвет) Повышенная интенсивность ароматов солода, карамели и ванили Повышенная антиоксидантная активность
Сорго	Сорго солод	Эль / Лагер	Слегка терпкий вкус Фруктовые ароматы Более темный цвет

Овес	Овсяный солод	Лагер	Фруктовые ароматы Ягодный вкус Меньшая стабильность пены
	Измельченная овсянка	Лагер	Улучшенный аромат и чистота вкуса Сниженная стабильность пены Более темный цвет
Рожь	Crystal Malt Pale Malt Поджаренный солод	Эль	Характерный кисло-пряный вкус Более сильный вкус Темнее пиво
Просо	Пшенный солод (жемчужное пшено, пальмовое пшено)	Лагер	Затемняет цвет дрожжевой аромат.Вкус сырого зерна
	Солод Teff	Эль	Солодовый характерный вкус Бисквитные, ванильные и зерновые ноты
	Измельченный теф	Эль	Фруктовый оттенок Банановый, яблочный аромат
Гречиха	Гречишный солод	Лагер	Более темный цвет Ореховый вкус Повышенная антиоксидантная активность
Киноа	Солод из киноа	Лагер	Цвет почти черный Сероватая пена

			ароматы поджаренного хлеба Ореховый вкус
	Хлопья киноа	Лагер	Более темный цвет Более высокая концентрация основных минералов (Mg^{2+} и Ca^{2+})
Амарант	Молотый амарант	-	Увеличение соотношения Mg^{2+} и Ca^{2+} . Увеличение Zn^{2+} и Mg^{2+} содержания
Сладкий картофель	Хлопья сладкого картофеля Beauregard	Эль	Повышенное содержание β-каротина Повышенная антиоксидантная активность
	Фиолетовые хлопья сладкого картофеля	Эль	Розовый цвет Повышенное содержание антоцианов Повышенная антиоксидантная способность

В процессе применения добавок переход от одной к другой вызывает различные проблемы. Помимо риска изменения характера пива, изменение добавок с одной на другую может повлечь за собой необходимость модификации оборудования пивоварни. Например, необходимая установка для обработки сиропов в варочном цехе полностью отличается от установки, необходимой для любых других добавок вносимых в затор, а оборудование, необходимое для обработки муки, хлопьев и крупы также имеет свои отличия. Важно проанализировать свойства каждой добавки для использования в пивоварении и посмотреть,

сопоставимы ли они с характеристиками ячменного солода, который является основным зерном, используемым для пивоварения.

Поскольку добавки являются крахмалистыми они также обеспечат сусло дополнительным крахмалом в качестве источника сбраживаемых сахаров. Крахмал состоит из двух полимеров: амилозы (неразветвленные цепи α-D-глюкозы) и амилопектина (разветвленные цепи α-D-глюкозы). Гидролиз крахмала приводит к образованию сбраживаемых сахаров (глюкозы, мальтозы и мальтотриозы). Дальнейший гидролиз крахмала эффективно включает в себя активности гидролаз α-1,4-разветвлений и α-1,6-разветвлений, при этом эндоамилазы (α-амилазы) и экзоамилазы (β-амилазы) разрушают только α-1,4-связи, глюкоамилазы и α-глюкозидазы, проявляющие активность α-1,4-разветвления и α-1,6-разветвления [46, 47].

Важно знать процентное содержание экстракта зерна и диапазон температур его желатинизации. Диапазон температур желатинизации будет важен для стадии затирания, поскольку в зависимости от диапазона, зерно можно размять вместе с солодом (как в случае с пшеницей или ячменем) или его необходимо будет предварительно обработать в другом сосуде (рис. или кукуруза).

Внесение добавок в заторный чан обычно приводит к снижению содержания экстракта в сусле. Пониженные уровни солода в сусле производят меньший набор ферментов, участвующих в гидролизе компонентов солода, таких как крахмал или белки, а также компоненты клеточной стенки [48]. Тем не менее, в высококачественном солоде имеется небольшой избыток ферментов, которые также могут разлагать соединения, введенные добавками.

Желатинизация крахмала, проводимая при более высоких температурах по сравнению с традиционным затором, также способствует разложению крахмала амилолитическими ферментами. Использование пшеницы, овса или сырого ячменя в количествах более 20% без применения дополнительного внесения ферментов приводит к более низкому содержанию экстракта в сусле и, как следствие, к снижению конечного содержания алкоголя в пиве.

Большинство зерен имеют клейстеризованный крахмал в диапазоне нормального высокотемпературного затирания (63–70 ° C). Когда гранулы крахмала разбухают и разрушаются, они становятся восприимчивыми к быстрой ферментативной атаке (т.е. желатинизируются) при температурах, достаточно низких для того, чтобы солодовые ферменты оставались активными, и, следовательно, они не требуют предварительной обработки (например, пшеничной муки). Однако если крахмал имеет высокую температуру клейстеризации (например, кукуруза), материал необходимо предварительно подвергнуть тепловой обработке при высокой температуре, чтобы клейстеризовать крахмал (либо путем шелушения, либо в фильтре на пивоваренном заводе) перед его смешиванием с основным ингредиентом. солодовое сусло при температуре, при которой солодовые ферменты могут быть активными.

В-амилаза чаще всего имеет растительное происхождение, однако также есть и некоторые микробные β-амилазы. В-амилаза может быть синтезирована бактериальными штаммами, принадлежащими к *Bacillus* , *Pseudomonas* и *Clostridium* spp и штаммами грибов, принадлежащих *Rhizopus* и *Volvariella volvacea*. Некоторые культуры, такие как соя, сладкий картофель и ячмень, имеют высокое содержание β-амилазы [49, 50]. Одной из наиболее востребованных характеристик амилаз является термостабильность, которая играет важную роль, поскольку крахмал начинает растворяться при высокой температуре (100 ° C) и в кислых условиях (pH 4,5–5,5). Ранее было документально подтверждено, что различные микробы продуцируют термостабильные ферменты, особенно амилазы, которые также могут быть активными при высоком и низком pH.

В-амилазы расщепляют две связанные молекулы глюкозы на восстанавливающем конце цепи, а α-амилазы случайным образом гидролизуют α-1,4-связи крахмала. А-амилазы - самые термостабильные ферменты, расщепляющие крахмал [51].

Последний важный момент, который следует учитывать, - это содержание свободного аминного азота (FAN). Значения FAN должны быть достаточно высокими, так как недостаток азотсодержащих питательных веществ для дрожжей ограничивает брожение. FAN также не должен быть слишком высоким, так как большая концентрация может способствовать появлению неприятного запаха из-за реакций Майяра.

5.1. Хлопья

5.1.1. Пшеница (*Triticum aestivum* L.)

Пшеница - одна из зерновых культур, которая имеет самую длительную историю использования ее в качестве исходного сырья для производства солода и пива. Поскольку зерна пшеницы не шелушатся, они быстрее впитывают воду и обладают более высокой диастатической силой, чем ячмень, что позволяет сократить время затирания. Кроме того, пшеничный солод имеет более высокую активность α-амилазы, более высокое содержание экстракта, чем ячмень, и обычно богат свободным аминным азотом,что способствует правильному развитию брожения. [7]. Что касается использования несоложеной пшеницы, было обнаружено, что при низких пропорциях (менее 20%), несмотря на небольшое снижение содержания FAN, получается пиво лучшего качества. По этим причинам соложеные и несоложеные зерна пшеницы (пшеничная мука, обжаренная пшеница или пшеничный крахмал) широко используются в пивоваренной промышленности. Зерно тритикале соответствует зернам, которые имеют сходство с мягкой пшеницей. Зерно тритикале представляет собой гибридизацию пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и ржи (*Secale cereale* L.), и его солод характеризуется высокой диастатической силой, коротким временем осахаривания и высокой экстрагируемостью. Эти свойства означают, что солод Triticale имеет высокий потенциал для использования в качестве заменителя ячменного солода для производства европейского лагерного пива [52, 53].

