УДК 663.45:663.123

ВИКОРИСТАННЯ ІММОБІЛІЗОВАНИХ ПИВНИХ ДРІЖДЖІВ ДЛЯ ЗБРОДЖУВАННЯ ПИВНОГО СУСЛА
USE OF IMMOBILIZED BEER YEAST FOR BREWING BEER WORT

[1]Дідух Г.В., канд. техн. наук, доцент, [1]Безусов А.Т., д-р техн. наук, професор,
[1]Федоркан Д. А., студент, [2]Гусак-Шкловська Я. Д., викладач
[1]Одеська національна академія харчових технологій
[2]Коледж нафтогазових технологій, інженерії та інфраструктури сервісу ОНАХТ
[1]G. Diduch, [1]A. Bezusov, D. [1]Fedorkan, [2]Ya. Husak-Shklovska
[1]Odessa National Academy of Food Technologies
[2]College of oil and gas technologies, engineering and service infrastructure ONAFT

Copyring © 2019 by author and the journal «Scientific Works»
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC By).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

DOI https://doi.org/10.15673/swonaft.v2i83.1519

Анотація. *У роботі розглянуто можливість застосування іммобілізованих пивних дріжджів низового зброджування, включених у матрицю гелю полівінілового спирту, у виробництві крафтового пива у закладах ресторанного господарства. Проаналізовано способи іммобілізації мікроорганізмів та вибір носія. Ефективність включення клітин у гелі досягається при оптимальному співвідношенні розмірів пор гелю і клітин мікроорганізмів (дріжджів) та оптимізації мікрооточення клітини. Для підвищення механічної міцності носіїв і більш міцного утримування включених у них клітин мікроорганізмів використовують обробку матриць біфункціональними зшиваючими реагентами, які здатні взаємодіяти з функціональними групами, що входять до складу оболонки клітин. Перевагою методу є його простота, можливість одержання препаратів у будь якій формі (сферичні частинки, плівки, рулони та ін.), універсальність, тобто можливість використання для іммобілізації будь-яких біологічно активних речовин. Одержані зразки іммобілізованих клітин стабільні, оскільки захищені гелем від несприятливих зовнішніх впливів, у тому числі і від бактеріального забруднення, оскільки крупні бактеріальні клітини не можуть проникнути у дрібнопористу матрицю. Встановлено переваги застосування полівінілового спирту у якості носія перед іншими речовинами, які застосовують для іммобілізації та переваги способу іммобілізації включення у структуру матриці, який відрізняється міцністю фіксації клітин. Хімічні методи іммобілізації клітин не знаходять широкого розповсюдження. Вони засновані на утворенні ковалентних зв'язків з активованим носієм, на поперечній зшивці клітин за рахунок активних груп амінокислот та інших сполук у оболонці клітин з біфункціональними реагентами, які в свою чергу, мають токсичну дію на клітини, зменшуючи їхню життєдіяльність. Визначено перспективи застосування іммобілізованих клітин у процесах бродіння при отриманні спиртовмісної продукції. Проведено дослідження процесу головного зброджування пивного сусла та приведена порівняльна характеристика якісного показника, який визначається видимим ступенем зброджування, між зразком із застосуванням іммобілізованих дріжджів та зразком із прямим внесенням дріжджів. Можна стверджувати, що спосіб зброджування пивного сусла із застосуванням іммобілізованих дріжджів не впливає на хід технологічного процесу. Зроблено висновки про перевагу використання методу зброджування із застосуванням іммобілізованих клітин, який дає значну економію матеріальних ресурсів (дріжджів) у порівнянні із класичною технологією виробництва пива. Запропонована технологія дає можливість значно зменшити витрати на проведення технологічного процесу освітлення та фільтрування крафтового пива і квасу при виробництві у закладах ресторанного господарства, та заощадити матеріальні ресурси, адже використання дріжджів у іммобілізованому вигляді підвищує кратність їх застосування.*

