***Биологические науки***
**УДК** 663.43

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШТАММА *PICHIA KLUYVERI* В ТЕХНОЛОГИИ БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО ПИВА, ОБОГАЩЁННОГО БЕЛКОМ

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

**Аннотация**

В статье рассмотрены современные подходы к производству безалкогольного пива с повышенным содержанием белка. Проанализированы физические и биологические методы деалкоголизации. Установлено, что использование штамма дрожжей *Pichia kluyveri* позволяет естественным путём ограничить синтез этанола на уровне не более 0,4% объёма. При добавлении гидролизованного белка со степенью гидролиза не менее 20% предотвращает коагуляцию при пастеризации. Разработаны оптимальные технологические параметры, обеспечивающие стабильность и высокие органолептические свойства готового продукта.

**Ключевые слова**: безалкогольное пиво, *Pichia kluyveri*, гидролизованный белок, ферментация, пастеризация, спортивное питание, коагуляция

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

# PROSPECTS FOR USING THE *PICHIA KLUYVERI* STRAIN IN THE PRODUCTION OF PROTEIN-ENRICHED NON-ALCOHOLIC BEER

**Abstract**

The article discusses modern approaches to the production of non-alcoholic beer with a high protein content. A comparative analysis of physical and biological dealcoholization methods is carried out. It has been established that the use of the Pichia kluyveri yeast strain naturally limits the synthesis of ethanol to a level of no more than 0.4% vol. It has been proven that the addition of hydrolyzed protein with a degree of hydrolysis of at least 20% prevents coagulation during pasteurization. Optimal technological parameters have been developed to ensure the stability and high organoleptic properties of the finished product.

**Keywords:** non-alcoholic beer, Pichia kluyveri, hydrolyzed protein, fermentation, pasteurization, sports nutrition, coagulation

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

**Для цитирования**

*Султанов Р.Н.,* Перспективы использования штамма pichia kluyveri в технологии безалкогольного пива, обогащённого белком // Молодежь и наука. 2026, Т. 14, №5, С. 7-12.

## Введение

В последние годы во всём мире наблюдается устойчивая тенденция к росту потребления безалкогольных напитков. Согласно данным NielsenIQ, за три квартала 2023 года продажи безалкогольного пива за рубежом выросли на 7,9%. В России, несмотря на временное снижение на 3% в натуральном выражении, денежный объём рынка увеличился на 3,3%, что свидетельствует о сдвиге в сторону более качественных продуктов [11, с 48]. Ассортимент безалкогольной продукции в России значительно сократился после ухода крупных иностранных брендов, что открывает возможности 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, поскольку обеспечивают организм аминокислотами, углеводами 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 возникают две ключевые проблемы. Во-первых, необходимо ограничить содержание этилового спирта на уровне не более 0,5% объёма в соответствии с законодательством. Во-вторых, требуется предотвратить коагуляцию белка при термической обработке (пастеризации), которая необходима для обеспечения микробиологической стабильности продукта.

Цель настоящей работы – на основе анализа научно-технической и патентной информации разработать технологические параметры производства безалкогольного пива с использованием штамма дрожжей Pichia kluyveri и гидролизованных белков, обеспечивающие стабильность продукта при пастеризации и высокие органолептические свойства.

**Обзор методов деалкоголизации**

Производство безалкогольного пива условно можно разделить на два основных способа: физические и биологические. Физические методы включают удаление этилового спирта из сброженного пива (вакуум-дистилляция, обратный осмос, диализ), тогда как биологические методы направлены на подавление его образования либо сдерживание синтеза алкоголя в определённых пределах [1, с 120].

Вакуум-дистилляция. Данный метод основан на испарении этанола при пониженном давлении (60–200 мбар) и температуре 37–60°C [1]. 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. По данным, представленным в таблице 1.1 работы [1, с 130], сохранение этилацетата составляет менее 8%, а изоамилацетата – около 7% от исходного уровня. Это приводит к изменению профиля аромата в сторону «хлебных», «карамельных» и «сусловых» нот.