Как правило, пшеничное пиво, обычно элевое пиво, имеет сильный солодовый компонент и, как правило, обладает гораздо более выраженным

ароматическим вкусом, чем лагерное пиво. Один из его компонентов, 4-винилгуаякол, отвечает за фенольные ароматы . Что касается пшеничного солода (светлого, жареного и копченого), из него обычно получается пиво немного темнее, с большей интенсивностью вкуса и запаха и более плотной консистенцией, чем пиво, сваренное с ячменным солодом. Другие отчетливые изменения наблюдаются при использовании несоложеной пшеницы. Например, использование пшеничной муки приводит к получению более прозрачного пива, более высокого содержания алкоголя и более низкой стабильности пены по сравнению с пивом, сваренным из 100% ячменного солода. Кроме того, изменяются органолептические показатели: сильнее запах зерна, больше консистенции, меньше терпкости и горечи, чем у пива из 100% ячменного солода [30, 31].

Солод из старых сортов пшеницы, таких как Einkorn, показал более высокое содержание полифенолов и большую антиоксидантную активность, чем новые сорта пшеницы, такие как мягкая пшеница, по сравнению с несоложеным ячменем и немного ниже, чем ячменный солод. что делает его сырьем для производства пива с более высокой антиоксидантной активностью [54, 55].

5.1.2. Ячмень (*H. vulgare* L.)

Основным недостатком несоложеного ячменя является то, что несоложеное зерно грубое и трудно измельчаемое, поэтому в результате образуется значительная доля муки, что приводит к серьезным проблемам при фильтраци. Чтобы свести это к минимуму зерно часто применяют для желатинизации крахмала (например, шелушение или экструзия), что облегчает извлечение β-глюканов и пентозанов во время затирания и улучшает фильтрацию после затирания [56]. С другой стороны, высокий уровень замещения ячменного солода несоложеным ячменем обычно приводит к недостаточному количеству ферментов в процессе затирания, которые необходимы для гидролиза крахмала, белков и β-глюканов. Поэтому используют дополнительно смеси ферментов.

С точки зрения питания, использование 100% несоложеного ячменя в пивоварении приводит к более чистому конечному продукту с разницей более чем в 2 единицы EBC (European Brewery Convention), с меньшей консистенцией и вкусовыми ощущениями и лучшей стабильностью пены. При использовании несоложеного ячменя в пропорции 90% наблюдаются заметные изменения горького вкуса (более вяжущий).

Более низкие доли несоложеного ячменя (от 50 до 75%) улучшают окислительную стабильность пива. В частности, после одного месяца хранения наблюдается замедление развитие соединений (3-метилбутаналь, 2-метилбутаналь), вызывающие старение пива [31].

5.1.3. Кукуруза (*Zea mays* L.)

Кукуруза широко используется в качестве добавки в процессе пивоварения для повышения качества сусла и готового пива. Кукуруза - отличный источник полезных углеводов,кроме того за счет низкой цены снижается общая себестоимость. Кукуруза имеет высокую температуру клейстеризации крахмала и несколько низкую активность α-амилазы (в несколько раз выше, чем у сорго, но ниже, чем у рисового солода) [57]. Поскольку процесс соложения кукурузы сложен и дорог и, по сути, не очень широко используется в пивоварении манная крупа кукурузы или рафинированный крахмал является наиболее часто используемой формой кукурузы в качестве добавки Кукуруза может использоваться в качестве добавки в пивоварении разными способами: в виде крупы, муки, крахмала, вспученной крупы, экструдированной крупы, кукурузного сиропа и т. д. [58].

С пищевой и сенсорной точки зрения кукурузные добавки обычно добавляют специфические ароматы попкорну и сладкому кукурузоподобному пиву из-за присутствия 6-ацетилтетрагидропиридина, 2-ацетил-1-пирролина и его аналога 2-пропионил-1-пирролина [58]. Согласно исследованию, опубликованному Diakabana и др. в 2013 г. [59] использование кукурузного солода привело к получению пива с более низким содержанием алкоголя, слегка

горьковатым вкусом и более низкой стабильностью пены, чем пиво, сваренное с ячменным солодом, из-за высокого уровня ненасыщенных жирных кислот в кукурузе. Кукуруза также влияет на цвет и вкус пива. Фактически, цвет пива уменьшается на одну единицу цвета EBC при каждом добавлении 10% измельченной кукурузы в пивоварение . Другие типы добавок, такие как кукурузная мука, в пропорции ниже 20%, положительно влияют на качество пива, а сенсорные аспекты, такие как запах зерна, сладость, горечь и аромат, более ценятся в пиве с кукурузными добавками, чем в пиве без кукурузы.

Использование кукурузы в качестве добавки несколько снижает общее содержание полифенолов . Сообщается, что в 2011 году Fumi и др. [32, 57], показали, что пиво, содержащее кукурузу в качестве добавки, обеспечивает 10–20% общего рекомендуемого суточного потребления фенолов (1 г / день) и составляет около 4–8% общей антиоксидантной способности рациона. Помимо традиционных кукурузных солодов, использование солода из пигментированных сортов кукурузы (например, сорта Chalqueño)обеспечивает в пиве более высокое содержание антоциана (цианидин-3-глюкозид или катехин), чем в пиве, сваренном из непигментированных сортов кукурузы.

5.1.4. Рис (*Oryza sativa* L.)

Рис - одна из важнейших зерновых культур, используемых в качестве добавки при пивоварении. В настоящее время существует широкий спектр разновидностей риса, каждый из которых обладает определенными характеристиками, и не все разновидности подходят для использования в пивоварении. Например, короткозернистый рис предпочтителен, потому что средние и длинные зерна могут вызвать проблемы с вязкостью. В современной пивоваренной промышленности рис в основном используется как несоложеная добавка в сочетании с ячменным солодом, так как он может значительно повысить содержание экстракта в фазе затирания Разница в структуре и составе риса и ячменя требует оптимизации условий для соложения и затирания. Действительно, рисовый солод имеет низкую диастатическую

способность (DP) и высокую температуру желатинизации. Кроме того, амилолитическая активность риса значительно ниже, чем у ячменя, и из-за повышенного содержания свободных ненасыщенных жирных кислот рис наиболее чувствителен к окислению, что может привести к появлению несвежего запаха. В связи с этими факторами, в качестве несоложеного добавочного продукта лучше всего использовать рис, а не рисовый солод, и наиболее часто используемыми типами рисовой добавки являются рисовая манная крупа, хлопьевидный рис, экструдированный рис, рисовая мука и рисовый крахмал [60].