Abstract. *The article considers the possibility of using immobilized beer yeast of germinal fermentation, included in the matrix of polyvinyl alcohol gel, in the production of craft beer in restaurants. Methods of immobilization of microorganisms and carrier selection are analyzed. The efficiency of inclusion of cells in the gel is achieved with the optimal combination of pore size gel cells of the microorganism (yeast) and optimization of the microenvironment of the cell. In order to increase the mechanical strength of the carriers and to hold back*

the cells included in them, matrix processing with bifunctional cross-linking reagents that are able to interact with the functional groups that are part of the cell's shell is used. The advantage of the method are its simplicity, the possibility of obtaining preparations in any form (spherical particles, films, rolls, etc.), versatility, that is, the possibility of using any biologically active substances for the immobilization. The obtained samples of immobilized cells are stable, since they are protected by the gel from adverse external influences, including from bacterial contamination, because large bacterial cells can not penetrate into a small porous matrix. The advantages of using of polyvinyl alcohol as a carrier in comparison with other substances used for immobilization and the advantages of the method of immobilization of incorporation into a matrix structure differing in the strength of cell fixation have been established. Chemical methods of cell immobilization are not widely used. They are based on the formation of covalent bonds with the activated carrier, on the transverse crosslinking of cells due to active groups of amino acids and other compounds in the shell of cells with bifunctional reagents, which, in turn, have a toxic effect on cells, reducing their livelihoods. The prospects of application of immobilized cells in the processes of fermentation in obtaining alcohol-containing products are determined. The research of the process of main brewing of beer wort was carried out and a comparative characteristic of a qualitative indicator determined by the visible degree of fermentation, between a sample with the using of immobilized yeast and a sample with a direct yeast injection was carried out. Conclusions in favor of the using of the digestion method with the using of immobilized cells, which provides significant savings in material resources (yeast) compared with the classical technology of beer production are made. The proposed technology makes it possible to significantly reduce the cost of the process of lighting and filtering craft beer and kvass during production in restaurants, and to save material resources, since the use of yeast in immobilized form increases the multiplicity of their application.

Ключові слова: *крафтове пиво, іммобілізовані пивні дріжджі, полівініловий спирт, ступінь зброджування.*

Keywords: *kraft beer, immobilized beer yeast, polyvinyl alcohol, degree of fermentation.*

Постановка проблеми та її зв'язок з найважливішими науковими і практичними завданнями.

Пиво супроводжує людство на протязі всієї історії цивілізації, тобто уже близько десяти тисяч років. За такий довгий проміжок часу в технології пивоваріння багато що змінилося. Технології виготовлення пива постійно удосконалюються, особливо у пивоварів крафтового виробництва, які прагнуть не тільки творчо оживити забуті технології, але і впроваджувати інновації [1].

В останні роки в технологію виробництва пива стали впроваджуватися нові технології, які дозволяють інтенсифікувати виробничі процеси, і в першу чергу найбільш тривалі – зброджування.

Тенденція до прискорення процесу бродіння привела до нових методів зброджування пивного сусла – безперервних, періодичних в апаратах великої ємності, зброджуванню іммобілізованими дріжджами.

Використання ферментерів з іммобілізованими дріжджами, у виробництві крафтового пива, обіцяє збільшити і оптимізувати вихід готового продукту з одиниці об'єму колони для зброджування сусла, яка у такому разі стає реактором безперервної дії, зменшити поточні витрати і автоматизувати технологічний процес головного зброджування не вдаючись до значних витрати на реконструкцію виробництва. Але переваги колонізації дріжджами пористих неорганічних матричних носіїв або стимуляції їх прив'язаності до модифікованої поверхні носія все ще дискутуються [2].

Під іммобілізацією клітин розуміють обмеження свободи їх фізичного руху у просторі [3], матеріальний посередник, який обмежує рухливість, є носієм, а отримана система клітина – носій називається іммобілізованим біокаталізатором. Іммобілізація клітин забезпечує можливість створення біотехнологічних процесів тривалого використання з високим виходом цільового продукту, при цьому технічне рішення таких процесів суттєво спрощене у порівнянні з процесами на основі вільних клітин [4].

