

КОНЦЕНТРУВАННЯ ЯБЛУЧНОГО СОКУ МЕТОДОМ МЕМБРАННОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ

Досліджено концентрування яблучного соку методом контактної мембранної дистиляції. Встановлено вплив розміщення мембрани стосовно гарячої та холодної камер мембранного апарата і в полі сил земного тяжіння на продуктивність процесу концентрування. Визначено залежність продуктивності мембранної дистиляції від її основних технологічних параметрів (температура в гарячій і холодній камерах, швидкість потоку соку в каналах мембранного апарата).

В останні десятиріччя у світі набуло розповсюдження виробництво концентрованих плодово-ягідних соків [1]. Вони біохімічно стабільні [2], мають тривалий термін зберігання та широко використовуються в кондитерській, консервній, фармацевтичній промисловості, виноробстві та при виготовленні пектину [3].

У світовій практиці концентрування соків здійснюють шляхом виморожування [4], вакуумного випарювання [5] і за допомогою зворотного осмосу [6]. Недоліками цих технологій є висока собівартість концентратів (виморожування), не досить висока якість та енергозатратність (вакуумне випарювання), низький вміст сухих речовин (зворотний осмос).

Нині у світі проведено дослідження щодо концентрування плодово-ягідних соків з використанням нової мембранної технології - мембранної дистиляції [7, 8]. Концентрування здійснювалось при відносно низьких температурах (+28...+48 °С), що дало змогу отримати концентрати з високою біологічною цінністю. Вміст сухих речовин у них становив 60-70 %. Таким чином, перевагами мембранної дистиляції в порівнянні з іншими технологіями концентрування є висока якість концентратів, можливість досягнення високого вмісту сухих ре-

човин, зменшення витрат енергоносіїв за рахунок низької температури процесу.

Метою даної роботи було дослідження процесу концентрування яблучного соку методом контактної мембранної дистиляції та визначення основних чинників, які впливають на його продуктивність.

Умови експерименту

У дослідженні був використаний яблучний сік із сортосуміші плодів сортів середніх та пізніх термінів досягання врожаю 2001 р. (вміст сухих речовин - 11,4 %; рН 3,4; титрована кислотність - 0,60 %).

Перед концентруванням мембранною дистиляцією сік обробляли ферментними препаратами пектолітичної, амілолітичної дії ($t = 2$ год., $T = 50^{\circ}\text{C}$), протеолітичної дії ($t = 2$ год., $T = 55^{\circ}\text{C}$), сепарували й освітлювали ультрафільтрацією.

Були використані такі ферментні препарати: пектолітичної дії - Gammapect LC у дозі 40 мкл/дм (активність 1000 од./г; фірма GAMMA CHEMIE GmbH, Німеччина); амілолітичної дії - Gamylo 300L у дозі 35 мкл/дм³ (активність 900 од./мл; фірма GAMMA CHEMIE GmbH, Німеччина); протео-

літичної дії – N-proteasa (активність 500 од./мл; фірма Jahnckes Fruchtgarten GmbH, Німеччина) у дозі 100 мг/дм³.

Освітлення соку проводили в режимі проточної ультрафільтрації з використанням плоскокамерної модульної установки, що складається з 10 мембранных елементів. Робоча поверхня мембран кожного елемента – $1,2 \cdot 10^{-2}$ м²; загальна площа мембран – $12 \cdot 10^{-2}$ м²; лінійна швидкість потоку соку над мембраною – 1 м/с; температура соку – 50 ± 2 °С; мембрани з межею молекулярно-масової затримки 50 кДа марки УПМ-П (м. Володимир, НВО «Полімерсинтез», Російська Федерація).

Концентрування яблучного соку методом контактної мембранної дистиляції здійснювали з використанням лабораторної мембранної комірки проточного типу УМ-0,2 із площею робочої поверхні мембрани $4,9 \cdot 10^{-3}$ м² і вертикальним розміщенням мембрани. Циркуляцію розчинів по контурах (гаряча напівкомірка/резервуар із початковим розчином і холодна напівкомірка/приймальний резервуар) здійснювали за допомогою перистальтичного насоса при об'ємному потоці $1,6 \cdot 10^{-3}$ дм³/с. Швидкість соку в камерах варіювали в межах 0,375–0,812 м/с. Температуру гарячої камери ($T_{г.к.}$) змінювали в межах 50–70 °С, а температуру холодної камери ($T_{х.к.}$) – 10–30 °С. Задану температуру початкового розчину забезпечували термостатуванням колби з початковим розчином, а необхідна температура розчину в приймальному контурі встановлювалася при його проходженні через скляні холодильники з холодною водою (23 ± 3 °С), теплою водою (33 ± 3 °С) і водою з кріостату (13 ± 3 °С). Для концентрування соку було використано гідрофобну мікрофільтраційну мембрану з кополімеру вініліденфториду з тетрафторетиленом на поліпропіленовій підкладці типу МФФК-3 (м. Володимир, НВО «Полімерсинтез», Російська Федерація).

