



Комплексная оценка показателей качества пива, получаемого микрофильтрацией с использованием керамических мембран

© 2021 Ключников А.И.¹, Полянский К.К.², Ключникова Д.В.¹

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж

²Воронежский филиал Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова, Воронеж

Поступила в редакцию 14.03.2021 г.

DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3783

Как показывает практический опыт современной пивоваренной отрасли, доля участия мембранной технологии в процессах производства пива постоянно увеличивается. И если 20-30 лет назад мембранные процессы можно встретить только в подготовке воды, то сегодня они являются альтернативой не только намывной и ПВПП-фильтрации, но и тепловой пастеризации. При реализации мембранных технологий в пивоварении, в частности, процесса микрофильтрации, возможно получение продукта с абсолютно иными качественными преимуществами. В отличие от многостадийной намывной фильтрации, ПВПП-стабилизации, обеспложивания, тепловой пастеризации, мембранная обработка не изменяет первоначального вкуса пива, протекает гораздо быстрее и сопровождается меньшими энергетическими затратами. Более того, существенно повышается микробиологическая стабильность и чистота производства и технологического оборудования.

С появлением нового поколения керамических мембран стало возможным обеспечение стабильных показателей качества готовой продукции, осуществление процесса мембранной обработки с минимальной абсорбцией экстрактивных веществ, микроорганизмов, белков и т.д. Степень абсорбции вышеперечисленных компонентов будет являться лимитирующим фактором при выборе разрешающей способности керамической мембраны, обеспечивающей с одной стороны требуемую коллоидную и биологическую стойкость, а с другой – стабильные показатели качества.

Цель работы состояла в оценке применимости процесса микрофильтрации пива с использованием керамических мембран для увеличения биологической и коллоидной стойкости, а также определение комплексных показателей качества пива в сравнении с традиционными технологиями, а именно, намывным фильтрованием и тепловой обработкой (пастеризацией).

В работе исследованы аминокислотные составы образцов пива: исходного нефилтрованного непастеризованного пива, реализуемого в условиях пивного ресторана и имеющего срок годности по технологической инструкции до 15 сут.; фильтрованного непастеризованного и фильтрованного пастеризованного образцов пива, произведенных в условиях крупного пивзавода с использованием традиционных процессов намывной фильтрации, ПВПП-стабилизации и тепловой пастеризации, имеющего срок годности до 3 мес; пива, осветленного на керамической мембране с разрешающей способностью 0.8 мкм. Представлены результаты исследований физико-химических показателей пива, осветленного на керамических мембранах с размерами пор 0.14; 0.20; 0.30; 0.45; 0.80 и 1.4 мкм, прогнозируемой стойкости пива, осветленного на керамической мембране с размером пор 0.45 мкм.

Ключевые слова: пиво, фильтрационные технологии, аминокислотный состав, керамическая мембрана, микрофильтрация.

Введение

Сегодня в производственных условиях микрофильтрация с использованием мембранных картриджей, реализующих меха-

низмы поверхностной и глубинной фильтрации, фильтрующих материалов на основе высокотехнологичных полимеров, керамики и металлокерамики обеспечивает гарантированную очистку пива от

дрожжей и бактерий, обеспечивая, тем самым, требуемую биологическую и коллоидную стойкость.

В работах авторов [1-9] можно показать применение микрофльтрации в качестве альтернативы традиционным процессам намывного фильтрования, ПВПП-стабилизации и тепловой пастеризации. Обеспечиваемые микрофльтрацией сроки годности готовой продукции позволяют с уверенностью говорить о частичной или полной замене традиционных фильтративных технологий в недалеком будущем.

Следует отметить весьма существенный фактор, влияющий на формирование показателей качества готового продукта и, как следствие, прогнозируемый срок годности – это, прежде всего, разрешающая способность мембран, их степень абсорбции по отношению к экстрактивным веществам пива. Именно размер пор мембран, их структура, условия протекания процесса будут оказывать решающее воздействие на степень извлечения экстрактивных веществ и микроорганизмов и на решение компромисса между показателями качества пива и сроком его годности.

Как правило, распространены варианты мембранного фильтрования с картриджными системами, имеющими постепенно понижающуюся разрешающую способность: I-ая ступень – 10 мкм (грубая мембранная фильтрация), II-ая ступень – 5 мкм (тонкая фильтрация), III-ая ступень – 0.45 мкм (заключительная очистка), реализующими механизм тупиковой микрофльтрации с малой производительностью. Крупные предприятия отрасли применяют полимерные и керамические мембраны в проточных системах мембранного фильтрования, обеспечивающих высокую производительность и сроки эксплуатации. В качестве примера можно привести процессы получения безалкогольного пива методами обратного осмоса и диализа, извлечение товарного пива из дрожжевого осадка после опорожнения цилиндрических танков, получение пива в условиях холодно-стерильной фильтрации и розлива и т. д. [10-13].