Рис обеспечивает сбалансированный аромат и нейтральный вкус, а его несоложеная добавка в пивоварении дает легкое сухое пиво с приятным вкусом. Кроме того, пиво с высоким содержанием несоложеного риса имеет более высокую коллоидную стабильность. Пиво из рисового солода по содержанию алкоголя аналогично пиву из ячменного солода (3,5–5,1%). Органолептический анализ выявляет бледно-желтый цвет пива с легким привкусом ванили во вкусе. Сенсорный профиль рисового солодового пива сопоставим с сенсорным профилем солодового ячменного пива с точки зрения аромата, вкуса и ощущения во рту, хотя и более нейтральный [60]. Исследование, проведенное с целью улучшить этот профиль, было опубликовано Ceccaroni et al. в 2018 году [34]. При варке пива из специальных рисовых солодов, таких как карамельный и темный солод, получается пиво, похожее по цвету на пиво, сваренное с карамельным и шоколадным ячменным солодом (карамельный солод и шоколадный солод), а также усиливается присутствие солодовых, карамельных и ванильных ароматов.

Что касается питательных и сенсорных свойств, традиционное пиво из рисового солода, обычно потребляемого в Индии, демонстрирует сильную антиоксидантную активность благодаря высокому содержанию шести фенольных соединений (галловая кислота, катехин, кофейная кислота, п-кумаровая кислота и салициловая кислота). . Эти соединения обладают

противоопухолевым, антидиабетическим, противоаллергическим, противораковым и противовоспалительным действием [61], и согласно исследованию Handique et al. [62], потребление этого сорта пива в умеренных количествах может благоприятно влиять на здоровье человека. Помимо рисового солода, использование риса в качестве добавки также улучшает питательные свойства конечного пива. Исследование Zhang et al. опубликованная в 2019 году, показала, что использование экструдированного черного риса обеспечивает в пиве более высокое содержание незаменимых аминокислот, чем те, которые присутствуют в пиве лагер (светлое или темное).

5.1.5. Сорго (*Sorghum bicolor* L.)

В Африке и Азии сорго используется для производства традиционных алкогольных и безалкогольных напитков; алкогольные напитки, такие как импеке, кафрское пиво, тала, бурукуту, вино из сорго и пито, а также безалкогольные напитки, такие как кунудзаки, являются популярными [63]. Использование сорго в качестве альтернативы ячменному солоду важно при производстве всех видов пива (эль и лагер) [64]. При пивоварении с сорго-солодом существуют некоторые проблемы, связанные с его плохой диастатической активностью (недостаточной для полного осахаривания), повышенной температурой желатинизации и пониженным содержанием FAN. Сорго показывает низкую активность β-амилазы, но значительно более высокую активность α-амилазы, чем ячменный солод. Это приводит к низкому производству сбраживаемых сахаров и высокому содержанию декстрина, что приводит к увеличению вязкости. По этим причинам производство пива, сваренного из высококачественного сорго, требует добавления экзогенных ферментов и является экономически невыгодным [65]. Шрот сорго или экструдированное сорго также можно использовать только в качестве добавки [66].

Что касается питательных и сенсорных свойств, пиво из сорго-солода, традиционно производимое в Африке, имеет относительно низкую

концентрацию алкоголя, слегка кислый вкус из-за образования молочной кислоты и дает легкое горькое или вяжущее ощущение. В частности, в случае с сорго в пиве могут наблюдаться некоторые сенсорные различия в зависимости от того, какие сорта сорго используются - красные или белые. Красные сорта имеют более высокое содержание танинов, что способствует большей терпкости и горечи, в то время как белые сорта придают более сладкий кукурузный вкус. Что касается несоложеного сорго, то вкусовые качества лагеров, содержащих до 50% зерна сорго, аналогичны таковым у пива, сваренного из 100% ячменного солода, хотя они имеют более низкую стабильность пены. Schnitzenbaumer et al. опубликовали исследование двух сортов пива с 40% несоложеного сорго (один красный и один белый сорт) и в обоих случаях получили очень похожие оценки со 100% ячменным солодовым пивом по сенсорным аспектам, таким как аромат, вкус, консистенция и горечь. Сорго является прекрасным источником белков, витаминов группы B, минералов и компонентов, способствующих укреплению здоровья, таких как фенольные антиоксиданты, волокна и воски, снижающие уровень холестерина [67, 68].

5.1.6. Овес (*Avena sativa* L.)

Овес в основном используется в качестве добавки в пивоварении и в последнее время приобрел большое значение, потому что он придает пиву уникальные органолептические характеристики и может использоваться для производства пива, подходящего для больных целиакией [37]. Овсяный солод имеет более низкую диастатическую силу (DP), температуру желатинизации и активность α-амилазы, чем ячмень, а также высокий уровень глюканов. Все эти характеристики означают, что использование 100% овсяного солода для пивоварения приводит к низкому содержанию экстракта (из-за низкого DP), низкому содержанию спирта и более высокой вязкости и мутности, вызывая проблемы с фильтрацией из-за высокого уровня глюкана. С другой стороны, использование несоложеного овса в различных пропорциях (до 40%) приводит к более высокой вязкости сусла по мере увеличения количества добавки

[69]. Несмотря на эти недостатки, добавление экзогенных ферментов при добавлении несоложеного овса в пропорциях более 20% или использование различных типов добавок, таких как овсяная мука значительноснижает эти недостатки [70]. В заключение следует отметить, что стратегия использования овсяного солода в пивоварении зависит от используемых ферментных смесей, а в случае несоложеного овса важен выбор конкретных культур или их предварительная обработка.

Принимая во внимание питательные и сенсорные характеристики, пиво, сваренное из 100% овсяного солода, имеет ягодный вкус и аромат, а также низкую стабильность пены по сравнению с пивом из ячменного солода.

5.1.7. Рожь (*Secale cereale* L.)

Применение зерна ржи в пивоварении в основном связано с сухими, острыми и вяжущими характеристиками зерна и тем, что оно является источником биологически активных соединений (фенольных кислот, лигнанов и алкилрезорцинов) [71]. Ржаной солод, полученный стандартными методами, отличается очень высокой вязкостью, поскольку содержит большое количество экстрагируемых водой арабиноксиланов. Однако этот недостаток можно преодолеть, используя увеличенное время прорастания, которое также увеличивает активность амилолитических и протеолитических ферментов. По сравнению с ячменем, ржаной солод имеет более высокий уровень экстракта и ферментов, разлагающих крахмал (в основном α-амилазы), чем ячменный солод, поэтому его часто смешивают с другими солодовыми злаками для увеличения процентного содержания сбраживаемого экстракта [39].

Принимая во внимание питательные и сенсорные характеристики, ржаной солод обычно дает приятное пиво темного цвета, в основном из-за его более высокой мутности. О сенсорных характеристиках ржаного солода собрано немного информации. Однако, как опубликовал Wang в 2017 году [39], различные разновидности ржаного солода, представленные на рынке (светлый солод, жареный солод и кристаллический солод), придают готовому пиву

пряный и терпкий характер. Что касается несоложеного ржаного зерна, было замечено, что пиво, сваренное из 100% несоложеной ржи, снижает цвет и яркость цвета, а также дает более высокие уровни спирта и сложных эфиров по сравнению с пивом из солодового ячменя .