Результати та їх обговорення

В результаті проведених досліджень було встановлено, що на процес мембранної дистиляції можуть впливати як технологічні параметри процесу (температура, швидкість потоку і т. д.), так і характеристики самої мембрани та її розміщення в мембранному апараті. Найбільша продуктивність процесу у тому випадку, коли мембрана МФФК-3 активним шаром направлена на гарячу камеру (гаряча камера внизу) при горизонтальному розміщенні мембранної комірки в полі сил земного тяжіння (рис. 1). Різниця в продуктивностях між вертикальним і горизонтальним розміщенням мембран зростає при збільшенні вмісту сухих речовин у процесі концентрування (див. рис. 1). Так, на початку процесу концентрування (вміст сухих речовин – 11 %) різниця в продуктивностях між горизонтальним і вертикальним роз-

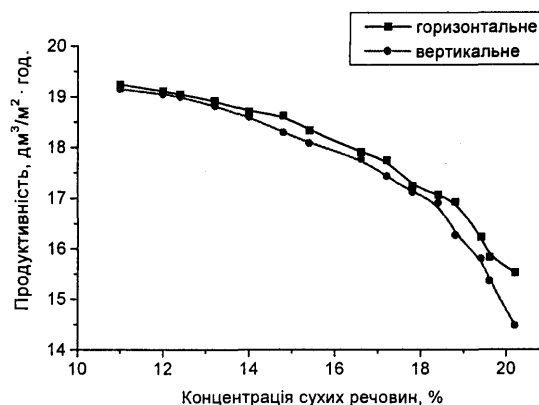


Рис. 1. Вплив розміщення мембранної комірки на продуктивність концентрування яблучного соку методом мембранної дистиляції:
 $T_{г.к.} = 60$ °С; $T_{х.к.} = 20$ °С; $V = 0,812$ м/с

міщенням мембранної комірки становить 0,5 %, а при досягненні вмісту сухих речовин 20 % – 6,7 %. Це пояснюється тим, що при горизонтальному розміщенні мембранної комірки вплив природної конвекції підвищує коефіцієнт теплопередачі в рідкій (нагрітій) фазі, а це сприяє зменшенню температурної поляризації і відповідно зростанню продуктивності процесу концентрування. Із збільшенням вмісту сухих речовин в'язкість соку збільшується, що посилює вплив вказаних вище чинників. Однак у випадку нашої конструкції мембранної комірки таке розміщення приводило до нерівномірного заповнення мембранных камер та пульсуючих потоків, тому в подальших дослідженнях було використано вертикальне розміщення мембранної комірки (активний шар мембрани, зорієнтований у напрямку гарячої камери).

Визначення оптимальних параметрів і режимів процесу концентрування яблучного соку методом мембранної дистиляції дало змогу встановити, що продуктивність мембранної дистиляції залежить від температур у холодній і гарячій камерах та швидкості потоку соку в каналах мембранного апарату.

Рушійною силою процесу мембранної дистиляції є різниця хімічних потенціалів по обидва боки мембрани, що обумовлена градієнтом температури і відповідно градієнтом парціального тиску, а тому перепад тисків (рушійна сила процесу мембранної дистиляції) може регулюватися температурним режимом мембранної дистиляції. При фіксованій температурі гарячої камери мембранної комірки зменшення температури холодної камери приводить до росту продуктивності процесу мембранної дистиляції (рис. 2). При цьому слід відзначити, що збільшення температури гарячої камери зменшує вплив температури холодної камери мембранної комірки на продуктивність процесу (рис. 3). За рахунок експоненціального росту тиску насиченої пари із температурою при однаковій

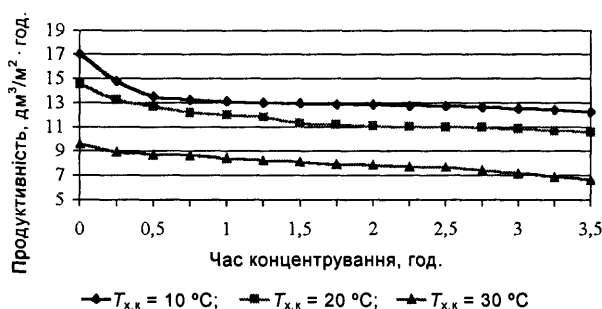


Рис. 2. Залежність продуктивності МД яблучного соку при $T_{г.к.} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ від тривалості концентрування при різних температурах холодної камери: $V = 0,812\text{ м/с}$