Цель исследования состояла в оценке применимости процесса микрофльтрации пива с использованием керамических мембран для увеличения биологической и коллоидной стойкости, а также определение показателей качества пива в сравнении с традиционными технологиями, а именно, намывным фильтрованием и тепловой обработкой (пастеризацией).

Экспериментальная часть

В качестве объектов для экспериментальных исследований процесса микрофльтрации были выбраны:

1. Пиво нефльтрованное непастеризованное, произведенное в условиях мини-пивоварни производительностью 300 дм³/варка при следующих основных технологических режимах: белковая пауза – отсутствует; мальтозная пауза – 70 мин; осахаривание – 20 мин; главное брожение – 7...10 сут.; созревание – 40...45 сут.

2. Мембраны на основе керамики КМФЭ – 1 фирмы ООО НПО «Керамикфильтр» (Россия) с разрешающей способностью 1.2; 3.0; 5.0 и 7.0 мкм (табл. 1), INSIDE CéRAM™ фирмы «TAMI Deutschland GmbH» (Германия) с разрешающей способностью 0.14; 0.20; 0.30; 0.45; 0.80 и 1.4 мкм (табл. 2).

Основными критериями выбора указанных выше керамических мембран выступали:

– организация процесса микрофльтрации пива по проточной схеме в несколько стадий: I-ая стадия – грубая очистка от крупных клеток дрожжей и бактерий, взвесей и белков с целью снижения фильтрующей нагрузки на мембраны с меньшими размерами пор; II-ая стадия – окончательная очистка от тонких взвесей и микроорганизмов с целью обеспечения требуемой биологической и коллоидной стойкости готового продукта;

– подбор мембран на стадии грубой очистки, обеспечивающих стабильное функционирование последующей стадии окончательной очистки, т.е. обеспечение

Таблица 1. Характеристика керамических мембран КМФЭ – 1 фирмы ООО НПО «Керамикфильтр»

Table 1. Characteristics of the ceramic membranes of the KMFE - 1 series manufactured by ООО NPO *Keramikfiltr*.




Наименование	
Диаметр внешний, мм	10
Диаметр мембранного канала, мм	60
Количество каналов, шт.	1
Длина мембраны, мм	800
Поверхность микрофльтрации, м ²	0.015

Таблица 2. Характеристика керамических мембран INSIDE CéRAM™ фирмы «TAMI Deutschland GmbH» (Германия)

Table 2. Characteristics of the ceramic membranes INSIDE CéRAM™ manufactured by TAMI Deutschland GmbH (Germany)

Наименование		
Внешний диаметр, мм (L=1178 мм*)	10	10
Количество каналов, шт.	1	7
Гидравлический диаметр, мм	6	2
Поверхность фильтрации, м ²	0.02	0.06
Назначение	МФ, УФ, финишная УФ	

*могут выпускаться длиной 580, 850, 1000, 1020, 1178 мм.

*manufactured with the length of 580, 850, 1000, 1020 and 1178 mm.

удовлетворительной фильтрующей способности пива во избежание забивки пор мембран для финишного осветления;

– решение компромисса между степенью извлечения компонентов пива на окончательной стадии и показателями качества получаемого готового продукта.

Схема экспериментальной установки на основе трубчатого мембранного модуля представлена на рис. 1. Установка содержала трубчатый мембранный модуль 1 с керамической мембраной, расходную емкость 2 с исходным продуктом, центробежного насоса 3, манометров 4, установленных до и после мембранного модуля, счетчиков 5 для определения расходов пермеата (фильтрата) и концентрата и приемного мерного цилиндра 6 для осветленного продукта. Перед запуском предварительно вымытую и продезинфицированную экспериментальную установку заполняли стерильной деаэрированной водой с целью вытеснения из нее воздуха, затем проводили вытеснение воды осветляемым продуктом. После полного вытеснения воды из гидравлической системы,

осуществляли выход установки на установившийся режим, используя краны на стороне высокого и низкого давления и показания манометров. При этом определяли расходы концентрата и фильтрата пива, на основании которых рассчитывали удельную пропускную способность мембраны. После завершения рабочего цикла установку промывали горячей водой, затем проводили мойку щелочным раствором, дезинфицировали надуксусной кислотой, ориентируясь на практические рекомендации по регенерации керамических мембран.

Для исследования содержания аминокислот в образцах пива применяли прибор ААА-339М фирмы «Microtechna» (Чехия), реализующий принцип ионообменной хроматографии.

