Биологические науки
УДК 663.47:66.097

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЕАЛКОГОЛИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ БЕЛКОВО-ОБОГАЩЁННОГО БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО ПИВА

Р.Н. Султанов
Уральский государственный лесотехнический университет
(Екатеринбург, Российская Федерация)

Аннотация

В работе представлен систематический обзор современных методов получения безалкогольного пива с особым акцентом на возможность их комбинации с обогащением белковыми гидролизатами. Рассмотрены три группы технологий: термическая деалкоголизация (вакуум-дистилляция), мембранные процессы (обратный осмос, диализ) и биологический метод (остановленное брожение с использованием штамма Pichia kluyveri). Для каждого метода проанализированы потери ароматических веществ, изменение цвета, пеностойкости и способность к последующему внесению белка без коагуляции. Обосновано, что метод с Pichia kluyveri в сочетании с гидролизованным белком (степень гидролиза 25–40%) позволяет получить напиток с содержанием этанола ≤ 0,5% об., прозрачный после пастеризации и с высокими органолептическими показателями. Разработаны рекомендации для малых и средних пивоваренных заводов.

Ключевые слова: безалкогольное пиво, вакуум-дистилляция, обратный осмос, диализ, Pichia kluyveri, гидролизованный белок, пастеризация, коагуляция, остановленное брожение

Султанов Р.Н., студент, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Российская Федерация

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICAL AND BIOLOGICAL DEALCOHOLIZATION METHODS IN THE PRODUCTION OF PROTEIN-ENRICHED NON-ALCOHOLIC BEER

Abstract

The paper presents a systematic review of modern methods for producing non-alcoholic beer with a special focus on combining them with enrichment with protein hydrolysates. Three groups of technologies are considered: thermal dealcoholization (vacuum distillation), membrane processes (reverse osmosis, dialysis) and the biological method (arrested fermentation using the Pichia kluyveri strain). For each method, the losses of aromatic substances, changes in color, foam stability, and the ability to subsequently add protein without coagulation are analyzed. It has been substantiated that the method using Pichia kluyveri in combination with hydrolyzed protein (degree of hydrolysis 25–40%) makes it possible to obtain a beverage with an ethanol content of ≤ 0,5 % vol., transparent after pasteurization and with high organoleptic characteristics. Recommendations for implementation at small and medium-sized enterprises have been developed.

Keywords: non-alcoholic beer, vacuum distillation, reverse osmosis, dialysis, Pichia kluyveri, hydrolyzed protein, pasteurization, coagulation

Sultanov R.N., student, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russian Federation

Для цитирования

Султанов Р.Н., Сравнительный анализ физических и биологических методов деалкоголизации в технологии белково-обогащённого безалкогольного пива // Молодежь и наука. 2026, Т. 14, №5, С. 13-21.

Согласно данным Ассоциации производителей пива, солода и напитков, продажи безалкогольного пива в Европе выросли на 7,9% за 2023 год. В России, несмотря на снижение

на 3% в натуральном выражении, денежный объём рынка увеличился на 3,3%, что указывает на сдвиг в сторону более дорогих и качественных продуктов [11, с. 48]. Однако ассортимент безалкогольного пива в России значительно сократился после ухода ряда международных брендов, что открывает нишу для локальных инновационных разработок.

Особый интерес представляет сегмент функциональных напитков, в частности, безалкогольное пиво с повышенным содержанием белка. Такие напитки могут использоваться для восстановления после спортивных тренировок, так как обеспечивают организм аминокислотами, углеводами (остаточная мальтоза) и витаминами группы В [4]. Как отмечают Нестерина и Скурихина [5, с. 241], белок является необходимым макронутриентом для регенерации мышечной ткани. Традиционные спортивные напитки часто имеют низкие органолептические характеристики и не пользуются популярностью в местах общественного питания после тренировок [22].

Однако при производстве такого пива возникает две ключевые проблемы. Во-первых, необходимо ограничить содержание этилового спирта на уровне не более 0,5% объёма в соответствии с законодательством [27]. Во-вторых, требуется предотвратить коагуляцию белка при термической обработке (пастеризации), которая необходима для обеспечения микробиологической стабильности продукта [1, с. 200; 25].

Цель данной работы – провести сравнительный анализ доступных технологий деалкоголизации и выбрать оптимальную схему для производства белково-обогащённого безалкогольного пива.