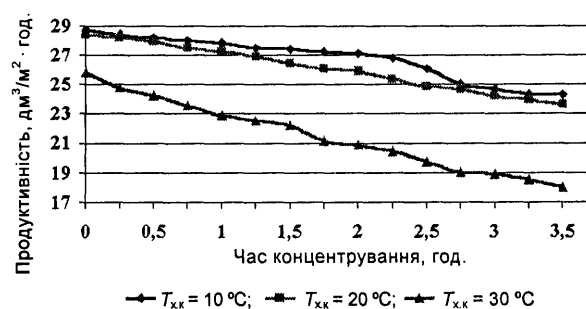


Рис. 3. Залежність продуктивності МД яблучного соку при $T_{г.к.} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ від тривалості концентрування при різних температурах холодної камери: $V = 0,812\text{ м/с}$

різниці температур між гарячою і холодною камерами, на поверхнях мембрани перепад тиску буде більшим при вищій середній температурі і, як результат, продуктивність концентрування яблучного соку методом мембранної дистиляції буде теж більшою (рис. 4, криві 1 і 2; 2 і 3; 1 і 3).

В результаті досліджень було встановлено, що найбільш оптимальним є температурний режим: у гарячій камері – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$; в холодній – $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Основний вплив на рівень температурної поляризації мають умови теплопередачі в потоках, які визначаються гідродинамічними умовами протікання рідини в каналах мембранного модуля. Рівень температурної поляризації зменшується при збільшенні турбулізації потоків у каналах мембранного апарату, тому очевидно, що на продуктивність процесу мембранної дистиляції повинна впливати швидкість потоку соку в каналах мембранного апарату. Для перевірки цього припущення було проведено концентрування яблучного соку при швидкостях потоку яблучного соку: $0,375$, $0,584$ і $0,812\text{ м/с}$ (рис. 5). Підвищення швидкості потоку яблучного соку вздовж мембрани збільшує продуктивність концентрування мембранної дистиляції. На початку процесу при концентрації сухих речовин 11% середня різниця швидкості в $0,2\text{ м/с}$ ($0,375\text{ м/с}$ і $0,584\text{ м/с}$; $0,584\text{ м/с}$ і $0,812\text{ м/с}$) створює різницю в продуктивності близько $2\text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. Через $3,5$ го-

дини концентрування, коли концентрація сухих речовин соку становить 25% , та ж сама різниця в швидкості ($0,2\text{ м/с}$) створює різницю в продуктивності в середньому $3\text{--}5\text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. При концентрації сухих речовин 25% і швидкості руху соку вздовж мембрани $0,375\text{ м/с}$ продуктивність концентрування становить $15,85\text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$, при швидкості $0,584\text{ м/с}$ – $20,65\text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$, а при швидкості $0,812\text{ м/с}$ – $23,63\text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. У першому випадку підвищення швидкості руху соку вздовж мембрани від $0,375\text{ м/с}$ до $0,584\text{ м/с}$ дає приріст продуктивності концентрування близько $5\text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$, а в другому випадку підвищення швидкості від $0,584\text{ м/с}$ до $0,812\text{ м/с}$ – близько $3\text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. Очевидно, при досягненні певного значення швидкості руху соку вздовж мембрани подальше її збільшення не впливатиме на продуктивність процесу мембранної дистиляції. Наявне в нас обладнання не дало змоги встановити значення цієї швидкості, тому в подальших дослідженнях використовували максимальну швидкість руху соку вздовж мембрани $0,812\text{ м/с}$, яку могла забезпечити наша установка.

При концентруванні яблучного соку методом мембранної дистиляції за вибраними режимами ($T_{г.к.} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{х.к.} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V = 0,812\text{ м/с}$) до 65% сухих речовин спостерігається практично рівномірне падіння продуктивності цього процесу (рис. 6). Це є результатом збільшення в'язкості соку і, як наслідок, погіршення гідродинамічних

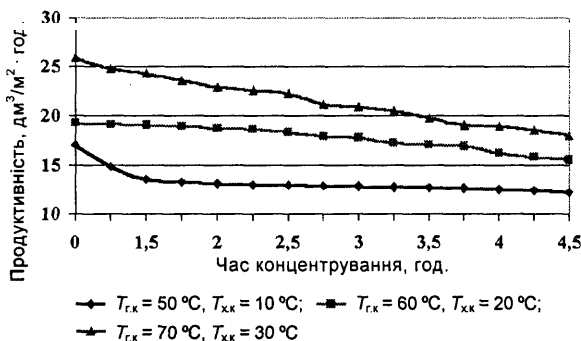


Рис. 4. Залежність продуктивності мембранної дистиляції яблучного соку від тривалості концентрування при різних середній температурі: $V = 0,812\text{ м/с}$

