

О.Ю. ШЕВЧЕНКО, д-р техн. наук
І.М. МИКОЛІВ,
А.М. РОМАНЮК,
А.О. ШЕВЧЕНКО

Національний університет харчових технологій

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Проаналізовано можливість організованого використання енергії утворюваного в процесі бродіння CO_2 для інтенсифікації масообмінних процесів та запропоновано відповідне конструктивне оформлення

Ключові слова: газова фаза, пружна система, осмотичний тиск, масообмін, енергетичний потенціал, інтенсифікація

Проанализирована возможность организованного использования энергии CO_2 , который образуется в процессе брожения для интенсификации массообменных процессов и предложено соответствующее конструктивное оформление

Ключевые слова: газовая фаза, осмотическое давление, массообмен, энергетический потенциал, интенсификация

Possibility of organised use of energy CO_2 which is formed in the course of corresponding constructive registration fermentation for an intensification mass transfer processes is analysed and is offered

Keywords: a gas phase, osmotic pressure, mass transfer, an energy potential, an intensification

Рідинне середовище з диспергованою в ньому газовою фазою можна розглядати як пружну систему, яка під дією зростаючого тиску деформується. Стосовно такої системи цілком можливо знайти механічні аналогії на зразок систем з розподіленими масами. Проте важливою відмінністю газорідного середовища, що наближається до стану колапсу газової фази буде потужний гідравлічний удар. Додаткове і поглиблене вивчення подібних явищ дозволить зробити оцінку можливостей практичного застосування подібних інтенсивних технологій. Прикладне значення можливостей у зв'язку з організованим використанням енергії утворюваного в процесі бродіння CO_2 для інтенсифікації масообмінних процесів може бути перенесене, наприклад, на заводи первинного виноробства. Перероблюване сусло в цих умовах містить в собі залишки рослинних структур ягід винограду і частково гребенів за вмісту цукрів до 18 % і більше. При цьому використовуються як негерметичні так і герметичні бродильні апарати. За вказаної концентрації цукрів початковий осмотичний тиск в середовищах додаткового зростає за рахунок утворення спирту і діоксиду вуглецю, що в кінцевому результаті спричиняє зброджування за наявності залишкового цукру. За таких умов поглиблену десатурацію і забезпечення мінімізованої концентрації CO_2 з обмеженням її висотної нерівномірності слід розцінювати, як перспективний напрямок підвищення рівня зброджування первинних виноматеріалів. Для підтвердження такого висновку наведемо наступні міркування.

Відомо, що життєдіяльність сапрофітної або спеціальної мікрофлори суттєво залежить від співвідношень осмотичних тисків культуральних середовищ і цитоплазми клітин. Якщо осмотичний тиск середовищ переважає останній, то це приводить до втрати цитоплазмою певної частини вологи і бактеріостатичних ефектів [1, 2, 3]. Саме тому в процесах зброджування

цукровмістких речовин процеси бродіння припиняються за вмісту алкоголю в середовищах на рівні 9—10 % масових і лише за використання осмofільних дріжджів можливо досягти концентрацій алкоголю до 12 і максимально до 14 %. Осмотичний тиск розчинів речовин розраховується з використанням характеристичного рівняння

$$P_{\infty} V = RT, \quad (1)$$

де V — об'єм даного розчину, в якому розчинено 1 г/моль речовини, л; R — газова стала, $R = 8,3144 \cdot 10^3$ Дж/(кмоль·К); T — абсолютна температура, К.

Звідси осмотичний тиск

$$P_{\infty} = \frac{RT}{V}. \quad (2)$$

Припустимо, що для порівняння необхідно розрахувати осмотичний тиск 10 відсоткових розчинів цукрози і глюкози за температури 20 °С. Визначимо параметр V — кількість літрів 10 відсоткового розчину цукрози, в якому розчинено 1 г/моль вказаних речовин. 1 г/моль цукрози $C_{12}H_{22}O_{11}$ дорівнює 342 грамам, а глюкози — 180 г. З деякою похибкою приймемо, що 10 відсотковий розчин цукрози — це такий розчин, в 1 л якого міститься 100 г цукру. Тоді маємо для цукрози

$$\begin{aligned} 1 \text{ л} &— 100 \text{ г;} \\ V &— 342 \text{ г;} \\ V &= \frac{342 \cdot 1}{100} = 3,42 \text{ л.} \end{aligned}$$

Аналогічно для глюкози (і фруктози) будемо мати

$$V = \frac{180 \cdot 1}{100} = 1,8 \text{ л.}$$

Тоді осмотичний тиск розчину цукрози становитиме

$$P_{\infty} = \frac{8,314 \cdot 10^3 \cdot 293 \cdot 10^{-6}}{3,42} = 0,712 \text{ МПа}$$