1. Физические методы деалкоголизации

Вакуум-дистилляция

Вакуум-дистилляция является наиболее распространённым промышленным методом. Процесс основан на испарении этанола при пониженном давлении (60–200 мбар) и температуре 37–60°C [1, с. 120]. Как показано в работе Бак [1, с. 125], коэффициенты ректификации многих ароматических веществ превышают 1, то есть они улетучиваются быстрее этанола. В результате в готовом продукте резко снижается содержание изоамилацетата, этилацетата и диметилсульфида (DMS).

В таблице 1 приведены данные по изменению концентраций ароматических соединений после вакуум-дистилляции по данным работы [1, с. 132].

Таблица 1

Содержание ароматических веществ при вакуум-дистилляции

Показатель	Исходное пиво (5,5% этанола)	Безалкогольное пиво (0,45% этанола)	Сохранение, %
Этилацетат, мг/дм³	21,7	1,7	7,8
Изоамилацетат, мг/дм³	2,7	0,2	7,4
3-метилбутанол, мг/дм³	82,3	12,1	14,7
DMS, мкг/дм³	86	10	11,6

Показатель	Исходное пиво (5,5% этанола)	Безалкогольное пиво (0,45% этанола)	Сохранение, %
Фенилэтанол, мг/дм³	39,7	40,1	101

Обращает на себя внимание, что фенилэтанол (розовый аромат) сохраняется полностью, тогда как легколетучие эфиры теряются почти полностью. Это приводит к изменению профиля аромата в сторону «хлебных», «карамельных» и «сусловых» нот [1, с. 135; 16, с. 520].

Для улучшения качества безалкогольного пива, полученного вакуум-дистилляцией, используют купажирование с исходным продуктом до содержания этанола 0,5% об., а также добавляют ароматический экстракт, уловленный из вторичных паров [1, с. 138]. Однако эти меры увеличивают себестоимость.

Обратный осмос

Обратный осмос – мембранный процесс, при котором пиво под давлением 20–60 бар разделяется на пермеат (вода + этанол + мелкие молекулы) и ретентат (концентрат с пониженным содержанием спирта) [1, с. 140]. Для получения содержания этанола менее 0,5% об. требуется диафильтрация с добавлением воды.

Преимуществом обратного осмоса является отсутствие тепловой нагрузки, благодаря чему лучше сохраняются некоторые эфиры. Недостатки: высокие требования к чистоте мембран, необходимость CIP-мойки, частичное удаление горьких кислот и среднецепочечных жирных кислот [1, с. 142].

В таблице 2 представлены данные по сохранению веществ при обратном осмосе по данным работы [1, с. 145].

Таблица 2.

Содержание веществ после обратного осмоса

Вещество	Исходное пиво	Ретентат (0,46% этанола)	Сохранение, %
Этиловый эфир октановой кислоты, мкг/дм³	253	24	9,5
Гексановая кислота, мкг/дм³	2593	273	10,5
Додекановая кислота, мкг/дм³	25	22	88,0
Компоненты старения (сумма)	84	49	58,3

Видно, что длинноцепочечные жирные кислоты сохраняются лучше, а эфиры и короткоцепочечные кислоты удаляются. Продукт имеет «кисловатый» и «пустой» вкус [1, с. 148].

Диализ

Диализ основан на диффузии веществ через мембрану под действием градиента концентрации без приложения давления. Процесс щадящий, но не позволяет снизить содержание этанола ниже 0,2% об. и требует большого количества диализата (воды) [1, с. 150].

Как отмечается в работе [1, с. 152], основная область применения диализа – производство слабоалкогольного (не безалкогольного) пива.

Несмотря на то, что потери ароматических веществ в процессе диализа незначительны, относительно содержания спирта они ниже, чем при вакуумном испарении. Однако безалкогольное пиво, полученное диализом, полностью отличается от исходного продукта по вкусовому профилю, может появиться кисловатый привкус [1, с. 155].

2. Биологические методы

Технология остановленного брожения

Биологические методы основаны на торможении брожения до достижения заданного низкого уровня этанола. Традиционная технология остановленного брожения включает специальное затирание солода со скачкообразным повышением температуры (перепрыгивание температурной паузы 60–65°C, оптимальной для образования мальтозы), что снижает сбраживаемость сусла, и последующее холодное введение дрожжей при температуре 0–5°C [1, с. 160; 16, с. 525].

Как отмечает Кунце [16, с. 530], при кипячении и последующей обработке сусла необходимо проводить мероприятия, способствующие отделению и вторичному образованию ароматических веществ сусла (DMS, альдегидов Штрекера и других карбонилов). Такой эффект достигается за счёт применения щадящих способов кипячения, обеспечивающих интенсивное испарение ароматических веществ сусла при одновременно низкой тепловой нагрузке.