5.1.8. Просо (*Eleusine coracana* L. Gaertn., *Pennisetum glaucum* L. и *Eragrostis tef* (Zuccagni))

Просо используется в качестве замены сорго и ячменного солода при варке африканского крафтового пива, обычно называемого непрозрачным пивом. Чаще всего используются просо пальмовое (*Eleusine coracana* L. Gaertn.) и перловое (*Pennisetum glaucum* L.) [72]. Основные технические проблемы использования проса для производства пива состоят в его небольшом размере (что препятствует водопоглощению при замачивании), низкой диастатической силе (DP) и низком выходе экстракта . Эти факторы заставляют оптимизировать процесс соложения, а вкусовые качества готового пивного продукта сильно различаются. Его часто комбинируют с другими зернами солода, чтобы компенсировать этот недостаток.

С точки зрения питательных и сенсорных свойств, использование проса обеспечивает получение более темного пива с сенсорными свойствами, отличными от таковых у стандартного пива [73]. Пшенное пиво демонстрирует лучшую стабильность пены, чем пиво, произведенное из сорго и ячменного солода, вероятно, из-за высокого содержания танинов [74]. Одним из наиболее интересных подвидов проса для пивоварения является Teff (*Eragrostis tef* (Zuccagni)), который, помимо отличных питательных свойств (антиоксидантный потенциал и высокие концентрации минералов) и полезных свойств, придает пиву уникальные органолептические свойства. Teff используется как сырой ингредиент безглютенового пива, функциональных напитков и других безглютеновых продуктов [75]. Из всех подвидов проса жемчужное просо (*Pennisetum glaucum* L.) считается видом, который придает лучшие вкусовые качества поскольку оказывает меньшее влияние на

органолептические показатели пива (внешний вид, вкус, консистенцию и аромат) [76].

5.2. Псевдозерновые

5.2.1. Гречка (Fagopyrum Esculentum Moench)

Гречка хорошо подходит для использования в качестве сырья в пивоварении, особенно для использования при производстве безглютенового пива. Однако при варке гречишного солода необходимо учитывать некоторые технологические аспекты. Гречишный солод обладает пониженной амилолитической активностью и выходом экстракта, пониженной скоростью фильтрации, связанной с высокой вязкостью сусла и проблемами ферментации [2]. Следовательно, необходимо использовать дополнительные ферменты, чтобы сбалансировать низкую активность ферментов и обеспечить полное осахаривание затора. Рекомендуется использовать гречку в сочетании с другими солодами или с добавлением ферментов.

Принимая во внимание питательные и сенсорные характеристики, пиво, сваренное из 100% гречишного солода, приобретает особый ореховый привкус, имеет более темный цвет и более низкое содержание алкоголя, чем пиво из ячменного солода . Ароматические соединения, присутствующие в гречишном пиве, находятся в диапазоне ячменного солода, за исключением метанола, 2-метилбутанола и 3-метилбутанола. Использование меньшего количества гречишного солода (20–40%) дает вкус, сравнимый с пивом, сваренным из 100% солодового ячменя, хотя интенсивность горечи немного выше, вероятно, из-за полифенолов и белков гречишного солода. Параметры качества пива не изменяются, в результате получается пиво приемлемое с точки зрения вкуса, запаха и вкуса [2].

Гречиха - единственное псевдозерновое, которое содержит рутин, флавоноид, обладающий, среди прочего, антиоксидантным, противовоспалительным и антиканцерогенным действием [77]. В частности, ему приписывают более высокую антиоксидантную активность, чем аскорбиновая

кислота или хальконарингенин. Было обнаружено, что использование гречишного солода в пивоварении лагеров позволяет получать пиво, обогащенное рутином. Это пиво характеризуется относительно высокой антиоксидантной способностью и окислительной стабильностью при принудительной выдержке по сравнению со 100% ячменным солодовым пивом [2]. Увеличению общего состава полифенолов и следовательно, антиоксидантной активности пива способствуют более мягкие условия во время соложения [78].

5.2.2. Киноа (Chenopodium Quinoa Willd)

Киноа вызывает растущий интерес во всем мире благодаря своей уникальной пищевой ценности , а интерес для пивоварения заключается в том, что она считается функциональной пищей из-за высокого содержания общих фенолов, высокой антиоксидантной активности и высокого содержания минералов и витаминов [79]. Недостатки киноа для использования в пивоварении: низкая ферментативная активность, низкий выход солодового экстракта и длительное время осахаривания, поэтому требуется разрабатывать дополнительные процедуры в ходе использования и вносить экзогенные ферменты.

Что касается питательных и сенсорных свойств, солодовое пиво из киноа имеет отличительный внешний вид от обычного пива из-за его почти черного цвета, орехового аромата, сероватой пены и терпкого вкуса. В профиле летучих соединений выделяются пиразины, которые улучшают восприятие запаха за счет придания тостов и ореховых ароматов. Напротив, на вкусовое восприятие негативно влияет высокое содержание катионов металлов и аминокислот. Что касается несоложеного сырья киноа, то ее использование в пропорции до 40% не придает пиву неприятных тонов и даже положительно влияет на его вкусовые качества в целом. Согласно исследованию Кордиалик-Богачка и соавт. опубликовано в 2018 году, все органолептические показатели (аромат, вкус, ощущение во рту, горечь и карбонизация) оказались лучше, чем пиво, сваренное из 100% ячменного солода . Установлено, что пивные сусла с

добавлением 30% хлопьев киноа содержат на 78% больше Mg^{2+} и на 20% больше Ca^{2+} [45].

5.2.3. Амарант (*Amaranthus cruenteus* , *Amaranthus hypochondriacus* и *Amaranthus caudatus*)

Амарант - это добавка с высоким содержанием незаменимых аминокислот, ненасыщенных жирных кислот и минералов. Амарант значительно богаче Mg^{2+} и $Ca^{2+,}$ чем ячмень, что существенно улучшает выход пивных дрожжей и скорость ферментации [45]. На сегодняшний день исследований использования амаранта в пивоварении немного. Дальнейшие исследования должны быть проведены для улучшения условий соложения амаранта, поскольку был обнаружен более низкий выход экстракта по сравнению с другими добавками, не содержащими глютен [23]. В любом случае его использование в качестве несоложеного сырья может быть нововведением в пивоварении, которое привлечет интерес потребителей .

5.3. Другие крахмалистые продукты

Сладкий картофель (*Ipomoea batatas*)

Сладкий картофель представляет собой сырье с большим потенциалом для использования в пивоварении, поскольку он имеет высокую концентрацию углеводов (80–90% от сухого вещества), а также является источником β-амилаз, которые выделяют больше тепла. стабильнее, чем β-амилазы ячменя [80]. Исследования подтверждают, что мука из сладкого картофеля обладает высокой диастатической силой и может использоваться для замены сорго в пивоварении [79]. Еще один интересный аспект, который следует отметить, заключается в том, что сладкий картофель имеет высокое содержание β-каротина и антоцианов

Что касается питательных и сенсорных свойств, профиль летучих соединений, обнаруженных в пиве, сваренном со сладким картофелем, очень похож на большинство сортов пива. Однако, в зависимости от концентрации

добавки и времени затирания, пиво имеет лучшее сенсорное восприятие и различные сенсорные характеристики [6]. Помимо придания пиву различных органолептических характеристик, добавление сладкого картофеля в пиво оказывает положительное влияние на антиоксидантную активность, что может быть связано с содержанием в нем β-каротина и его синергизмом с фенольными соединениями. Пиво, содержащее эту добавку, имеет более высокое содержание фенолов (218–230 мг GAE / л), чем светлые лагеры (110–179 мг GAE / л), но ниже, чем темное пиво (230–260 мг GAE / л). Также было показано, что он значительно увеличивает содержание β-каротина (0,2–0,838 мг / 100 мл) по сравнению с пивом, сваренным из 100% ячменного солода (0,003 мг / 100 мл) [6,29]. Использование других сортов сладкого картофеля в качестве добавки, например, пурпурного сладкого картофеля, придает пиву розовый цвет и хорошо воспринимается главным образом по цвету и вкусу. Было обнаружено, что пиво с 30% добавок является наиболее приемлемым, с большими различиями в цвете и вкусовых качествах. Кроме того, этот сорт картофеля содержит большое количество антоцианов (в основном пеонидин и цианидин), поэтому увеличение концентрации добавки приводит к увеличению концентрации антоцианов в пиве. Эти факты связаны с повышенной антиоксидантной способностью пива, которая колеблется от 6,31 до 17,06% DPPH, при этом уровни антиоксидантов в пиве того же порядка, что и во фруктовых соках, чаях и винах [29].