і відповідно для глюкози

$$P_{\infty} = \frac{8,314 \cdot 10^3 \cdot 293 \cdot 10^{-6}}{1,8} = 1,353 \text{ МПа.}$$

Дані, що характеризують складові реакції спиртового бродіння і осмотичних тисків наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Складові і результати спиртового бродіння з початковою концентрацією цукру 10 %

Складові реакції	$C_6H_{12}O_{16}$	$2C_2H_5OH$	$2CO_2$
Концентрації речовин, кг/м³	100	51,11	48,88
Молекулярні маси, кг/кмоль	180	46	44
Температура розчину, К	293	293	293
Осмотичний тиск, МПа	1,354	2,707	2,707

У зв'язку з наведеними у табл. 1 даними повторимо запис реакції бро-діння



Відмітимо, що кожна із складових правої частини останньої умови створює осмотичний тиск, який вдвічі перевищує осмотичний тиск вихідної речовини, записаної у лівій частині. Наведені співвідношення підтверджують сформульоване у роботі [3] правило: співвідношення

осмотичних тисків розчинів речовин, що взаємодіють у хімічних (біохімічних) реакціях співпадають із співвідношеннями зрівнювальних коефіцієнтів у відповідних реакціях.

Порівняльні оцінки розчинів цукрози і етанолу наведені відповідно у таблицях 2 та 3.

Таблиця 2. Осмотичні тиски розчинів цукрози при $T = 293\text{ K}$

Концентрація цукрози, %	10	20	30	40	50	60	70	80
Осмотичний тиск, МПа	0,712	1,425	2,136	2,848	3,56	4,272	4,984	5,696

Таблиця 3. Осмотичні тиски розчинів етанолу при $T = 293\text{ K}$

Вміст спирту, %	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
Осмотичний тиск, МПа	0,5296	1,05	1,59	2,118	2,47	3,18	3,707	4,237	4,77	5,296
Вміст спирту, %	12	14	16	18	20	22	30	40	50	60
Осмотичний тиск, МПа	6,354	7,414	8,473	9,932	10,591	11,65	15,888	21,184	26,48	31,776

Осмотичний тиск 70-відсоткової концентрації цукрози гарантовано приводить до бактеріостатичних ефектів. При цьому $P_{\text{ос}} \approx 5\text{ МПа}$ і таким же значенням осмотичних тисків відповідають розчини етанолу з концентраціями $\sim 9\text{—}10\text{ \%}$. Саме таким концентраціям відповідають завершальні стадії бродіння у спиртовому виробництві та у технологіях первинного виноробства.

Вказані значення осмотичних тисків суттєво доповнюються тисками, створюваними розчинним діоксидом вуглецю. Виконаємо розрахунки по їх оцінці. Оскільки молекулярна маса CO_2 складає 88 одиниць, то його 1-відсотковому розчину відповідає об'єм

$$V = \frac{88 \cdot 1}{10} = 8,8 \text{ л,}$$

двовідсотковому розчину — об'єм

$$V = \frac{88 \cdot 1}{20} = 4,4 \text{ л, тощо.}$$

Результати розрахунків по визначенню осмотичних тисків розчинів CO_2 наведено в табл. 4.

Наведені значення осмотичних тисків розчинів етанолу і діоксиду вуглецю приводять до висновку про те, що саме обмежена розчинність CO_2 дозволяє здійснювати процеси бродіння в рамках існуючих класичних співвідношень, оскільки за інших рівних умов вирішальне значення мав би принцип суперпозиції. В результаті слід прийти до висновку про доцільність вибору геометричних параметрів бродильних апаратів для зменшення в них величин гідростатичних тисків, що пояснює невдалі результати у використанні ЦКТ висотою до 40 м.

Таблиця 4. Результати розрахунків по визначенню осмотичних тисків розчинів CO_2 при $T = 293\text{ K}$

Концентрація CO_2 , %	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
Осмотичний тиск, МПа	0,277	0,554	0,831	1,107	1,384	1,66	1,938	2,215	2,49	2,768
Концентрація CO_2 , %	12	14	16	18	20	22	24	26	30	40
Осмотичний тиск, МПа	3,323	3,88	4,43	4,98	5,536	6,09	6,64	7,21	8,31	11,07

Проте, повернувшись до оцінки ефективності використання енергетичних потенціалів газонасичених середовищ, відмітимо ще одну технічну можливість, пов'язану з вертикальною гомогенізацією середовищ. Адже навіть за висоти шару рідинної фази 20 м масові концентрації CO_2 по висоті помітно відрізняються. При цьому чисто технічний результат, пов'язаний з розчинністю і концентрацією CO_2 по висоті може бути не єдиним чинником, що впливає на масовіддачу від клітини до середовища. Точна картина такого масообміну є невідомою, однак в умовах існування зустрічних матеріальних і енергетичних потоків стосовно клітини гіпотетично приймемо,