Однако традиционные штаммы *Saccharomyces (S. pastorianus, S. carlsbergensis, S. cerevisiae)* даже при низких температурах со временем сбраживают мальтозу, поэтому контроль процесса сложен. Как указано в работе [1, с. 165], эти дрожжи используют как глюкозу, так и мальтозу, что приводит к образованию спирта и вкусовых соединений во время брожения. Чем выше концентрация сахаров в сусле, тем больше будет произведено алкоголя.

Использование *Pichia kluyveri*

Более перспективным является использование дрожжей, которые сбраживают только глюкозу, а не мальтозу, тем самым производя алкоголь только из глюкозы. Глюкоза присутствует в сусле в гораздо более низких концентрациях, чем мальтоза, и, следовательно, из того же количества сусла будет произведено меньше алкоголя по сравнению с использованием обычных пивоваренных дрожжей [21].

Согласно патенту EP 3 354 717 B1 [21], штамм дрожжей Pichia kluyveri не утилизирует мальтозу и мальтотриозу – основные сахара пивного сусла. Это позволяет ограничить образование этанола на уровне менее 0,5% объёма без применения энергозатратных стадий удаления алкоголя.

Как отмечают Меледина, Давыденко и Васильева [20, с. 23], физиологическое состояние дрожжей критически влияет на профиль побочных продуктов брожения. Штамм Pichia kluyveri характеризуется следующими свойствами [21]:

1. отсутствие мальтазной активности;
2. способность продуцировать повышенные концентрации изоамилацетата (банановый аромат) и этилоктаноата (фруктовые ноты);
3. оптимальная температура ферментации 20–25°C;
4. образование минимального количества DMS и сероводорода по сравнению с дрожжами рода Saccharomyces.

В таблице 3 представлены сравнительные данные по синтезу ароматических соединений.

Таблица 3.

Концентрации ароматических соединений (мкг/л) в зависимости от штамма дрожжей

Соединение	S. pastorianus (контроль, 4,8% этанола)	Pichia kluyveri (0,4% этанола)
Изоамилацетат	1200	950
Этилоктаноат	250	210
Изоамиловый спирт	8200	6800
Этилацетат	1800	1100
DMS	86	32

Данные показывают, что, несмотря на значительно более низкое содержание этанола, Pichia kluyveri обеспечивает концентрации ключевых ароматических соединений на уровне 70–80% от традиционного пива.

Согласно патенту EP 3 354 717 B1 [21], концентрация мальтозы в готовом пиве, сваренном с использованием Pichia kluyveri, составляет от 10 до 50 г/л, а содержание мальтотриозы – от 5 до 80 г/л. Это обеспечивает энергетическую ценность 40–200 ккал/л, что особенно важно для спортсменов, поскольку углеводы восполняют запасы гликогена после физических нагрузок.

3. Проблема коагуляции белков и пути её решения

При добавлении нативных белков в безалкогольное пиво с последующей пастеризацией наблюдается образование видимых хлопьев и осадка. Как указано в патенте CA 3 216 283 A1 [22], это обусловлено денатурацией глобулярных белков при нагревании и их взаимодействием с полифенолами и углеводами.

Решением проблемы является использование частичного ферментативного гидролиза белка. Степень гидролиза (degree of hydrolysis, DH) представляет собой процент пептидных связей, разорванных ферментами. В патенте CA 3 216 283 A1 [22] установлено, что при степени гидролиза DH менее 8% коагуляция остаётся значительной (осадок более 0,4% по массе). При DH от 20 до 40% осадок не превышает 0,05% по массе, а напиток остаётся прозрачным. При DH выше 40% появляется нежелательный кисловатый привкус из-за накопления свободных аминокислот.

Оптимальным диапазоном является DH от 20 до 35%. В таблице 4 представлена зависимость степени коагуляции от степени гидролиза белка.

Таблица 4.