6. Перспективы использования

Использование добавок – сохраняющаяся и растущая тенденция в пивоваренной отрасли всем мире из-за растущего в последние годы спроса на более вкусовое комплексное пиво (в котором ощущается более интенсивный вкус) и оно обладает высокими качественными показателями [1]. В частности, поиск «новых характеристик» пива заставил пивоваров вводить новые добавки в процесс пивоварения, как в промышленном, так и в крафтовом пивоварении.

Сосредоточившись на крахмалистых добавках, обсуждаемых в этой статье (зерновые, псевдозерновые и клубни), тенденция, которая развивается и продолжает расти уже некоторое время это пивоварение безглютенового пива. К крахмалистым добавкам, не содержащим глютена, из которых можно производить безглютеновое пиво, относятся злаки, такие как сорго, кукуруза, рис и просо, и псевдозерновые, такие как гречка, амарант и киноа. Сорго - наиболее широко исследуемый и известный злак для производства безглютенового пива [81].

Совсем недавно было проведено исследование, посвященное тому, как добавление экструдированных добавок влияет на пивоварение. Что касается органолептических характеристик, большее количество и концентрация ароматических соединений было обнаружено в пиве с использованием экструдированных зерен в качестве добавок, чем в пиве, сваренном с неэкструдированными добавками [82,83]. Исследование, опубликованное в 2018 году, показывает более высокое содержание ароматических соединений в пиве с экструдированным кукурузным крахмалом, чем в пиве с вареным кукурузным крахмалом [84]. В другом исследовании Zhang et al. в 2019 году при использовании экструдированного черного риса установили новые соединения (неролидол, гераниол и геранилгераниол), которых нет в неэкструдированном пиве из черного риса. Поэтому использование экструдированного зерна может быть интересно с сенсорной точки зрения для пивоварения [7].

Использование добавок, обогащающих пиво антиоксидантными соединениями, также является важной тенденциейв развитии пивоваренной отрасли. Среди них гречка представлена как источник флавоноидов (в основном рутина), и ее использование значительно увеличивает антиоксидантную активность пива

Клубень, такой как сладкий картофель, используемый в качестве добавки, увеличивает содержание флавоноидов и β-каротина. Сладкий картофель Борегар является потенциально ценным дополнением в процессе производства

пива, поскольку он благотворно влияет на физико-химические показатели, такие как pH, вязкость, горечь и цвет, более высокое содержание алкоголя, более высокие уровни фенолов и флавоноидов. Кроме того, сладкий картофель Beauregard увеличивает содержание β-каротина в готовом пиве и, возможно, влияет на антиоксидантную активность конечного продукта. Эти результаты также могут быть использованы в качестве основы для будущих исследований по улучшению функциональных и органолептических показателей сладкого картофельного пива Beauregard.

Дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*), гриб (*Aspergillus oryzae*) и бактерии (*Lactobacillus plantarum*) могут использоваться для производства пива из маниоки с пробиотическими свойствами [84].

Необходимо провести исследование использования дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в сочетании с двумя молочнокислыми бактериями, *Lactobacillus plantarum* и *Weissella cibaria,* для улучшения качества пива, производимого с использованием добавок. Аналогичные исследования были проведены на производстве рисового вина в Южной Корее [84].

Torulaspora delbrueckii , *Saccharomyces cerevisiae* и *Metschnikowia pulcherrima* могут быть использованы для производства различных сортов пива из сорго с определенными характеристиками, такими как пониженное образование летучих кислот и улучшение аромата, вкуса и цветовых характеристик при ферментации [85, 86].

Zdaniewicz et al. [87] исследовали возможность использования тритордеума в качестве добавки в пивоваренной промышленности. Выход алкоголя пива, сваренного с тритордеумом, фактический экстракт и содержание ионов металлов были в диапазоне, аналогичном контрольному образцу. Кроме того, использование тритордеума в большом диапазоне пропорций не привело к каким-либо технологическим проблемам на последних этапах процесса пивоварения. Из-за тесной взаимосвязи между использованием добавок в пивоваренной промышленности и использованием ферментов, вполне вероятно,

что достижения в биотехнологии, направленные на улучшение известных функций ферментов, а также на разработку новых ферментов с различными функциональными возможностями, будут связаны с увеличением использования добавок в производстве пива [88].

Это также позволит производить добавки премиум-класса с дополнительными преимуществами, адаптированными к потребностям пивоваров, и может даже снизить стоимость производства добавок, тем самым снизив стоимость производства пива. Несколько исследований показали, что высокое давление приводит к желатинизации зерновых крахмалов и повышает эффективность гидролиза крахмала α- и β-амилазами [89]. Следовательно, было бы целесообразно исследовать, может ли обработка под высоким давлением, которая является дорогостоящей технологией, использоваться в исследованиях по разработке добавок для повышения технологичности.

7. Выводы

Подавляющее большинство пива представленного сегодня на рынке, содержит широкий спектр добавок крахмала, некоторые из которых могут снизить производственные затраты или улучшить некоторые характеристики качества пива, такие как цвет или аромат, хотя не все крахмалосодержащее сырье имеют положительные свойства, которые можно использовать в процессе затирания.

Использование добавок может привести к положительным органолептическим характеристикам пива: некоторые из этих изменений можно увидеть в цвете (темное или розовое пиво) или в ароматах и вкусах (фруктовые ароматы и более интенсивный вкус). Обычно используются пшеничный или ржаной солод, тогда как другие добавки, такие как кукуруза или рис, чаще используются в форме крахмала или крупы. В последнее время особый интерес вызывает использование экструдированных добавок.

Что касается качественного состава и полезных свойств , то использование нетрадиционного крахмалосодержащего сырья, такого как черный рис, гречка или сладкий картофель, приводит к увеличению содержания полифенолов в пиве и, следовательно, его антиоксидантной способности. Сорго и сладкий картофель можно рассматривать как два потенциальных вида сырья для производства определенных сортов пива (пиво без глютена, пиво с высоким содержанием антиоксидантов и т. д.).

Однако очень часто использование нового сырья приводит к определенным проблемам в производстве пива, таким как необходимость внесения дополнительных ферментов, чрезмерное осахаривание или время фильтрации, очень низкий уровень экстракта сусла и, следовательно, низкое содержание алкоголя в пиве и т. д. Возможность использования новых сырьевых ингредиентов в качестве добавок в пивоварении может быть очень интересным направлением дальнейших исследованийс целью создания новых сортов пива с различными органолептическими показателями.