що він відбувається на молекулярному рівні. Це означає, що підвищення концентрації CO_2 в середовищі приведе до зменшення концентраційного градієнта і сповільнення дифузійного перенесення в системі «клітина — середовище». Проте може мати місце й інший результат, пов'язаний з відновленням градієнта за рахунок підвищення концентрації CO_2 в цитоплазмі клітини, хоча на прикладі інших об'єктів біологічного світу цілком надійно фіксуються обмеження концентрації діоксиду вуглецю в плазмі, крові тощо.

Вважаючи, що доцільність організації вертикального перемішування середовищ обґрунтована, виконаємо опис відповідного технічного рішення (рис. 1).

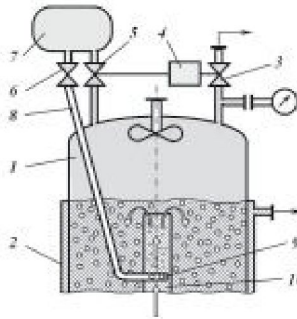


Рис. 1. Схема модифікованого бродильного апарата з системою вертикальної циркуляції:
1 — корпус; 2 — сорочка охолодження; 3 — клапан газової магістралі; 4 — контролер;
5 — клапан на магістралі ресивера; 6 — клапан магістралі подавання CO_2 на газорозподільний пристрій; 7 — ресивер; 8 — трубопровід подавання CO_2 ;
9 — газорозподільний пристрій; 10 — циркуляційна труба

Для здійснення вертикальної циркуляції апарат устатковується циркуляційною трубою 10 з газорозподільним пристроєм 9. Енергетичне забезпечення початку циркуляції здійснюється за рахунок стиснутого CO_2 , що знаходиться в ресивері 7. Для цього в момент відкривання клапана 3 і закривання клапана 5 відкривається дросельний клапан 6 з обмеженою пропускною здатністю. Після потрапляння діоксиду вуглецю в газорозподільний пристрій 9 починається рух газорідинної суміші в циркуляційній трубі, який підсилюється за рахунок додаткового утворення в ній диспергованої газової фази нижніх перенасичених на CO_2 шарів.

Подавання газу з ресивера продовжується на протязі часу десатурації середовища. Одночасно з відкриттям клапана 5 перекриваються клапани 3 та 6, проте циркуляція продовжується за рахунок енергетичного потенціалу глибинних шарів.

Наслідком організованої таким чином циркуляції буде обмеження концентраційного градієнта $\Delta c_i / \Delta x$, вертикальне перемішування і відповідна підвищена вертикальна гомогенізація середовища.

Разом з тим зберігаються переваги, пов'язані з організацією збереження енергетичного потенціалу. Адже кількість діоксиду вуглецю, що на першій фазі процесу зберігається, практично залишається сталою на протязі процесу бродіння. У зв'язку з цим значення має співвідношення об'ємів ресивера і газової фази бродильного апарата. В газгольдер (або в атмосферу) буде видалятися тільки та частина газу, що знаходиться в газовому просторі апарата. Після завершення десатурації і герметизації системи газ з ресивера перерозподіляється в системі, а потенціал тиску відновлюється в подальшому процесі бродіння.

Висновок. Рівень трансформації матеріальних потоків суттєво залежить від прийнятих технологій переробки під дією фізичних, хімічних, мікробіологічних впливів або їх комбінацій. Більшість мікробіологічних перетворень здійснюється на основі хімічної енергії матеріальних потоків з вагомою часткою втрат, пов'язаних з синтезом діоксиду вуглецю, біомаси мікроорганізмів та інших органічних сполук, які виводяться з циклу подальших перетворень і не входять до складу готової продукції та втрат у формі низькопотенціальної теплової енергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Піддубний В.А.* Наукові основи і апаратурне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв. Автореф. дисерт. на здобуття ступеня д.т.н. — К.: 2008. — 47 с.
2. *Соколенко А.І., Васильківський К.В., Шевченко О.Ю. та ін.* Фізико-хімічні методи обробки сировини та продуктів харчування. К.: — АртЕк. — 2000. — 306 с.
3. *Шевченко О.Ю.* Наукові основи і апаратурне оформлення процесів довгострокового зберігання харчових продуктів. Автореф. дисерт. на здобуття ступеня д.т.н. — К.: 2006. — 49 с.

Одержана редколегією 15.03.2011 р.