Влияние степени гидролиза белка на коагуляцию при пастеризации (65°C, 20 мин)

Степень гидролиза DH, %	Масса осадка, %	Прозрачность	Органолептическая характеристика
0 (нативный белок)	1,20	Сильное помутнение	Горьковатый привкус

Степень гидролиза DH, %	Масса осадка, %	Прозрачность	Органолептическая характеристика
5	0,80	Заметное помутнение	Слабо горьковатый
8	0,40	Лёгкая опалесценция	Нейтральный
12	0,20	Слабая опалесценция	Нейтральный
20	0,05	Прозрачное	Чистый вкус
25	0,03	Прозрачное	Чистый вкус
30	0,02	Прозрачное	Слегка кисловатый
40	0,01	Прозрачное	Кисловатый
50	0,01	Прозрачное	Выраженный кисловатый

4. Комбинация методов и технологические рекомендации

Для улучшения вкусовых характеристик продукта рекомендуется комбинировать различные методы получения безалкогольного пива. Как отмечается в работе [1, с. 190], путём купажирования безалкогольного пива, полученного методом остановленного брожения, с деалкоголизированным пивом можно предотвратить получение продукта с сусловым, пустым и кисловатым вкусом.

В таблице 5 представлена сводная характеристика основных технологий получения безалкогольного пива.

Таблица 5.

Сравнение методов деалкоголизации пива

Параметр	Вакуум-дистилляция	Обратный осмос	Диализ	Остановленное брожение (Pichia kluyveri)
Содержание этанола, % об.	0,03–0,45	0,2–0,5	0,2–0,5	≤0,4
Потери эфиров, %	80–95	60–85	40–60	10–30
Необходимость доп. оборудования	Высокая	Средняя	Высокая	Низкая
Энергозатраты, кВт·ч/дал	8–12	6–10	4–8	1–2

Параметр	Вакуум-дистилляция	Обратный осмос	Диализ	Остановленное брожение (Pichia kluyveri)
Сохранение мальтозы	Нет	Частично	Частично	Да (10–50 г/л)

5. Рекомендуемая технологическая схема

На основании проведённого анализа предложена следующая технологическая схема производства безалкогольного пива, обогащённого белком, с использованием штамма Pichia kluyveri.

Приготовление сусла с начальной экстрактивностью 8–10%. Для снижения образования мальтозы рекомендуется специальное затирание солода со скачкообразным повышением температуры, как описано в работе Кунце [16, с. 535].

Ферментация штаммом Pichia kluyveri при температуре 22°C в течение 48–72 часов до достижения содержания этанола 0,3–0,4% объёма. Аэрацию сусла перед внесением дрожжей следует минимизировать для подавления образования диацетила [1, с. 165].

Отделение дрожжей центрифугированием или фильтрованием. Содержание дрожжевых клеток должно быть снижено до 0,1 млн клеток в 1 см³ [1, с. 170].

Добавление гидролизованного белка со степенью гидролиза DH 25–35% в количестве 2–4% по массе. Белок вносят в виде стерильного водного раствора после стадии ферментации, что предотвращает его ферментативную деградацию дрожжами [22].

Корректировка pH до 4,2–4,5 с использованием молочной или фосфорной кислоты. Подкисление рекомендуется проводить после отделения дрожжей, чтобы не препятствовать процессам брожения [1, с. 175].

Пастеризация при температуре 62°C в течение 20 минут. Режим пастеризации должен обеспечивать значение пастеризационного эффекта не менее 30 пастеризационных единиц (ПЕ) [1, с. 180].

Розлив в асептических условиях. Для предотвращения вторичного помутнения рекомендуется стабилизация пива поливинилполипирролидоном (ПВПП) [1, с. 185].

Заключение

В результате проведённых исследований сделаны следующие выводы.

Проведён сравнительный анализ трёх групп методов деалкоголизации пива. Установлено, что термические методы (вакуум-дистилляция) приводят к наибольшим потерям ароматических веществ (сохранение эфиров составляет 7–10% от исходного уровня). Мембранные методы (обратный осмос) сохраняют больше аромата (сохранение до 15–20%), но требуют дорогостоящего оборудования и дают кисловатый привкус [1, с. 190].

Биологический метод с использованием штамма Pichia kluyveri является наиболее предпочтительным для производства белково-обогащённого безалкогольного пива. Этот метод характеризуется низкими энергозатратами (1–2 кВт·ч/дал), сохранением мальтозы (10–50 г/л) и естественным ограничением синтеза этанола до уровня не более 0,4% объёма [21].

Установлено, что добавление гидролизованного белка со степенью гидролиза DH от 20 до 40% после стадии ферментации позволяет избежать коагуляции при пастеризации. Оптимальным является диапазон DH 25–35%, при котором осадок не превышает 0,03–0,05% по массе, а напиток остаётся прозрачным [22].

Определены оптимальные технологические параметры: содержание гидролизованного белка 1–5% по массе, pH 4,2–4,5, температура пастеризации 62–64°C, продолжительность пастеризации 20 минут [1, 22].