Обсуждение результатов

Наибольший научно-практический интерес представляло изучение влияния разрешающей способности керамических мембран и, как следствие, степени извлечения компонентов пива на его показатели

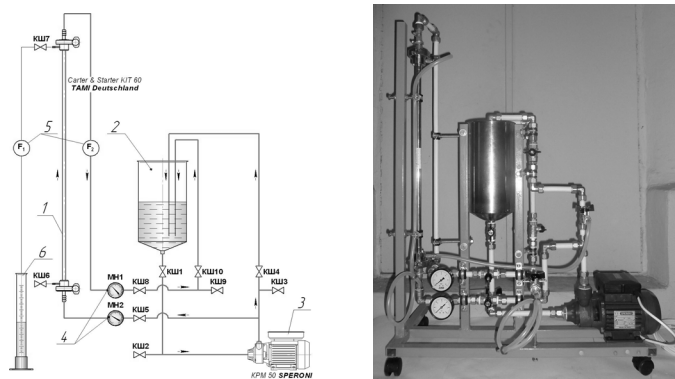


Рис. 1. Экспериментальная установка с трубчатым мембранным модулем для исследования тангенциальной микрофльтрации пива.

Fig. 1. An experimental unit with a tubular membrane module for the analysis of the tangential microfiltration of beer.

качества. Для сравнения произвели исследование аминокислотного состава исходного нефильтрованного непастеризованного пива (рис. 2), реализуемого в условиях пивного ресторана и имеющего срок годности по технологической инструкции до 15 сут. Также для объективной оценки дополнительно произвели исследование аминокислотного состава фильтрованного непастеризованного (рис. 3) и фильтрованного пастеризованного (рис. 4) образцов пива, произведенных в условиях круп-

ного пивзавода с использованием традиционных процессов намывной фильтрации, ПВПП-стабилизации и тепловой пастеризации. В этом случае, сроки годности продукта составляли до 3 мес.

Наибольшее содержание аминокислот, как и следовало ожидать, наблюдалось в нефильтрованном и непастеризованном пиве, отобранном непосредственно из лагерных танков после процессов брожения и созревания. Пиво на данном этапе имело срок годности 15 сут и реализовывалось без дальнейших процессов фильтрации и

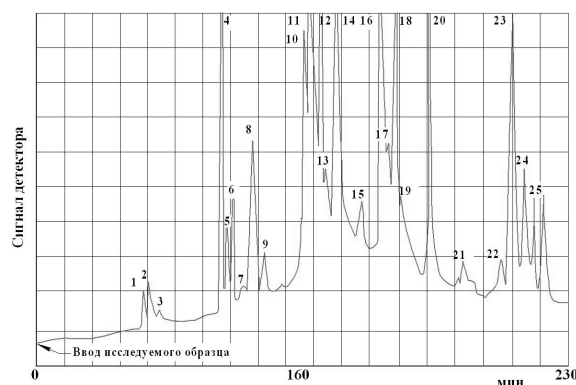


Рис. 2. Хроматографический анализ аминокислотного состава нефильтрованного непастеризованного пива (колонка 450x6 мм (внутренний диаметр), ионит LGANB №11, скорость потока 30 см³/ч, температура 38°C, обнаружение – нингидриновый раствор), мкмоль/дм³: 1 – цистеиновая кислота – 51.31; 2–таурин – 53.68; 3 – фосфоэтаноламин – 27.86; 4 – аспарагиновая кислота – 448.35; 5 – треонин – 26.83; 6 – серин – 148.94; 7 – аспарагин – 36.92; 8 – глутаминовая кислота – 340.21; 9 – глутамин – 109.09; 10 – пролин – 1517.17; 11 – глицин – 435.35; 12 – аланин – 503.42; 13 – цитруллин – 114.0; 14 – валин – 515.29; 15 – метионин – 75.0; 16 – изолейцин – 333.33; 17 – лейцин – 480.0; 18 – тирозин – 187.5; 19 – фенилаланин – 702.5; 20 – α-аминокислота – 345.65; 21 – триптофан – 98.57; 22 – этаноламин – 103.99; 23 – орнитин – 216.92; 24 – лизин – 164.23; 25 – гистидин – 271.77; цистин – следы.

Fig. 2. Chromatographic analysis of the amino acid composition of unfiltered unpasteurized beer (450x6 mm column (inner diameter), LGANB 11 ionite, flow rate 30 cm³/h, temperature 38°C, identification - ninhydrin solution), μmol/dm³