Іммобілізація мікробних клітин і ферментів – це широко розповсюджений у природі феномен, який відіграє важливу роль у стратегії виживання і збереження максимального числа каталітичних функцій. У природі клітинами, у якості носія, використовуються нерозчинні матеріали, до яких клітини прикріпляються в реальних умовах (наприклад деревина, мінерали і т. п.). У такому випадку функціонування клітини в іммобілізованому стані відбувається нативно [3].

Іммобілізація сприяє стабілізації ферментної активності клітин, принциповому збільшенню об'ємної продуктивності, подовженню терміну дії ферментів в середині клітини і поза неї, скороченню часу технологічного процесу, досягненню більш ефективного технологічного перетворення продукту (у нашому випадку перетворення пивного сусла у пиво).

Використання нерозчинних носіїв для іммобілізації клітин дозволяє отримувати мікробіально якісний продукт при багаторазовому застосуванні, і технічно не складному розділенні отриманих продуктів від біокаталізатора [4].

Існують два способи іммобілізації ферментів та клітин: фізичні і хімічні методи. При фізичних способах іммобілізація досягається без утворення ковалентних зв'язків між матрицею і ферментом або клітиною мікроорганізму. Виділяють дві підгрупи способів: 1) адсорбція на нерозчинних носіях; 2) методи включення у матрицю носія – включення у гель; мікрокапсулювання; включення у порожнисті нитки; в ліпосоми; включення у середовище з розчинними ферментами чи мікроорганізмами. Іммобілізація адсорбцією на нерозчинних носіях передбачає взаємодію розчину ферменту з матрицею органічної і неорганічної природи. Взаємодія у цьому способі відбувається за рахунок ван-дер-ваальсових сил, електростатичних взаємодій, водневих зв'язків і гідрофобних взаємодій носія та білків у складі ферменту чи мікроорганізмів. Хімічні методи іммобілізації ґрунтуються на ковалентному зв'язку молекул мікроорганізму або ферменту. Позитивною рисою іммобілізованих ферментів, одержаних хімічним методом, є їх стійкість до десорбції, вони не „змиваються" [5].

Одним із способів збільшення продуктивності у біотехнологічних процесах виробництва харчової продукції є використання іммобілізованих клітин. Іммобілізовані клітини зберігають технологічну функцію, як безпосередньо після іммобілізації, так і після тривалого терміну використання у біотехнологічних процесах.

Важливою характеристикою іммобілізованих клітин, яка відрізняє їх від вільних клітин, є тривала функціональна активність [6].

Технологія виробництва пива потребує значних фінансових витрат на закупівлю дріжджів, які повинні постійно обновлятися після десятикратної генерації. Застосування іммобілізованих дріжджів дає можливість значно скоротити витрати на технологічний процес виробництва пива та квасу. Застосування іммобілізованих дріжджів на стадії зброджування перспективне, але в даний час така технологія знаходиться у стадії розробки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Використання іммобілізованих дріжджів широко досліджується як вітчизняними науковцями так і закордонними. На думку Г.А. Єрмолаєвої [8], переваги застосування такої технології очевидні, це:

- підвищення потужності ділянок головного зброджування і доброджування, зменшення площі для встановлення обладнання;
- можливість створення умов для повного зброджування цукрів, можливість стабілізації якості готової продукції;
- повне відділення збродженого субстрату від клітин мікроорганізмів, полегшується такий ресурсоємний процес як фільтрування;
- підвищення стійкості дріжджів до несприятливого впливу підвищеної концентрації спирту;
- інтенсивність розмноження клітин дріжджів зменшується і як наслідок, зменшення відходів;
- зменшення ресурсів (людино-годин) під час роботи з дріжджами;
- можливість використання рас дріжджів (для створення відмінних органолептичних характеристик) не залежно від їх агломераційної здатності;
- можливість автоматизації технологічного процесу зброджування.
- Аналіз досліджень науковців [7] показує, що пошук ефективних методів іммобілізації і носіїв для закріплення на них клітин, основується на методах іммобілізації:
- адсорбція мікроорганізмів на поверхні інертних носіїв;
- - включення у гелі (носіями виступають альгінат кальцію, желатин, каррагенан, агароза, хітозан, пектин, поліакриламід та ін.);
- ковалентне зв'язування;
- мембранне мікрокапсулювання мікроорганізмів.

Кожен з цих методів має свої преваги та недоліки.

Найбільш практичний інтерес представляють три способи іммобілізації – включення у матрицю, адсорбційний метод та колонізація мікроорганізмами пористих металів.

В науковій роботі [8] був застосований метод включення пивних дріжджів низового зброджування у матрицю полівінілового спирту, тому розглянемо цей метод більш детально.

Суть цього методу іммобілізації полягає в тому, що клітини дріжджів включаються у тривимірну сітку із тісно переплетених полімерних ланцюгів, які утворюють гель. Середня відстань між сусідніми ланцюгами у гелі менша розміру включеної клітини дріжджів, тому клітина не може покинути полімерну матрицю і вийти у навколишній розчин, тобто знаходиться в іммобілізованому стані. Додатковий вклад в утримання клітини у сітці гелю можуть вносити також іонні і водневі зв'язки між клітиною дріжджів і оточуючими її полімерними ланцюгами.

Особливістю створення кріогелів полівінілового спирту є наявність пор із середнім розміром 0,18…0,26 мкм. Наслідком формування пор при розплавленні кристалів пороутворювача (льоду), який

обмежує їх розмір, є приблизно однаковий розмір пор в отриманому гелі. Отриманий таким чином носій не створює додаткових дифузійних забруднень для розчинних речовин [9].

Полімерними кріогелями називають желеподібні матеріали, сформовані в неглибоко заморожених розчинах полімерних або мономерних попередників. Неглибоко замороженими системами вважаються системи за температури не нижче, а ніж декілька десятків градусів від точки заморожування чистого розчинника. Подібні системи, як правило, є двофазними, вони містять полікристали твердої фази (порогени) і невеликий об'єм не кристалізованої рідкої мікрофаги, де концентруються розчинені речовини і відбувається формування кріогелевої матриці [9].

Кріогелі полівінілового спирту (ПВС) формуються у результаті заморожування концентрованих розчинів ПВС, їх витримці у замороженому стані на протязі визначеного часу і відтаванню. В основі утворення кріогелю лежить структурування полімеру за рахунок утворенню водневих зв'язків. Іммобілізація дріжджів у кріогель ПВС включає в себе: накопичення біомаси до глибокої стаціонарної фази росту, приготування суспензії клітин в розчині полімеру, заморожування в середовищі гідрофобної рідини, розморожування.

Цей спосіб відрізняється достатньою міцністю фіксації клітин. При цьому клітина поміщена у полімерну сітку, в осередки якої потрапляють молекули субстрату (сусла пивного).

Для створення кріогелів використовують також натуральні біополімери – полісахариди з карбоксильною групою (альгінат, каррагенан, пектин) або з аміногрупою (хітозан).

З цих носіїв отримують гелі. Отримані при полімеризації гелі недостатньо стійкі до механічних впливів, але інертні до компонентів субстрату і продуктів метаболізму клітини.

Для отримання іммобілізованих клітин дріжджів у гелі, з них спочатку роблять суспензію у розчині альгінату натрію. Потім розпорошують цю суспензію з розчином хлориду кальцію. Гранули, які утворюються, мають нерозчинний шар альгінату кальцію з властивостями напівпроникної мембрани. Але з часом при механічному терті гранул між собою каркасний шар стирається і це перешкоджає промисловому застосуванню такого носія.

Доброю альтернативою поліакріламідним гелям є гідрогелі полівінілового спирту. Їх отримують заморожуванням концентрованих розчинів спирту, які проявляють високу стійкість до агресивних розчинів, нетоксичні та механічно стійкі [10].

В роботі [11] показано, що іммобілізовані клітини, включені у кріогель ПВС, мають високу бродильну активність, можуть багаторазово використовуватися в процесах спиртового бродіння.

Іммобілізовані у ПВС клітини *Saccharomyces cerevisiae* стають майже у два рази стійкіші до етанолу. Зброджування у іммобілізованих клітин відбувається у 1,5 рази швидше, а ніж у вільних клітин [12].

Мета роботи полягає у дослідженні процесу головного зброджування пивного сусла іммобілізованими дріжджами, включеними у гель полівінілового спирту та порівняння, за допомогою визначення видимого ступеня зброджування, роботоспроможності запропонованої технології зброджування за класичною технологією, яка передбачає безпосередній контакт дріжджів з продуктом.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили на кафедрі технології ресторанного і оздоровчого харчування та кафедрі біоінженерії і води ОНАХТ (Одеса, Україна).

У роботі використовували полівініловий спирт, у сухому гранульованому вигляді пивні дріжджі низового зброджування *Saccharomyces cerevisiae* ліофільно висушені, та пивне сусло, вироблене інфузіоним способом із застосуванням ячмінного солоду фірми *Weyermann* типу *Munich.* Цей спосіб дуже широко використовується при виготовленні крафтового пива в ресторанах-пивоварнях.

Іммобілізацію дріжджів проводили згідно розробленим методом: до 100 мл 10 % - го водного розчину полівінілового спирту додавали 5 г дріжджів у сухому вигляді, при постійному перемішуванні до повного розчинення дріжджів і рівномірного розподілу їх у розчині ПВС (30 хв.).

Для отримання розчину ПВС брали 10 % сухого полівінілового спирту та 90 % дистильованої води. Воду нагрівали до температури 74 °С та вносили полівініловий спирт, далі ретельно перемішували до повного розчинення (гелеутворення). Розчин охолоджували до температури 40…45 ° С і додавали дріжджі у кількості зазначеної вище. Для формування робочої поверхні і збільшення контакту між носієм іммобілізованих дріжджів і пивним суслом, отриманий рідкий гель з включеними в нього пивними дріжджами наносили пензликом на стерильний бавовняний носій у вигляді стрічки (бинт), розміром 400х150 мм, який поміщали на поверхню скла. Переносили отриману конструкцію у морозильну камеру із температурою мінус 24 ° С і заморожували з витримкою 24 год і розморожували, з подальшим повторним заморожуванням і розморожуванням. Знімали структуровану стрічку кріогелю зі скла і надавали їй форму рулона для того, щоб помістити в скляну трубу у вигляді діоптра. Після промивання водою про-

пускали через діоптр 10 л пивного сусла і проводили головне зброджування при температурі 5…7 ° С на протязі 8 діб.

Під час процесу бродіння сусла визначали видимий ступінь зброджування та порівнювали з класичним процесом бродіння.

Приготування сусла інфузійним способом включає такі технологічні операції [13]: - затирання солоду з водою при температурі 37…40 ° С, перемішування 20…30 хв;

підвищення температури до 50…52 ° С, робимо паузу (білкову) на протязі 20 хв без перемішування;

підвищення температури до 62…64 ° С зі швидкістю 1 ° С за хв, витримуємо 10…30 хв (мальтозна пауза);

підвищення температури до 70…72 ° С при перемішуванні для остаточного оцукрення затору;

визначення кінця процесу визначаємо за йодною пробою;

оцукрений затор підігріваємо до 75 ° С і проводимо фільтрацію;

кип'ятіння затору з хмелем до вмісту сухих речовин 12 % приблизно 1,5 год;

охолодження затору до температури зброджування 5…7 ° С;

для 1 (1 - го)зразка: внесення пивних дріжджів низового зброджування у кількості 2,5 г/дал;

для 2 - го зразка: пропускання сусла через іммобілізовані дріжджі;

головне зброджування: температура 5…7 ° С, до досягнення видимого ступеня зброджування (аттенюації) 65…67,5 %.

Головне зброджування протікає в декілька стадій, які відрізняються за зовнішнім виглядом поверхні сусла, яке зброджується, а також за зміною екстрактивності і ступеня освітлення молодого пива.