Разработанная технология может быть рекомендована для малых и средних пивоваренных заводов как экономически эффективная [23]. Продукт рекомендуется для употребления спортсменами после физических нагрузок с целью восстановления мышечной ткани и восполнения энергозатрат.

Библиографический список

1. *Бак В.* Практическое руководство по технологии пивоварения / перевод на русский язык, оформление и верстка: MedienTransferVerlan. Бремен: AusgewahlteKapitelderBrauereitechnologie, 2008. 429 с.

2. *Корстелев Н.Б.* От А до Я. – М.: Медицина, 1987. 288 с.

3. *Некрасов Ф.С., Черданцева Е.С.* Исследование влияния алкоголя на организм и жизнь человека // Научно-исследовательские публикации. 2016. № 2 (34). С. 152-153.

4. О пользе и вреде пива // Фитнес онлайн [Электронный ресурс]. URL: http://www.fitness-online.by/2006/06/09/polza_vred_piva.html

5. *Нестерина М., Скурихина И.М.* Химический состав пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1979. 241 с.

6. *Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др.* Пищевая химия / под ред. А.П. Нечаева. 2-е изд., перераб. и испр. СПб.: ГИОРД, 2003. 640 с.

7. *Главачек Ф., Лхотский А.* Пивоварение / пер. с чешского И.В. Холодовой, под ред. А.П. Колпакчи. М.: Пищевая промышленность, 1977. 609 с.

8. *Хорунжина С.И.* Биохимические и физико-химические основы технологии солода и пива. М.: Колос, 1999. 312 с.

9. *La Porte R.E., Cresanta J.L., Kuller L.H.* The relationship of alcohol consumption to atherosclerotic heart disease // Prev Med. 1980. Vol. 9 (1). P. 22-40.

10. *Ермолаева Г.А., Хлыновский М.Д.* Использование кукурузы при получении пивного сусла в аппаратах большой вместимости // Пиво и напитки. 2004. №6. С. 22.

11. *Ильин Е.В., Славская И.Л., Макаров С.Ю.* Влияние безалкогольного пива на здоровье человека // Пиво и напитки. 2010. №6. С. 48-49.

12. *Исаева В.С.* Источники контаминации и микробиологический контроль производства напитков. М.: Пиво и напитки 21 век, 2020. 732 с.

13. *Пономарева И.Н., Корнилова О.А., Чернова Н.М.* Биология. 9 класс. М.: Вентана-Граф, 2013.

14. *Сытинский И.А.* Алкоголь и мозг. М.: Знание, 2011.

15. *Оганнисян В.Г.* Безалкогольное пиво и способ его получения [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bezalkogolnoe-pivo-i-tehnologii-ego-polucheniya

16. *Кунце В.* Технология солода и пива. 3-е изд., перераб. и доп. Пер. с нем. 9-го изд. СПб.: Профессия, 2009. 1064 с.

17. Солод Пилзнер / Pilsner (Ireks) [Электронный ресурс]. URL: https://бир.рф/shop/1555/desc/solod-pilzner-pilsner-ireks-25-kg

18. Солод КараРед / CaraRed (Германия) [Электронный ресурс]. URL: https://бир.рф/ingredients/grain/special_malt/kararehd/10-1-0-59

19. ГОСТ 29294-2021. Солод пивоваренный. Технические условия.

20. *Меледина Т.В., Давыденко С.Г., Васильева Л.М.* Физиологическое состояние дрожжей: учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. 48 с.

21. Патент № EP 3 354 717 B1, C12C 12/00 (2006.01). Production of low-alcohol or alcohol-free beer with Pichia kluyveri yeast strains / Saerens, Sofie; Swiegers, Jan Hendrik. Дата подачи: 07.03.2014; дата публикации: 01.08.2018.

22. Патент № CA 3 216 283 A1, C12C 12/04 (2006.03). Alcohol-free beer enriched with proteins and method for the manufacture thereof / D'Hoore, Laurens Alexander; Hesseling, Florian Alexander Ludger Norbert; Verstrepen, Kevin Joan; Spaepen, Stijn Louis Ursula. Дата подачи: 22.04.2022; дата публикации: 27.10.2022.

23. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1293-03 «Гигиенические требования по применению пищевых добавок». М., 2003.

24. *Каракеян В.И., Никулина И.М.* Безопасность жизнедеятельности: учебник и практикум для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2020. 313 с.

25. ГОСТ 31711-2012. Пиво. Общие технические условия.