Литература /References

1. Callejo, M.J.; Tesfaye, W.; González, M.C.; Morata, A. Craft Beers: Current Situation and Future Trends. *New Adv. Ferment. Process.* **2020**, 1–18.
2. Deng, Y.; Lim, J.; Lee, G.H.; Nguyen, T.T.H.; Xiao, Y.; Piao, M.; Kim, D. Brewing Rutin-Enriched Lager Beer with Buckwheat Malt as Adjuncts. *J. Microbiol. Biotechnol.* **2019**, *29*, 877–886.
3. Poreda, A.; Czarnik, A.; Zdaniewicz, M.; Jakubowski, M.; Antkiewicz, P. Corn Grist Adjunct—Application and Influence on the Brewing Process and Beer Quality. *J. Inst. Brew.* **2014**, *120*, 77–81.
4. Schönenberg, S.; Bautista, N.; Jorgensen, O.B.; Elvig, N.; Heldt-Hansen, H.P. Advantages in Process Optimization and Consistency in Beer Quality—Alternative Brewing Raw Materials Become More Attractive in New Brewing Recipes. In *32nd Asia Pacific Section Convention—2012*; IBD Asia Pacific: Melbourne, Australia, 2012.

5. Schnitzenbaumer, B.; Arendt, E.K. Brewing with up to 40% Unmalted Oats (*Avena Sativa*) and Sorghum (*Sorghum Bicolor*): A Review. *J. Inst. Brew.* **2014**, *120*, 315–330.
6. Humia, B.V.; Santos, K.S.; Schneider, J.K.; Leal, I.L.; Barreto, G.A.; Batista, T.; Machado, B.A.S.; Druzian, J.I.; Krause, L.C.; Costa Mendonça, M.; et al. Physicochemical and Sensory Profile of Beauregard Sweet Potato Beer. *Food Chem.* **2020**, *312*, 126087.
7. Zhang, T.; Zhang, H.; Yang, Z.; Wang, Y.; Li, H. Black Rice Addition Prompted the Beer Quality by the Extrusion as Pretreatment. *Food Sci. Nutr.* **2019**, *7*, 3664–3674.
8. Stewart, G. Chapter 2—Adjuncts. In *Brewing Materials and Processes*; Bamforth, C.W., Ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2016; pp. 27–46.
9. Bogdan, P.; Kordialik-Bogacka, E. Alternatives to Malt in Brewing. *Trends Food Sci. Technol.* **2017**, *65*, 1–9.
10. Goode, D.L.; Arendt, E.K. *Developments in the Supply of Adjunct Materials for Brewing in Brewing: New Technologies*; Bamforth, W., Ed.; Woodhead Publishing Limited: Sawston, UK; Cambridge, MA, USA, 2006.
11. Lewis, M. Beer and Brewing. *Kirk-Othmer Encycl. Chem. Technol.* **2015**, 1–30.
12. Curtis, S. Cereals in Brewing and Destilling. *Brew. Distill. Int.* **2011**, *7*, 8–9.
13. Meussdoerffer, F.; Zarnkow, M. Starchy Raw Materials. In *Hand Book in Brewing*; Eßlinger, H.M., Ed.; Wiley VCH: Weinheim, Germany, 2009.
14. Ma, J.; Jiang, Q.T.; Zhao, Q.Z.; Zhao, S.; Lan, X.J.; Dai, S.F. Characterization and Expression Analysis of Waxy Alleles in Barley Accessions. *Genetica* **2013**, *141*, 227–238.
15. Gous, P.W.; Warren, F.; Mo, O.W.; Gilbert, R.G.; Fox, G.P. The Effects of Variable Nitrogen Application on Barley Starch Structure under Drought Stress. *J. Inst. Brew.* **2015**, *121*, 502–509.

16. Gous, P.W.; Gilbert, R.G.; Fox, G.P. Drought-Aproofing Barley (*Hordeum Vulgare*) and Its Impact on Grain Quality: A Review. *J. Inst. Brew.* **2015**, *121*, 19–27.
17. Gous, P.W.; Fox, G.P. Review: Amylopectin Synthesis and Hydrolysis—Understanding Isoamylase and Limit Dextrinase and Their Impact on Starch Structure on Barley (*Hordeum Vulgare*) Quality. *Trends Food Sci. Technol.* **2017**, *62*, 23–32.
18. Balet, S.; Gous, P.; Fox, G.; Lloyd, J.; Manley, M. Characterisation of Starch Quality from Barley Varieties Grown in South Africa. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2020**, *55*, 443–452.
19. Chu, S.; Hasjim, J.; Hickey, L.T.; Fox, G.; Gilbert, R.G. Structural Changes of Starch Molecules in Barley Grains during Germination. *Cereal Chem.* **2014**, *91*, 431–437.
20. Yu, W.; Tan, X.; Zou, W.; Hu, Z.; Fox, G.P.; Gidley, M.J. Correlations between Proteins with Starch Molecular Structure and Grain Size in Barley. *Carbohydr. Polym.* **2017**, *33*, 271–299.
21. Yorke, J.; Cook, D.; Ford, R. Brewing with Unmalted Cereal Adjuncts: Sensory and Analytical Impacts on Beer Quality. *Beverages* **2021**, *7*, 4.
22. Steiner, E.; Auer, A.; Becker, T.; Gastl, M. Comparison of Beer Quality Attributes between Beers Brewed with 100% Barley Malt and 100% Barley Raw Material. *J. Sci. Food Agric.* **2012**, *92*, 803–813.
23. Buiatti, S.; Bertoli, S.; Passaghe, P. Influence of Gluten-Free Adjuncts on Beer Colloidal Stability. *Eur. Food Res. Technol.* **2018**, *244*, 903–912.
24. Delcour, J.; Hoseney, R. *Principles of Cereal Science and Technology*, 3rd ed.; AACC International Inc.: St. Paul, MN, USA, 2010.]
25. Cela, N.; Condelli, N.; Caruso, M.C.; Perretti, G.; Di Cairano, M.; Tolve, R.; Galgano, F. Gluten-Free Brewing: Issues and Perspectives. *Fermentation* **2020**, *6*, 53.