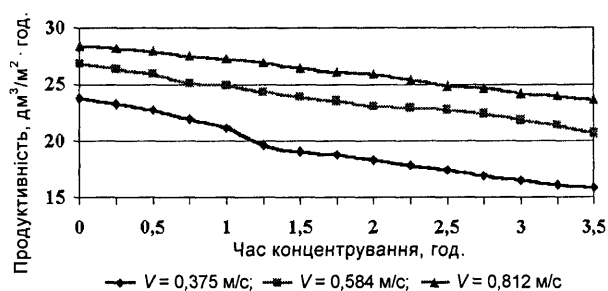


Рис. 5. Залежність продуктивності мембранної дистиляції яблучного соку від тривалості концентрування при різних швидкостях потоку в каналах мембранного апарату: $T_{г.к.} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{х.к.} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

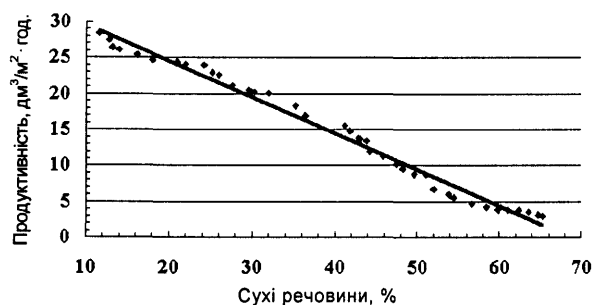


Рис. 6. Залежність продуктивності концентрування яблучного соку методом мембранної дистиляції від концентрації сухих речовин: $T_{г.к} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{х.к} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V = 0,812\text{ м/с}$

умов процесу та збільшення впливу температурної і концентраційної поляризації на нього. Внаслідок таких змін уповільнюється масо-перенос через мембрану і продуктивність концентрування зменшується. Ефективним можна вважати концентрування соку до 50 %-го вмісту сухих речовин, до значення продуктивності процесу близько $9\text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. Подальше концентрування соку до 60-65 % сухих речовин дає зменшення продуктивності до $3,8\text{--}3,0\text{ дм}^3/\text{м}^2\text{-год.}$, а таку продуктивність не можна вважати техноло-

гічно доцільною. Крім того, додаткове термостатування яблучного соку призводить до погіршення органолептичних властивостей концентрату.

Висновки

Встановлено, що контактна мембранна дистиляція є ефективною технологією виготовлення концентрованих плодово-ягідних соків з високим вмістом сухих речовин. За рахунок низької температури процесу ця технологія дає змогу зберегти біологічну цінність продукту і зменшити витрати на отримання концентратів у порівнянні з найбільш розповсюдженою технологією концентрування - вакуумним випарюванням.

Показано, що продуктивність мембранної дистиляції залежить від характеристик мембрани та її розміщення в апараті і ця залежність зростає при збільшенні вмісту сухих речовин у процесі концентрування.

Визначено оптимальний температурний режим концентрування яблучного соку методом контактної мембранної дистиляції та встановлено залежність ефективності цього процесу від швидкості потоку соку в мембранному апараті. Обґрунтовано ступінь концентрування яблучного соку методом мембранної дистиляції.

1. Самсонова А. //, Ушева В. Б. Фруктовые и овощные соки: Техника и технология. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1990. - 287 с.
2. Марх А. Т. Биохимия консервирования плодов и овощей. - М.: Пищ. пром-сть, 1973. - 370 с.
3. Технология консервирования плодов, овощей, мяса и рыбы / Фан-Юнг А. Ф., Флауменбаум Б. Л., Изотов А. К., Ястребов С. М., Лемаринь К. П. - М.: Пищ. пром-сть, 1980. - 336 с.
4. Пан Л. Концентрирование вымораживанием: Пер. с венгер. / Под ред. О. Г. Комякова. - М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1982. - 96 с.

5. Шобингер У. Плодово-ягодные и овощные соки. - М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1982. - 472 с.
6. Брик М. Т., Голубев В. Н., Чагаровский А. П. Мембранная технология в пищевой промышленности. - К.: Урожай, 1991. - 186 с.
7. Kimura S., Nakao S.-I., Shimatani S.-I. Transport phenomena in membrane distillation // J. Memb. Sci. - 1987. - Vol. 33. - P. 285-298.
8. Sheng J., Johnson R. A., Lefebvre M. S. Mass and heat transfer mechanism in the osmotic distillation process // Desalination - 1991. - Vol. 80. - P. 113-121.

S. M. Gun'ko, M. T. Bryk, A. S. Lukanin

CONCENTRATION OF APPLE JUICE BY A METHOD MEMBRANE DISTILLATION

Is investigated concentration of apple juice by a method contact membrane distillation. The influence of accommodation of membranes in relation to hot and cold cell and in afield of forces of terrestrial gravitation on productivity of process concentration is established. The dependence of productivity membrane distillation from its basic technological parameters (temperature in hot and cold cell, speed to aflow to juice in channels membrane of the device) is determined.