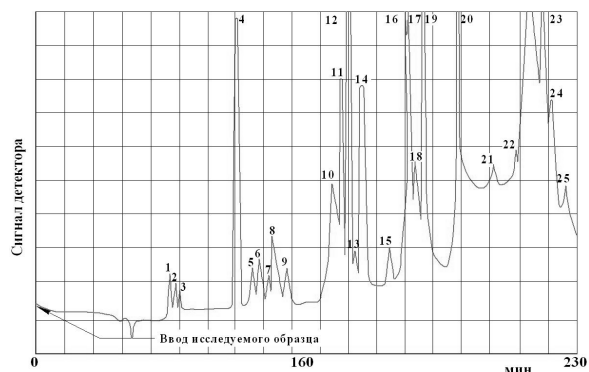


Рис. 3. Хроматографический анализ аминокислотного состава фильтрованного непастеризованного пива (колонка 450x6 мм (внутренний диаметр), ионит LGANB №11, скорость потока 30 см³/ч, температура 38°C, обнаружение – ninгидриновый раствор), моль/дм³: 1 – цистеиновая кислота – 32.09; 2 – таурин – 28.42; 3 – фосфоэтаноламин – 16.07; 4 – аспарагиновая кислота – 362.64; 5 – треонин – 68.29; 6 – серин – 70.92; 7 – аспарагин – 36.0; 8 – глутаминовая кислота – 142.27; 9 – глутамин – 85.71; 10 – пролин – 702.86; 11 – глицин – 223.26; 12 – аланин – 437.56; 13 – цитруллин – 40.5; 14 – валин – 257.65; 15 – метионин – 47.73; 16 – изолейцин – 326.67; 17 – лейцин – 389.14; 18 – тирозин – 150.0; 19 – фенилаланин – 477.5; 20 – α-аминокислота – 349.57; 21 – триптофан – 60.0; 22 – этаноламин – 78.0; 23 – орнитин – 226.16; 24 – лизин – 153.29; 25 – гистидин – 137.65; цистеин – 0.

Fig. 3. Chromatographic analysis of the amino acid composition of unpasteurized filtered beer (450x6 mm column (inner diameter), LGANB 11 ionite, flow rate 30 cm³/h, temperature 38°C, identification – ninhydrin solution), μmol/dm³

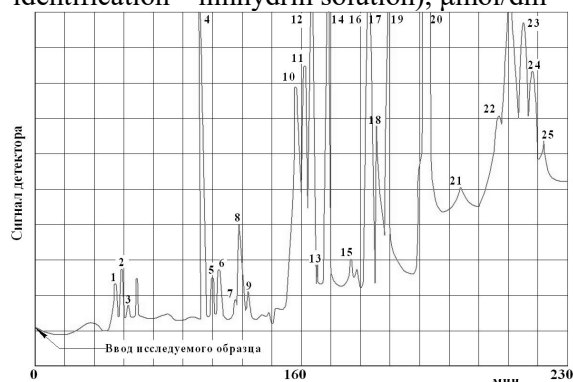


Рис. 4. Хроматографический анализ аминокислотного состава фильтрованного пастеризованного пива (колонка 450x6 мм (внутренний диаметр), ионит LGANB №11, скорость потока 30 см³/ч, температура 38°C, обнаружение – ninгидриновый раствор), мкмоль/дм³: 1 – цистеиновая кислота – 52.1; 2 – таурин – 56.84; 3 – фосфоэтаноламин – 23.57; 4 – аспарагиновая кислота – 375.82; 5 – треонин – 85.37; 6 – серин – 85.10; 7 – аспарагин – 46.15; 8 – глутаминовая кислота – 213.4; 9 – глутамин – 93.51; 10 – пролин – 1337.14; 11 – глицин – 241.39; 12 – аланин – 497.56; 13 – цитруллин – 67.5; 14 – валин – 405.88; 15 – метионин – 52.27; 16 – изолейцин – 331.67; 17 – лейцин – 397.71; 18 – тирозин – 204.38; 19 – фенилаланин – 544.99; 20 – α-аминокислота – 346.09; 21 – триптофан – 85.71; 22 – этаноламин – 96.0; 23 – орнитин – 203.08; 24 – лизин – 157.66; 25 – гистидин – 91.77; цистин – следы.

Fig. 4. Chromatographic analysis of the amino acid composition of pasteurized filtered beer (450x6 mm column (inner diameter), LGANB 11 ionite, flow rate 30 cm³/h, temperature 38°C, identification - ninhydrin solution), μmol/dm³

стабилизации в условиях ресторана. Следует отметить хорошую пеностойкость и полноту вкуса у данного образца пива, но низкий срок годности не позволял осуществлять реализацию за пределами пивного ресторана. Полнота вкуса у образцов

пива, подвергнутых тепловой обработке пастеризацией значительно уступает нефильтованному и непастеризованному пиву, но выигрывает в сроках годности, составляющих порядка 1-3 мес.

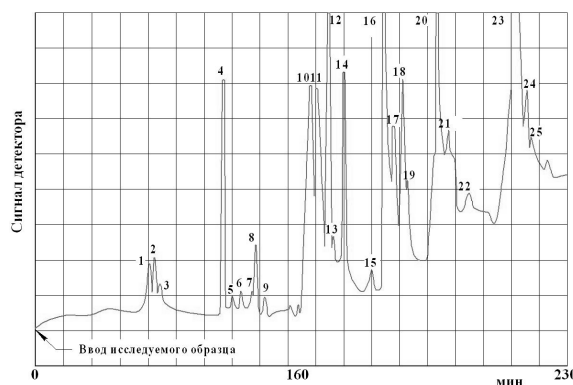


Рис. 5. Хроматографический анализ аминокислотного состава пива, осветленного на мембране с размером пор 0,90 мкм (колонка 450х6 мм (внутренний диаметр), ионит LGANB №11, скорость потока 30 см³/ч, температура 38°С, обнаружение – нингидриновый раствор), мкмоль/дм³:

1 – цистеиновая кислота – 40.11; 2 – таурин – 46.32; 3 – фосфоэтанолламин – 25.7; 4 – аспарагиновая кислота – 371.98; 5 – треонин – 101.7; 6 – серин – 122.55; 7 – аспарагин – 32.31; 8 – глутаминовая кислота – 254.64; 9 – глутамин – 90.92; 10 – пролин – 1345.7; 11 – глицин – 316.28; 12 – аланин – 485.4; 13 – цитруллин – 87.0; 14 – валин – 482.35; 15 – метионин – 67.69; 16 – изолейцин – 316.67; 17 – лейцин – 389.86; 18 – тирозин – 187.5; 19 – фенилаланин – 645.0; 20 – α-аминокислота – 320.0; 21 – триптофан – 77.14; 22 – этаноламин – 95.9; 23 – орнитин – 184.62; 24 – лизин – 155.18; 25 – гистидин – 195.29; цистин – следы.

Fig. 5. Chromatographic analysis of the amino acid composition of beer clarified on a ceramic membrane with a pore size of 0.90 μm (450x6 mm column (inner diameter), LGANB 11 ionite, flow rate 30 cm³/h, temperature 38°C, identification - ninhydrin solution), μmol/dm³

Образцы пива, осветленные на мембране с разрешающей способностью 0.8 мкм (рис. 5), имели аминокислотный состав очень близкий к образцам пива, полученным по классической технологии, с применением намывной фильтрации и без тепловой обработки пастеризацией. Несмотря на незначительное снижение концентрации аминокислот в образцах пива, осветленных на мембране, полнота вкуса оставалась на приемлемом уровне, а срок годности находился в диапазоне 30...40 сут, что в принципе соответствовало условиям производства с использованием тепловой пастеризации. Незначительное снижение концентрации аминокислот в готовом пиве, осветленного на мембране, вероятнее всего, вызвано схемой организации мембранного процесса по проточной схеме, т.е. постоянным отводом концентрата из трубчатого мембранного модуля в расходную емкость.

В этом случае полагали, что I-ая ступень микрофильтрации будет обеспечивать удаление крупных взвесей, белков, клеток дрожжей и бактерий, т.е. снижать

фильтрационную нагрузку на керамические мембраны с меньшей разрешающей способностью, а II-ая ступень микрофильтрации – требуемую биологическую и коллоидную стойкость, срок годности до 30...40 сут.

По полученным данным были сделаны следующие выводы. При микрофильтрации пива на керамических мембранах с пористостью 0.20 и 0.40 мкм происходило полное удаление дрожжевых клеток и крупных белковых соединений, однако при использовании мембраны 0.20 мкм изменялась экстрактивность пива и его цветность. Значит, мембрана 0.45 мкм являлась предпочтительней, т.к. она не влияла на показатели качества пива, удаляя только бактерии и частицы. Как видно из рис. 6, проницаемость мембраны резко снижалась с течением времени (с увеличением концентрации) и после 2-х часов практически равнялась нулю. Таким образом, необходима микрофильтрация в несколько стадий (варьирование порогом задержания).

Согласно проведенным анализам пива, степень разделения для керамических

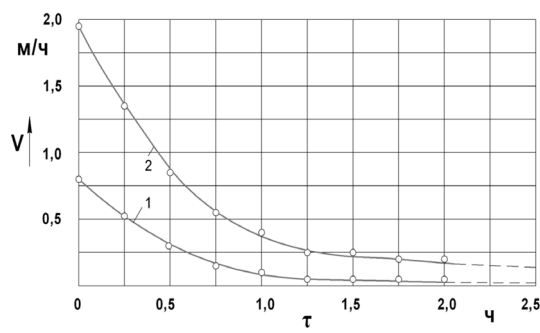


Рис. 6. Зависимость удельной скорости микрофльтрации пива на керамических мембранах с различным размером пор от продолжительности процесса, мкм:

1 – 0.20; 2 – 0.40

Fig. 6. Dependence of the specific speed of beer microfiltration on ceramic membranes with different pore sizes on the duration of the process, μm : 1 – 0.20; 2 – 0.40.

мембран с размерами пор 5.0, 3.0 и 1.2 мкм отличалось в незначительной степени, поэтому для предварительного осветления выбирали керамическую мембрану с большей производительностью, а как видно из рис. 7 проницаемость при пороге задержания 5.0 мкм на порядок больше. По полученным результатам исследований можно предложить следующую последовательность установки керамических мембран:

1. мембрана с размером пор 5.0 мкм для обеспечения одновременно как грубой, так и тонкой микрофльтрации ($P_{\text{раб.}}=0.135$ МПа, $\varphi=76\%$, $J_{\text{ср}}=7.5$ м³/(м²·ч), кратность рециркуляции 3);

2. мембрана с размером пор 0.45 мкм для стерилизующей (обеспложивающей) микрофльтрации ($P_{\text{раб.}}=0.3$ МПа, $\varphi=100\%$, $J_{\text{ср}}=1.7$ м³/м²·ч, кратность рециркуляции 5.0).