26. Saarni, A.; Miller, K.V.; Block, D.E. A Multi-Parameter, Predictive Model of Starch Hydrolysis in Barley Beer Mashes. *Beverages* **2020**, *6*, 60.
27. MacGregor, A.W.; Bazin, S.L.; Izydorczyk, M. Gelatinisation Characteristics and Enzyme Susceptibility of Different Types of Barley Starch in the Temperature Range 48–72 °Cl. *J. Inst. Brew.* **2002**, *108*.
28. Hill, A.; Stewart, G. Free Amino Nitrogen in Brewing. *Fermentation* **2019**, *5*, 22.
29. Panda, S.K.; Panda, S.H.; Swain, M.R.; Ray, R.C.; Kayitesi, E. Anthocyanin-Rich Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* L.) Beer: Technology, Biochemical and Sensory Evaluation. *J. Food Process. Preserv.* **2015**, *39*, 3040–3049.
30. Buglass, A.J.; Caven-Quantrill, D.J. Applications of Natural Ingredients in Alcoholic Drinks. In *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2012; pp. 358–416.
31. Han, H.; Kim, J.; Choi, E.; Ahn, H.; Kim, W.J. Characteristics of Beer Produced from Korean Six-Row Barley with the Addition of Adjuncts. *J. Inst. Brew.* **2016**, *122*, 500–507.
32. Fumi, M.D.; Galli, R.; Lambri, M.; Donadini, G.; De Faveri, D.M. Effect of Full-Scale Brewing Process on Polyphenols in Italian All-Malt and Maize Adjunct Lager Beers. *J. Food Compos. Anal.* **2011**, *24*, 568–573
33. Kunz, T.; Müller, C.; Mato-Gonzales, D.; Methner, F.J. The Influence of Unmalted Barley on the Oxidative Stability of Wort and Beer. *J. Inst. Brew.* **2012**, *118*, 32–39
34. Ceccaroni, D.; Sileoni, V.; Marconi, O.; De Francesco, G.; Lee, E.G.; Perretti, G. Specialty Rice Malt Optimization and Improvement of Rice Malt Beer Aspect and Aroma. *LWT* **2019**, *99*, 299–305.
35. Evans, D.E.; Redd, K.; Haraysmow, S.E.; Elvig, N.; Metz, N.; Koutoulis, A. The Influence of Malt Quality on Malt Brewing and Barley Quality on Barley Brewing with Ondea Pro, Compared by Small-Scale Analysis. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **2014**, *72*, 192–207.

36. Embashu, W.; Iileka, O.; Nantanga, K.K.M. Namibian Opaque Beer: A Review. *J. Inst. Brew.* **2018**, *125*, 4–9.
37. Embashu, W.; Nantanga, K.K.M. Malts: Quality and Phenolic Content of Pearl Millet and Sorghum Varieties for Brewing Nonalcoholic Beverages and Opaque Beers. *Cereal Chem.* **2019**, *96*, 765–774.
38. Klose, C.; Mauch, A.; Wunderlich, S.; Thiele, F.; Zarnkow, M.; Jacob, F.; Arendt, E.K. Brewing with 100% Oat Malt. *J. Inst. Brew.* **2011**, *117*, 411–421.
39. Wang, Y. *Malting Conditions for Evaluation of Rye Cultivars*; North Dakota State University of Agriculture and Applied Science: Fargo, ND, USA, 2017.
40. Agu, R.C.; Palmer, G.H. Evaluation of the Potentials of Millet, Sorghum and Barley with Similar Nitrogen Contents Malted at Their Optimum Germination Temperatures for Use in Brewing. *J. Inst. Brew.* **2013**, *119*, 258–264.]
41. Kumar, S.; Singh, A.; Shahi, N.C.; Chand, K.; Gupta, K. Optimization of Substrate Ratio for Beer Production from Finger Millet and Barley. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* **2015**, *8*, 110–121.
42. Kumar, S.; Saini, E.; Kumar, V.; Kohli, D.; Joshi, J.; Wilson, I. Response Surface Optimization of Fermenting Parameters for the Production of Beer from Finger Millet and Apple Juice by Using Box-Behnken Design. *Carpathian J. Food Sci. Technol.* **2019**, *11*, 140–151.
43. Deželak, M.; Zarnkow, M.; Becker, T.; Košir, I.J. Processing of Bottom-Fermented Gluten-Free Beer-like Beverages Based on Buckwheat and Quinoa Malt with Chemical and Sensory Characterization. *J. Inst. Brew.* **2014**, *120*, 360–370.
44. Sebestyén, A.; Kiss, Z.; Vecseri-Hegyes, B.; Kun-Farkas, G.; Hoschke, Á. Experiences with Laboratory and Pilot Plant Preparation of Millet and Buckwheat Beer. *Acta Aliment.* **2013**, *42*, 81–89.
45. Kordialik-Bogacka, E.; Bogdan, P.; Pielech-Przybylska, K.; Michałowska, D. Suitability of Unmalted Quinoa for Beer Production. *J. Sci. Food Agric.* **2018**, *98*, 5027–5036.

46. Kordialik-Bogacka, E.; Bogdan, P.; Ciosek, A. Effects of Quinoa and Amaranth on Zinc, Magnesium and Calcium Content in Beer Wort. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2018**, *54*, 1706–1712.
47. Maarel, M.J.E.C.; Veen, B.; Uitdehaag, J.C.M.; Leemhuis, H.; Dijkhuizen, L. Properties and Applications of Starch-Converting Enzymes of the Alpha-Amylase Family. *J. Biotechnol.* **2002**, *94*, 137–155.
48. Zyl, W.H.; Bloom, M.; Viktor, M.J. Engineering Yeasts for Raw Starch Conversion. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2012**, *95*, 1377–1388.
49. Donkelaar, L.H.G.; Noordman, T.R.; Boom, R.M.; Goot, A.J. Pearling Barley to Alter the Composition of the Raw Material before Brewing. *J. Food Eng.* **2015**, *150*, 44–49.]
50. Hiteshi, K.; Gupta, R. Thermal Adaptation of α-Amylases: A Review. *Extremophiles* **2014**, *18*, 937–944.
51. Olufunke, F.O.T.; Azeez, I.I. Purification and Characterization of Beta-Amylase of Bacillus Subtilis Isolated from Kolanut Weevil. *J. Biol. Life Sci.* **2010**, *4*, 68–78.
52. Cioch-Skoneczny, M.; Zdaniewicz, M.; Pater, A.; Skoneczny, S. Impact of Triticale Malt Application on Physiochemical Composition and Profile of Volatile Compounds in Beer. *Eur. Food Res. Technol.* **2019**, *245*, 1431–1437.
53. Ambriz-Vidal, T.N.; Mariezcurrena-Berasain, M.D.; Heredia-Olea, E.; Martinez, D.L.P.; Gutierrez-Ibañez, A.T. Potential of Triticale (X Triticosecale Wittmack) Malts for Beer Wort Production. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **2019**, *77*, 282–286.
54. Fogarasi, A.L.; Kun, S.; Tankó, G.; Stefanovits-Bányai, É.; Hegyesné-Vecseri, B.A. Comparative Assessment of Antioxidant Properties, Total Phenolic Content of Einkorn, Wheat, Barley and Their Malts. *Food Chem.* **2015**, *167*, 1–6

55. Albanese, L.; Ciriminna, R.; Meneguzzo, F.; Pagliaro, M. Innovative Beer-Brewing of Typical, Old and Healthy Wheat Varieties to Boost Their Spreading. *J. Clean. Prod.* **2018**, *171*, 297–311.
56. Donkelaar, L.H.G.; Hageman, J.A.; Oguz, S.; Noordman, T.R.; Boom, R.M.; Goot, A.J. Combining Unmalted Barley and Pearling Gives Good Quality Brewing. *J. Inst. Brew.* **2016**, *122*, 228–236.
57. Taylor, J.R.N.; Dlamini, B.C.; Kruger, J. 125th Anniversary Review: The Science of the Tropical Cereals Sorghum, Maize and Rice in Relation to Lager Beer Brewing. *J. Inst. Brew.* **2013**, *119*, 1–14. [
58. Dabija, A.; Ciocan, M.E.; Chetrariu, A.; Codină, G.G. Maize and Sorghum as Raw Materials for Brewing, a Review. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 3139.
59. Diakabana, P.; Mvoula-Tsieri, M.; Dhellot, J.; Kobawila, S.C.; Louembe, D. Physico-Chemical Characterization of Brew during the Brewing Corn Malt in the Production of Maize Beer in Congo. *Adv. J. Food Sci. Technol.* **2013**, *5*, 671–677
60. Marconi, O.; Sileoni, V.; Ceccaroni, D.; Perretti, G. The Use of Rice in Brewing. *Adv. Int. Rice Res.* **2017**, 49–66
61. Samyor, D.; Das, A.B.; Deka, S.C. Pigmented Rice a Potential Source of Bioactive Compounds: A Review. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2017**, *52*, 1073–1081.
62. Handique, P.; Deka, A.K.; Deka, D.C. Antioxidant Properties and Phenolic Contents of Traditional Rice-Based Alcoholic Beverages of Assam, India. *Natl. Acad. Sci. Lett.* **2020**, *43*, 501–503.
63. S.D.; Taylor, J.R.N. Modern Convenient Sorghum and Millet Food, Beverage and Animal Feed Products, and Their Technologies. *Sorghum Millets* **2019**, 293–329
64. Schnitzenbaumer, B.; Kerpes, R.; Titze, J.; Jacobs, F.; Arendt, E.K. Impact of Various Levels of Unmalted Oats (*Avena Sativa* L.) on the Quality and Processability of Mashes, Worts, and Beers. *Cerevisia* **2013**, *38*, 56.