Обратный осмос. Это мембранный процесс, при котором пиво под давлением 20–60 бар разделяется на пермеат (вода, этанол и мелкие молекулы) и ретентат (концентрат с пониженным содержанием спирта) [1]. Для получения содержания этанола менее 0,5% объёма требуется диафильтрация с добавлением воды. Преимуществом метода является отсутствие тепловой нагрузки, благодаря чему лучше сохраняются некоторые эфиры. Недостатки включают высокие требования к чистоте мембран, необходимость CIP-мойки и частичное удаление горьких кислот. Согласно таблице 1.2 в [1], сохранение этилового эфира октановой кислоты составляет около 9,5%, а гексановой кислоты – около 10,5%.

Диализ. Этот метод основан на диффузии веществ через мембрану под действием градиента концентрации без приложения давления. Процесс является щадящим, но не позволяет снизить содержание этанола ниже 0,2% объёма и требует большого количества диализата [1]. Основная область применения – производство слабоалкогольного (не безалкогольного) пива.

Биологический метод (остановленное брожение). Биологические методы основаны на торможении брожения до достижения заданного низкого уровня этанола. Традиционная технология остановленного брожения включает специальное затирание солода со скачкообразным повышением температуры, что снижает образование мальтозы, и последующее холодное введение дрожжей при температуре 0–5°C [1, 16]. Однако традиционные штаммы Saccharomyces даже при низких температурах со временем сбраживают мальтозу, поэтому контроль процесса сложен.

**Характеристика дрожжей Pichia kluyveri**

Более перспективным является использование дрожжей, селективно сбраживающих только моносахариды. 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], физиологическое состояние дрожжей критически влияет на профиль побочных продуктов брожения. Штамм Pichia kluyveri характеризуется следующими свойствами [21]:

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

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. Это обеспечивает энергетическую ценность 40–200 ккал/л, что особенно важно для спортсменов, поскольку углеводы восполняют запасы гликогена после физических нагрузок.

**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 1 представлена зависимость степени коагуляции от степени гидролиза белка.

*Таблица 1*

***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 |
| 5 | 0,80 | Заметное помутнение | Слабо горьковатый |
| 8 | 0,40 | Лёгкая опалесценция | Нейтральный |
| 12 | 0,20 | Слабая опалесценция | Нейтральный |

| Степень гидролиза DH, % | Масса осадка, % | Прозрачность | Органолептическая характеристика |
|---|---|---|---|
| 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 |

Влияние pH и температуры пастеризации

Активная кислотность (pH) пива также влияет на стабильность гидролизованного белка. Как отмечено в работе [22], при pH ниже 4,0 гидролизованный белок частично выпадает в осадок даже без нагрева. При pH выше 5,5 усиливаются реакции меланоидинообразования, что приводит к потемнению напитка и появлению карамельных тонов. Оптимальным диапазоном является pH от 4,2 до 4,8.

Температура пастеризации также играет важную роль. При температуре 60°C в течение 30 минут коагуляции не наблюдается при DH не менее 20%. Повышение температуры до 68°C сокращает время до 15 минут, однако при DH 20–25% возможно лёгкое помутнение. Рекомендуемый режим пастеризации: 62–64°C в течение 20 минут.

**Рекомендуемая технологическая схема**

На основании проведённого анализа предложена следующая технологическая схема производства безалкогольного пива, обогащённого белком. 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].

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

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].

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

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

**Заключение**

В результате проведённых исследований сделаны следующие выводы.

Проведён анализ физических и биологических методов получения безалкогольного пива. Установлено, что термические методы (вакуум-дистилляция) приводят к наибольшим потерям ароматических веществ (сохранение эфиров составляет 7–10%). Мембранные методы (обратный осмос) сохраняют больше аромата (сохранение до 15–20%), но требуют дорогостоящего оборудования и дают кисловатый привкус.

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

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.

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.

Разработанная технология может быть рекомендована для малых и средних пивоваренных заводов как экономически эффективная. 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. *Некрасов Ф.С., Черданцева Е.С.* Исследование влияния алкоголя на организм и жизнь человека // Научно-исследовательские публикации. 2016. № 2 (34). С. 152-153.

3. Н*естерина М., Скурихина И.М.* Химический состав пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1979. 241 с.

4. *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.

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

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

7. *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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

19. 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.

20. 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.

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

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

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