Для разработки практических рекомендаций и способа многостадийной микрофльтрации, обеспечивающего устойчивый компромисс между степенью извлечения компонентов пива и его показателями качества проводили исследование физико-химического состава образцов продукта после I-ой стадии – грубой очистки на керамических мембранах ООО НПО «Керамикфильтр» (разрешающая способность 1.2; 3.0; 5.0 и 7.0 мкм) и II-ой

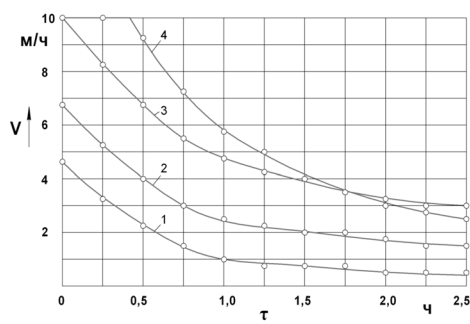


Рис. 7. Зависимость удельной скорости микрофльтрации пива на керамических мембранах с различным размером пор от продолжительности процесса, мкм:

1 – 1.2; 2 – 3.0; 3 – 5.0; 4 – 7.0 мкм.

Fig. 7. Dependence of the specific speed of beer microfiltration on ceramic membranes with different pore sizes on the duration of the process, μm :

1 – 1.2; 2 – 3.0; 3 – 5.0; 4 – 7.0 μm

стадии – окончательной очистки на мембранах «TAMI Deutschland GmbH» (разрешающая способность 0.20 и 0.45 мкм).

Результаты исследования физико-химических показателей пива после I-ой и II-ой ступеней микрофльтрации представлены в табл. 3 и 4 соответственно.

Следует отметить, что фильтрующая способность пива на I-ой ступени микрофльтрации сохранялась на протяжении всего процесса осветления. По нашему мнению, это было вызвано технологией созревания пива – выдерживание его в лагерных танках при температуре 0...2°C в течение 40...45 сут, в течение которого большая часть белков, дрожжей и бактерий седиментировало на дно аппарата для дображивания и, поэтому, не вызывало повышенной фильтрационной нагрузки на используемые керамические мембраны.

При обработке пива на II-ой ступени микрофльтрации при использовании керамической мембраны с разрешающей способностью 0.20 мкм наблюдалось значительное изменение вкуса продукта в результате абсорбции экстрактивных веществ на ее поверхности, т.е. происходило практически полное обеспложивание жидкости от взвеси, белков, клеток

Таблица 3. Физико-химические показатели пива, осветленного на керамических мембранах с размером пор 1.2; 3.0; 5.0 и 7.0 мкм

Table 3. Physicochemical parameters of beer clarified on ceramic membranes with pore sizes of 1.2, 3.0, 5.0 and 7.0 μm .

Наименование	Размер пор, мкм			
	1.2	3.0	5.0	7.0
Содержание микроорганизмов, млн. кл./см ³	0.5...0.7	1.01...1.04	1.36...1.38	3.0...3.2
pH	4.35...4.38	4.35...4.38	4.35...4.38	4.35...4.38
Мутность, ед. ЕВС	0.75...0.78	1.20...1.23	1.25...1.28	1.60...1.65

Таблица 4. Физико-химические показатели пива, осветленного на керамических мембранах с размером пор 0.20 и 0.45 мкм

Table 4. Physicochemical parameters of beer clarified on ceramic membranes with pore sizes of 0.20 and 0.45 μm

Наименование	Размер пор, мкм	
	0.20	0.45
Содержание микроорганизмов, млн. кл./см ³	не обнаружено	не обнаружено
pH	4.35...4.40	4.36...4.39
Мутность, ед. ЕВС	0.35...0.38	0.45...0.48
Экстрактивность, %	10.55...11.0	11.0...11.1
Объемная доля спирта, %	4.0...4.2	4.0...4.3

Таблица 5. Прогнозируемая коллоидная стойкость пива, осветленного на керамических мембранах с размером пор 0.45 мкм

Table 5. The predicted colloidal stability of beer clarified on ceramic membranes with a pore size of 0.45 μm .

Мутность, ед. ЕВС	Коллоидная стойкость, сут	
	максимальная	минимальная
1.60...1.63	90...93	40...55

дрожжей и бактерий и других веществ, отвечающих за формирование цвета, вкуса и аромата. В этой связи, следует ограничиться использованием керамической мембраны с разрешающей способностью 0,45 мкм, позволяющей обеспечивать показатели качества пива на устойчивом приемлемом уровне. Как показывают результаты исследования сроков годности образцов пива, обработанных микрофильтрацией (табл. 5), данный способ может вполне конкурировать с традиционными процессами намывного фильтрования в сочетании с тепловой обработкой пастеризацией.