65. Schnitzenbaumer, B.; Kaspar, J.; Titze, J.; Arendt, E.K. Implementation of Commercial Oat and Sorghum Flours in Brewing. *Eur. Food Res. Technol.* **2014**, *238*, 515–525.
66. Ma, C.; He, Y.; Cao, Y.; Bai, X.; Li, H. Analysis of Flavour Compounds in Beer with Extruded Sorghum as an Adjunct Using Headspace Solid-Phase Micro-Extraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *J. Inst. Brew.* **2016**, *122*, 251–260.
67. Yeo, H.Q.; Liu, S.Q. An Overview of Selected Specialty Beers: Developments, Challenges and Prospects. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2014**, *49*, 1607–1618
68. Schnitzenbaumer, B.; Karl, C.A.; Jacob, F.; Arendt, E.K. Impact of Unmalted White Nigerian and Red Italian Sorghum (*Sorghum Bicolor*) on the Quality of Worts and Beers Applying Optimized Enzyme Levels. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **2013**, *71*, 258–266.
69. Garzón, A.G.; Drago, S.R. Free A-Amino Acids, c-Aminobutyric Acid (GABA), Phenolic Compounds and Their Relationships with Antioxidant Properties of Sorghum Malted in Different Conditions. *J. Food Sci. Technol.* **2018**, *55*, 3188–3198.]
70. Wang, Y.; Jin, Z.; Barr, J.; Gillespie, J.; Simsek, S.; Horsley, R.; Schwarz, P. Micro-Malting for the Quality Evaluation of Rye (*Secale Cereale*) Genotypes. *Fermentation* **2018**, *4*, 50.
71. Bondia-Pons, I.; Aura, A.M.; Vuorela, S.; Kolehmainen, M.; Mykkänen, H.; Poutanen, K. Rye Phenolics in Nutrition and Health. *J. Cereal Sci.* **2009**, *49*, 323–33
72. Pelembe, L.A.M.; Dewar, J.; Taylor, J.R.N. Effect of Germination Moisture and Time on Pearl Millet Malt Quality—with Respect to Its Opaque and Lager Beer Brewing Potential. *J. Inst. Brew.* **2004**, *110*, 320–325.
73. Agu, R.C. Comparative Study of Experimental Beers Brewed from Millet, Sorghum and Barley Malts. *Process Biochem.* **1995**, *30*, 311–315.

74. Gebremariam, M.M.; Zarnkow, M.; Becker, T. Teff (*Eragrostis Tef*) as a Raw Material for Malting, Brewing and Manufacturing of Gluten-Free Foods and Beverages: A Review. *J. Food Sci. Technol.* **2012**, *51*, 2881–2895.
75. Di Ghionno, L.; Sileoni, V.; Marconi, O.; De Francesco, G.; Perretti, G. Comparative Study on Quality Attributes of Gluten-Free Beer from Malted and Unmalted Teff [*Eragrostis Tef* (Zucc.) Trotter]. *LWT* **2017**, *84*, 746–752.
76. Ariyalratne, P.N.K. Feasability Study of Millets as an Adjunct in the Brewing Industry. Master's Thesis, University of Sri Jayewardenepura, Nugegoda, Sri Lanka, 2012.
77. Zhang, Z.L.; Zhou, M.L.; Tang, Y.; Li, F.L.; Tang, Y.X.; Shao, J.R.; Xue, W.T.; Wu, Y.M. Bioactive Compounds in Functional Buckwheat Food. *Food Res. Int.* **2013**, *49*, 389–395.
78. Terpinc, P.; Cigić, B.; Polak, T.; Hribar, J.; Požrl, T. LC–MS Analysis of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Buckwheat at Different Stages of Malting. *Food Chem.* **2016**, *210*, 9–17.
79. Navruz-Varli, S.; Sanlier, N. Nutritional and Health Benefits of Quinoa Chenopodium Quinoa Willd. *J. Cereal Sci.* **2016**, *69*, 371–376.
80. Joo, H.; Kim, J.M.; Choi, Y.M. The Incorporation of Sweet Potato Application in the Preparation of a Rice Beverage. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2003**, *38*, 145–151
81. Rubio, M.; Serna, S.O. Technological and Engineering Trends for Production of Gluten-Free Beers. *Food Eng. Rev.* **2016**, *8*, 468–482.
82. Zhang, D.; He, Y.; Ma, C.; Li, H. Improvement of Beer Flavour with Extruded Rice as Adjunct. *J. Inst. Brew.* **2017**, *123*, 259–267.
83. He, Y.; Cao, Y.; Chen, S.; Ma, C.; Zhang, D.; Li, H. Analysis of Flavour Compounds in Beer with Extruded Corn Starch as an Adjunct. *J. Inst. Brew.* **2018**, *124*, 9–15]
84. Yoon, S.S.; Choi, J.A.; Kim, K.H.; Song, T.S.; Park, Y.S. Populations and Potential Association of Saccharomyces Cerevisiae with Lactic Acid Bacteria in

Naturally Fermented Korean Rice Wine. *Food Sci. Biotechnol.* **2012**, *21*, 419–424.

85. Einfalt, D. Barley-Sorghum Craft Beer Production with Saccharomyces Cerevisiae, Torulaspora Delbrueckii and Metschnikowia Pulcherrima Yeast Strains. *Eur. Food Res. Technol.* **2021**, *247*, 385–393.
86. Nazari, L.; Shaker, M.; Karimi, A.; Ropelewska, E. Correlations between the Textural Features and Chemical Properties of Sorghum Grain Using the Image Processing Method. *Eur. Food Res. Technol.* **2021**, *247*, 333–342.
87. Zdaniewicz, M.; Pater, A.; Hrabia, O.; Duliński, R.; Cioch-Skoneczny, M. Tritordeum Malt: An Innovative Raw Material for Beer Production. *J. Cereal Sci.* **2020**, *96*, 103095
88. Gomaa, A. Application of Enzymes in Brewing. *J. Nutr. Food Sci. Forecast.* **2018** .
89. Balakrishna, A.K.; Wazed, A.; Farid, M. A Review on the Effect of High Pressure Processing (HPP) on Gelatinization and Infusion of Nutrients. *Molecules* **2020**, *25*, 2369.