При першій стадії зброджування, яка називається забілом, на поверхні сусла з'являється смужка білої піни. Ця стадія продовжувалася 1,5 доби. При цьому екстрактивність сусла знижується.

Друга стадія зброджування – період низьких завитків характеризується більш інтенсивним виділенням діоксиду вуглецю, утворенням густої компактної піни. Піна, на початку біла, а потім поступово темніла із-за окислення хмелевих смол. Екстрактивність знижується на 1 % за добу. Тривалість стадії 2 доби.

Третя стадія зброджування - стадія високих завитків характеризується найбільшою інтенсивністю зброджування, максимальною температурою процесу. Спад екстрактивності від 1 до 1,5 % за добу. Піна стає пухкою, об'ємною, завитки досягають найбільшої величини, верхня ділянка завитків має коричневий колір, нижня – білий, pH знижується. Стадія триває 3…4 діб. На початку цієї стадії сусло охолоджували.

На четвертій стадії, яка називається спадом завитків або формуванням деки, піна спадає, зникають завитки, у результаті чого поверхня сусла покрита тонким шаром деки. Спад завитків продовжується 2 доби. Екстрактивність сусла знижується, припиняється зброджування.

Під час головного зброджування більша частина екстрактивних речовин перетворюється на продукти бродіння. Хід цього процесу контролюють за ступенем зброджування. Розрізняють видиму і дійсну ступінь зародження. Якщо вміст екстракту у пиві визначають у присутності спирту і вуглекислоти, то це видимий екстракт. Використовуючи ці значення визначають видимий ступінь зброджування. Дійсну ступінь зброджування знаходять після видалення спирту і діоксиду вуглецю пікнометричним методом (згідно відносній густини сусла або пива).

Через кожну добу визначали видимий ступінь головного зброджування за показниками цукрометра. Видимий ступінь зброджування – це показник, який визначає відношення видимого екстракту пива до екстрактивності початкового сусла вираженого у відсотках.

У сусло з вмістом сухих речовин за цукрометром 12 %, в перший зразок внесли сухі пивні дріжджі низового зброджування в кількості 2,5 г/дал, другий зразок пропускали через іммобілізовані дріжджі. Час контакту сусла з іммобілізованими дріжджами становив 7 с. Перед внесенням дріжджів сусло піддавали аерації для насичення його киснем.

Процес зброджування проводили при температурі 5…7 ° С, у ємності з доступом повітря, на протязі (протягом) 8 діб. Для такого сусла ступінь зброджування повинна становити 65…67,5 %. Видимий ступінь зброджування (аттенюацію) визначали за формулою:

$$V=C_2 \cdot 100 / C_1 \quad (1)$$

де, C_1 – концентрація сухих речовин у початковому суслі, %;

C_2 – різниця концентрації сухих речовин початкового сусла і концентрації сухих речовин сусла, яке збродило, %.

Результати дослідження та їхнє обговорення. Результати дослідження наведені у табл. 1.

На восьму добу видимий ступінь зброджування 1 - го зразка становив 65,8 %, а 2 - го зразка 65 %. Отримані результати вписуються в інтервал ступеня зброджування для такого виду сусла (65-67,5 %).

Ступінь зброджування пива визначає велику кількість його кінцевих властивостей після закінчення процесу бродіння, які включають у себе смакові відчуття, повноту тіла і вміст етилового спирту у пиві.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень кінетики видимого ступеня зброджування пивного сусла 12 %

Час зброджування, діб	Видимий екстракт за цукрометром, %		Видимий ступінь зброджування, %		pH	
	1 зразок	2 зразок	1 зразок	2 зразок	1 зразок	2 зразок
До зброджування	12	12	-	-	5,4	5,4
Перша	11,8	11,9	1,7	0,83	5,2	5,3
Друга	10,9	11	9,2	8,3	5	5,1
Третя	8,6	8,8	28,3	26,7	4,75	4,77
Четверта	7,1	7,2	40,8	40	4,62	4,63
П'ята	5,6	5,8	53,3	51,7	4,63	4,65
Шоста	4,9	5	59,2	58,3	4,48	4,48
Сьома	4,5	4,6	62,5	61,7	4,42	4,45
Восьма	4,1	4,2	65,8	65	4,42	4,45

Пиво, яке має дуже високу видиму ступінь зброджування (аттенюацію) у кінцевому підсумку буде дуже сухе після зброджування. Таке пиво, як правило, з більш легким тілом та смаковими відчуттями чим пиво з більш низьким видимим ступенем зброджування, також воно буде містити більше алкоголю, за умови, що сусло було з однаковою початковою густиною.