Дополнительно исследовали прогнозируемую стойкость пива, осветленного на керамической мембране с размером пор 0.45 мкм (табл. 5).

Согласно данным табл. 5, минимальная коллоидная стойкость составляла 40...55

сут., а максимальная – 90...93 сут., т.е., согласно тестам по прогнозированию коллоидной стойкости, пиво соответствовало показателям качества, приведенным в нормативно-технической документации. Согласно ГОСТ 31711-2012 «Пиво. Общие технические условия» для пастеризованного пива с применением стабилизаторов устанавливается стойкость не менее трех месяцев, без применения стабилизаторов – не менее 30 сут. Именно поэтому, микрофильтрация может вполне конкурировать с традиционными процессами намывного фильтрования или тепловой обработкой пастеризацией.

Заключение

В настоящей статье исследованы аминокислотные составы образцов пива: исходного нефильтрованного непастеризованного пива, реализуемого в условиях

пивного ресторана и имеющего срок годности по технологической инструкции до 15 сут.; фильтрованного непастеризованного и фильтрованного пастеризованного образцов пива, произведенных в условиях крупного пивзавода с использованием традиционных процессов намывной фильтрации, ПВПП-стабилизации и тепловой пастеризации, имеющего срок годности до 3 мес; пива, осветленного на керамической мембране с разрешающей способностью 0.8 мкм. Представлены результаты исследований физико-химических показателей пива, осветленного на керамических мембранах с размерами пор 0.14; 0.20; 0.30; 0.45; 0.80 и 1.4 мкм, прогнозируемой стойкости пива (минимальная – 40...55 сут., максимальная – до 93 сут.), осветленного на керамической мембране с размером пор 0.45 мкм.

По полученным результатам исследований можно предложить следующую последовательность установки керамических мембран:

1. мембрана с размером пор 5.0 мкм для обеспечения одновременно как грубой, так и тонкой микрофильтрации ($P_{\text{раб.}}=0.135$ МПа, $\varphi=76\%$, $J_{\text{cp}}=7.5$ м³/(м²·ч), кратность рециркуляции 3);

2. мембрана с размером пор 0.45 мкм для стерилизующей (обеспложивающей) микрофильтрации ($P_{\text{раб.}}=0.3$ МПа,

$\varphi=100\%$, $J_{\text{cp}}=1.7$ м³/м²·ч, кратность рециркуляции 5.0).

В результате проведенных экспериментов можно показать многообещающий потенциал процесса микрофильтрации для получения пива с увеличенными сроками хранения, неизменными показателями качества в отношении аминокислотного состава, экстрактивности, содержания спирта, кислотности – характеристик, формирующих важнейшие органолептические свойства.

Следует отметить появляющиеся при этом повышенные требования относительно тонкости мембранного фильтрования. Например, для одних пивоваренных предприятий важна малая тонкость фильтрования, обеспечиваемая применением керамических мембран с разрешающей способностью более 1 мкм. В этом случае биологическая и коллоидная стойкость пива обеспечивается термической обработкой – пастеризацией. Другие пивзаводы, в противоположность вышеназванным, применяют мембраны с разрешающей способностью менее 0.90 мкм и тогда пастеризацию не используют, а требуемую биологическую и коллоидную стойкость пива обеспечивают грамотным сочетанием между порогом задержания и показателями качества получаемой готовой продукции [14-16].

Список литературы/References

1. Antipov S.T., Kljuchnikov A.I. Intensifikacija processov pererabotki zhidkih pishhevnyh sred membrannymi metodami. Voronezh. gos. un-t inzh. tehnol. Voronezh. VGUIT. 2017. 304 p.
2. Aredes R.S., Peixoto F.C., Sphaier L.A., Marques F.F., *Food Chemistry*, 2021, Vol. 34415, 128572. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.128572
3. Bauwens J., Van Opstaele F., Eggermont L., Weiland F. et al., *Journal of the Institute of Brewing*, 2021, Vol. 127, Issue 4, pp. 385-405. DOI 10.1002/jib.664

4. Charcosset C., *Food Engineering Reviews*, 2021, Vol. 13, Is. 2, pp. 322-343. DOI 10.1007/s12393-020-09262-9
5. Cimini A., De Francesco G., Perretti G., *LWT – Food Science and Technology*, 2017, Vol. 86, pp. 55-61. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.07.033
6. Cimini A., Moresi M., *Journal of Food Engineering*, 2016, Vol. 173, pp. 132-142. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.11.003
7. Cimini A., Moresi M., *LWT – Food Science and Technology*, 2018, Vol. 90, pp. 132-137. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.12.008
8. Díaz-Liñán M.C., Lucena R., Cárdenas S., López-Lorente A.I., *Journal of Chromatography A*, 2021, Vol. 165116, Article number 462297. DOI 10.1016/j.chroma.2021.462297