Найбільший вплив на процес зброджування здійснюють температура та кількість дріжджів. Краще всього зброджується сусло з початковою густиною 10…12 %. Видимий ступінь зброджування молодого пива повинен становити 59,1…67,5 %.

Висновки. Із отриманих результатів видно, що у 2-му зразку, з іммобілізованими дріжджами, зброджування проходить повільніше, а ніж у 1 - му зразку але суттєвих відхилень від показників наведених у таблиці не спостерігається. Можна стверджувати, що спосіб зброджування пивного сусла із застосування іммобілізованих дріжджів не впливає на хід технологічного процесу. Незначне відставання динаміки зброджування другого зразка можна пояснити збільшенням латентної фази іммобілізованих дріжджів. Щоб уникнути цього, потрібно перед використанням проводити активацію іммобілізованих дріжджів, наприклад потримати їх у дистильованій воді деякий час.

Суттєво відрізнялись зразки за прозорістю під час находження у скляній тарі. 2 - й зразок, який оброблявся іммобілізованими мікроорганізмами, мав значно прозоріший та глянцевий вигляд. Це свідчить про те, що у цьому зразку значно менша кількість клітин мікроорганізмів, які знаходяться у завислому стані.

Запропонована технологія, яка передбачає застосування у виробництві крафтового пива іммобілізованих дріжджів, дає можливість значно зменшити витрати на проведення технологічного процесу освітлення та фільтрування крафтового пива і квасу при виробництві у закладах ресторанного господарства, та заощадити матеріальні ресурси, адже використання дріжджів у іммобілізованому вигляді підвищує кратність їх застосування.

Література

1. Петроченков А.В. Крафтовое пиво. Пивная революция. Москва: Эксмо. 2018. 208 с.
2. Третьяк Л. Н., Герасимов, Е. М. Новый взгляд на проблемы пивоварения. Вестник Оренбургского государственного университета, (2). 2003. 147 - 156.
3. Beshay U. S. A. M. A., El Enshasy, H. E. S. H. A. M., Ismail, I. M. K., Moawad, H. A. S. S. A. N., & Abd-El-Ghany, S. β-glucanase productivity improvement via cell immobilization of recombinant Escherichia coli cells in different matrices. Polish journal of microbiology, 60 (2), 2011. 133 - 138. https://doi.org/10.33073/pjm-2011-018
4. Крякунова Е.В, Канарский, А.В. Применение иммобилизованных микроорганизмов и ферментов. Биохимия и биотехнология. Вестник Казанского технологического университета. 2012. С. 101 - 105.
5. Герасименко В. Г., Герасименко, М.О., Цвіліховський А.І., та ін,. Біотехнологія. Підручник. К.: ІНКОС. 2006. 647 с.

6. Панасюк А. Л., Розина, Л. И., Пелих, Л. А., & Шур, И. М. Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://eurowine.com.ua.
7. Римарева Л.В. Перспективы использования биологически активных добавок. Пищевая промышленность. (3). 1996. С. 44 - 48.
8. Ермолаева Г. А. Основные процессы пивоварения. Получение пива с применением иммобилизованных дрожжей. *Пиво и напитки*, (4). 2003. С. 8 - 11.
9. Шаскольский Б. Л. Автореф. дисс. канд. хим. наук, РХТУ им. ДИ Менделеева. *Москва*. 2009. 22 с.
10. Степанов Н. А. (2007). Автореф. дисс. канд. техн. наук, Моск. гос. унив. пищ. произв., *Москва,* 2007. 27 с.
11. Efremenko E. N., Stepanov N., & Martinenko N. N., Gracheva, I. M. Cultivation conditions preferable for yeast cells to be immobilized into poly (vinyl alcohol) and used in bottled sparkling wine production. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, 12(1), 2006. 18 - 23. https://doi.org/10.2298/CICEQ0601018E
12. Волков В.В., Фадеев А.Г., Хотимский В.С., Бузин, О.И., Цодиков, М.В., Яндиева, Ф.А., Моисеев И.И. Экологически чистое топливо из биомассы // Рос.хим.журнал. (6). 2003. С. 71 - 82.
13. Домарецький В. А. Технологія солоду та пива. К.: *Фірма "ІНКОС.* 2004. 426 с.

Referenses

1. Petrochenkov, A.V. (2018). Kraftovoe pivo. Pivnaya revolyutsiya. Moskva: Eksmo. 208.
2. Tretyak, L. N., Gerasimov, E. M. (2003). Novyiy vzglyad na problemyi pivovareniya. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta, (2). 147 - 156.
3. Beshay, U. S. A. M. A., El Enshasy, H. E. S. H. A. M., Ismail, I. M. K., Moawad, H. A. S. S. A. N., & Abd-El-Ghany, S. (2011). β-glucanase productivity improvement via cell immobilization of recombinant Escherichia coli cells in different matrices. Polish journal of microbiology, 60(2), 133 - 138. https://doi.org/10.33073/pjm-2011-018
4. Kryakunova, E.V, Kanarskiy, A.V. (2012). Primenenie immobilizovannyih mikroorganizmov i fermentov. Biohimiya i biotehnologiya. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 101 - 105.
5. Herasymenko, V. H., Herasymenko, M. O., & Tsvilikhovskyi A.I., ta in (2006). Biotekhnolohiia. Pidruchnyk –K.: INKOS. 647.
6. Panasyuk, A. L., Rozina, L. I., Pelih, L. A., & Shur, I. M. Vserossiyskiy nauchno-issledovatelskiy institut pivovarennoy, bezalkogolnoy i vinodelcheskoy promyishlennosti. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: http://eurowine.com.ua.
7. Rimareva, L.V. (1996). Perspektivyi ispolzovaniya biologicheski aktivnyih dobavok. Pischevaya promyishlennost. 3. 44 - 48.
8. Ermolaeva, G. A. (2003). Osnovnyie protsessyi pivovareniya. Poluchenie piva s primeneniem immobilizovannyih drozhzhey. Pivo i napitki, (4). 8 - 11.
9. Shaskolskiy, B. L. (2009). Avtoref. diss. kand. him. nauk, RHTU im. DI Mendeleeva. Moskva. 22.
10. Stepanov, N. A. (2007). Avtoref. diss. kand. tehn. nauk, Mosk. gos. univ. pisch. proizv., Moskva, 27.
11. Efremenko, E. N., Stepanov, N., & Martinenko, N. N., Gracheva, I. M. (2006). Cultivation conditions preferable for yeast cells to be immobilized into poly (vinyl alcohol) and used in bottled sparkling wine production. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, 12 (1), 18 - 23. https://doi.org/10.2298/CICEQ0601018E
12. Volkov, V.V., Fadeev, A.G., Hotimskiy, B.C., Buzin, O.I., Tsodikov, M.V., Yandieva, F.A., Moiseev I.I. (2003). Ekologicheski chistoe toplivo iz biomassyi // Ros.him.zhurnal. (6). 71 - 82.
13. Domaretskyi, V. A. (2004). Tekhnolohiia solodu ta pyva. K.: Firma "INKOS. 426.

Cite as

Дідух Г.В., Безусов А.Т., Федоркан Д. А., Гусак-Шкловська Я. Д. Використання іммобілізованих пивних дріжджів для зброджування пивного сусла // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2019. Т. 83, вип. 2. С. 136 – 142.

Отримано в редакцію 18.09.2019 Received 18.09.2019
Прийнято до друку 31.10.2019 Approved 31.10.2019