9. Hamper B.C., Viriyasiri N., Boland A., Driessner K. et al., *LC-GC North America*, 2021, Vol. 39, Is. 7, pp. 329-334.
10. Hennemann M., Gastl M., Becker T., *Separation and Purification Technology*, 2021, No 2721, Article number 118966. DOI 10.1016/j.seppur.2021.118966
11. Kljuchnikov A.I., Poljanskij K.K., Abonosimov O.A., *Vestnik TGU*, 2015, Vol. 20, Is. 6, pp. 1790-1794.
12. Klyuchnikov A.I., Ovsyannikov V.Yu., Lobacheva N.N., Berestovoy A.A. et al., *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, Vol. 421, Is. 2, pp. 22006. DOI 10.1088/1755-1315/421/2/022006.
13. Kupetz M., Rott M., Kleinlein K., Gastl M. et al., *Journal of the Institute of Brewing*, 2018, Vol. 124, Is. 4, pp. 450-456. DOI 10.1002/jib.529
14. Ramsey I., Yang Q., Fisk I., Ayed C., Ford R., *Food Chemistry*, 2021, Vol. 1030, Article No 100121. DOI 10.1016/j.fochx.2021.100121
15. Varga Á., Gáspár I., Juhász R., Ladányi M. et al., *Journal of Food Process Engineering*, 2019, Vol. 42, Is. 1, Article number e12941. DOI 10.1111/jfpe.12941
16. Varga Á., Ladányi M., Márki E., *Desalination and Water Treatment*, 2020, Vol. 192, pp. 382-391. DOI 10.5004/dwt.2020.25460

A comprehensive assessment of the quality of beer after microfiltration by means of ceramic membranes

© 2021 Klyuchnikov A.I.¹, Polyansky K.K.², Klyuchnikova D.V.¹

¹Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh

²Voronezh branch of Plekhanov Russian University of Economics, Voronezh

The record of the modern brewing industry shows that the role of membrane technologies in the brewing process is constantly growing. While 20-30 years ago membrane processes were only used for water treatment, today they are an alternative to precoat and PVPP filtration, as well as to pasteurization. Membrane technologies in brewing, particularly when used in the microfiltration process, help to manufacture products of a much higher quality. As opposed to multistage precoat filtration, PVPP stabilization, sterilization, and pasteurization, membrane processing does not alter the initial taste of beer, is much faster, and more energy efficient. Furthermore, it significantly enhances the microbiological stability and helps to make the manufacturing process and the technological equipment cleaner.

A new generation of ceramic membranes has made it possible to ensure the stability of the quality of the product and conduct membrane processing with the minimum absorption of extractive substances, microorganisms, proteins, etc. The degree of absorption of the said components is the limiting factor when determining the molecular weight cut-off, providing for the required colloidal and biological stability on the one hand, and stable quality on the other.

The purpose of our study was to assess the possibility of beer microfiltration with ceramic membranes in order to boost its biological and colloidal stability. We also aimed to perform a comprehensive assessment of the quality of beer produced this way as compared to traditional technologies, particularly precoat filtration and heat treatment (pasteurization). In our study, we analysed the amino acid composition of various samples of beer: unpasteurized unfiltered beer with 15-day shelf life served at beer restaurants; unpasteurized filtered beer and pasteurized filtered beer with the shelf life of up to 3 months manufactured at a large brewery using traditional precoat filtration, PVPP stabilization and pasteurization techniques; beer clarified on a ceramic membrane with the molecular weight cut-off of 0.8 μm . The article presents the physicochemical parameters of beer clarified on ceramic membranes with pore sizes of 0.14, 0.20, 0.30, 0.45, 0.80, and 1.4 μm , and the predicted stability of beer clarified on a ceramic membrane with the pore size of 0.45 μm .

Keywords: beer, filtration technologies, amino acid composition, ceramic membrane, microfiltration.

Ключников Андрей Иванович – профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, д.т.н., Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж

Полянский Константин Константинович – Заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры коммерции и товароведения, д.т.н., Воронежский филиал Российского государственного университета им. Г. В. Плеханова, Воронеж

Ключникова Дина Васильевна – доцент кафедры технологии продуктов животного происхождения, к.т.н., Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж

Klyuchnikov Andrey I. – Professor of the Department of Machines and Apparatus for Food Production, Doctor of Technical Sciences, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, e-mail: kaivanov@mail.ru

Polyansky Konstantin K. – Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of Commerce and Commodity Science, Doctor of Technical Sciences, Voronezh Branch of the Russian State University named them. Plekhanova, Voronezh

Klyuchnikova Dina V. – Associate Professor of the Department of Technology of Products of Animal Origin, Ph.D., Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh