

А.І. Соколенко, доктор технічних наук,
О.Ю. Шевченко, В.А. Піддубний, М.І. Юхно,
канд. техн. наук,
Д.М. Полатайло,
Національний університет харчових технологій

Осмотичні явища в харчових технологіях

Значна кількість продуктів харчування і напоїв, в певній мірі, відносяться до розчинів. Розчини мають важливе значення в існуванні біологічних систем, оскільки живлення біологічних об'єктів на рівні клітин здійснюється переведенням компонентів харчування в розчинений стан. При вивченні властивостей розчинів особлива увага приділяється явищам осмосу, у тому числі механізму проникнення розчинника в розчин через напівпроникну перегородку у вигляді цитоплазматичної мембрани.

Явища осмосу відіграють важливу роль в житті рослинного світу та мікроорганізмів, оскільки оболонки клітин легко пропускають воду і майже не пропускають речовини, що входять до складу клітинного соку. Проникаючи в клітини, вода створює в них підвищений тиск і розтягує оболонки та підтримує їх у напруженому стані.

Осмотичний тиск клітинного соку на границі з водою складає 0,4-2,0 МПа. В розчинах з більш високим осмотичним тиском клітина втрачає воду з протоплазматичного мішечка. Це явище називають плазмолізом, і у такому стані досягаються бактеріостатичні ефекти. Саме останні викликають зростаючу увагу сучасних дослідників [1-6], тим більше, що добре вивчені і використовуються явища зворотного осмосу. Більш глибоке розуміння явищ прямого і зворотного осмосу, на думку авторів, може сприяти розвитку нових технологій харчових виробництв і у тому числі технологій, які приводять до подовжують терміни зберігання продукції.

У зв'язку з викладеним предметом цього дослідження автори обрали оцінку ефектів осмотичних явищ стосовно біологічних розчинів і мікробних клітин.

До числа мікроорганізмів, що супроводжують мікробіологічні та харчові виробництва відносяться дріжджі, плісені, актиноміцети, а також бактерії. Розміри їх клітин звичайно складають 0,5-10,0 мкм. В загальних рисах побудова клітин тварин, рослин і мікроорганізмів є однаковою, і від зовнішнього середовища вони захищені оболонками.

Не вдаючись більш детально в структуру і побудову клітин, відмітимо лише, що цитоплазматична мембрана відповідає за транспортування речовин, механізми якої продовжують вивчатися. Тут мають місце дифузія за градієнтом концентрації і одночасно впливи напівпроникності. Однак перехід речовин в клітину не завжди пояснюється законами простого осмосу і дифузії. Наприклад, з катіонів у клітинах переважає калій, а в середовищі - натрій, з аніонів - органічні аніони, а у зовнішньому середовищі - неорганічні. Перебіг життєво важливих процесів перенесення речовин і енергії пов'язано з мембранами, які складаються з білків і фосфоліпідів. У водних середовищах, що вміщують обмежену кількість речовин, встановлюється деякий приток води у протоплазму [4], і остання притискається до оболонки, що спричиняє активізацію обміну речовинами.

Впливи осмотичного тиску середовища на різні види мікроорганізмів мають певну кореляцію з осмотичним тиском клітинного соку. Цим користуються, призначаючи параметри технологічних і мікробіологічних процесів і обмежують життєдіяльність небажаних культур, які є домішками до основної. Добре відомо, що саме за допомогою мікроорганізмів можна регулювати вміст етанолу, який обмежується 12 % в бражці спиртових заводів, а 8-9 % — у винах

заводів первинного виноробства. З аналогічних причин в класичних технологіях пивоваріння початкова концентрація сухих речовин у пивному суслі складає 12 %, а у виробництві шампанського використовують осмофільні дріжджі, які дозволяють на завершення вторинного бродіння накопичити 14 % алкоголю.

Аналогічні обмеження мають місце і в інших виробництвах, що використовують мікробні культури. У результаті по виробничих умовах далеко не досягаються фактори оптимальної життєдіяльності мікроорганізмів і зміна показників середовища для них оцінюється на рівні стресів. Так, для пивних дріжджів розрізняють стреси осмотичний, етанольний окислювальний, температурний та ін. В останньому переліку маємо три хімічних фактори і один фізичний, однак у певній мірі вказану сукупність можливо привести до осмотичного тиску середовища у відповідності з рівнянням Вант-Гофа:

$$\pi_c = \frac{n}{V}RT \quad (1)$$

де n — число молей розчиненої речовини в об'ємі розчину V ; R — універсальна газова стала; T — абсолютна температура.

Хоча масообмін на рівні клітини має незрівнянно більшу складність, порівняно з хімічним осмосом, все ж кінцеві результати у них близькі, і це означає можливість орієнтації на аналітичні моделі хімічного прямого і зворотного осмосів.

Розміщення мікробних клітин у середовищі приводить до дифузії розчинника через їх оболонки, і, якщо осмотичний тиск розчину менший за осмотичний тиск клітинного соку, то вода дифундує всередину клітини. При цьому тиск в клітині змінюється по двом причинам. По-перше, збільшується доля рідинної фази, що приводить до підвищення напруження в оболонці. Разом з тим збільшення рідинної фази розчинника за стабільної кількості розчинених речовин осмотичний тиск клітинного соку зменшується і на новому рівні маємо:

$$\pi_{кл} = \frac{n}{V + \Delta V}RT \quad (2)$$

Феноменологічні міркування приводять до доцільності звернути увагу на два полярні положення системи "середовище-клітина", зважаючи на осмотичні тиски першого і клітинного соку. Якщо осмотичний тиск середовища близький до нуля, то, у відповідності з законами осмосу, мікробіологічна клітина реагує на це зростанням фізичного тиску P_f і при цьому:

$$P_f = \pi_{кл},$$

а для всієї системи, за випадку $\pi_c \neq 0$:

$$\pi_c = \pi_{кл} + P_f. \quad (3)$$

Інше полярне положення характеризується співвідношенням $\pi_{кл} \leq \pi_c$ і йому відповідає зворотний напрямок дифузійного потоку води, тобто з клітини у середовище.

Досвід явищ зворотного осмосу вказує на те, що саме фізичний тиск P_f виступає в ролі регуляторного чинника. У нашому випадку величина P_f відноситься до мікробної клітини, яку можливо змінити за рахунок зовнішнього тиску P , але ж останній обов'язково стосуватиметься і зовнішньо-

го для клітини середовища, а тому:

$$\pi_c + P = \pi_{кл} + P_{\phi} + P. \quad (4)$$

Очевидно, що регуляторний вплив зовнішнього тиску P має наближено однакові рівні активації зовнішнього і внутрішньоклітинного середовищ, виходячи з вхідного L_2 і вихідного L_1 матеріальних потоків, які відповідають умовам динамічної рівноваги (див. мал.).

Огляд робіт, присвячених розкриттю механізму селективної проникності мембран [8-11], показує, що до числа факторів впливу відносяться тиск, температура, гідродинамічні умови, електричні і магнітні поля, ультразвукові

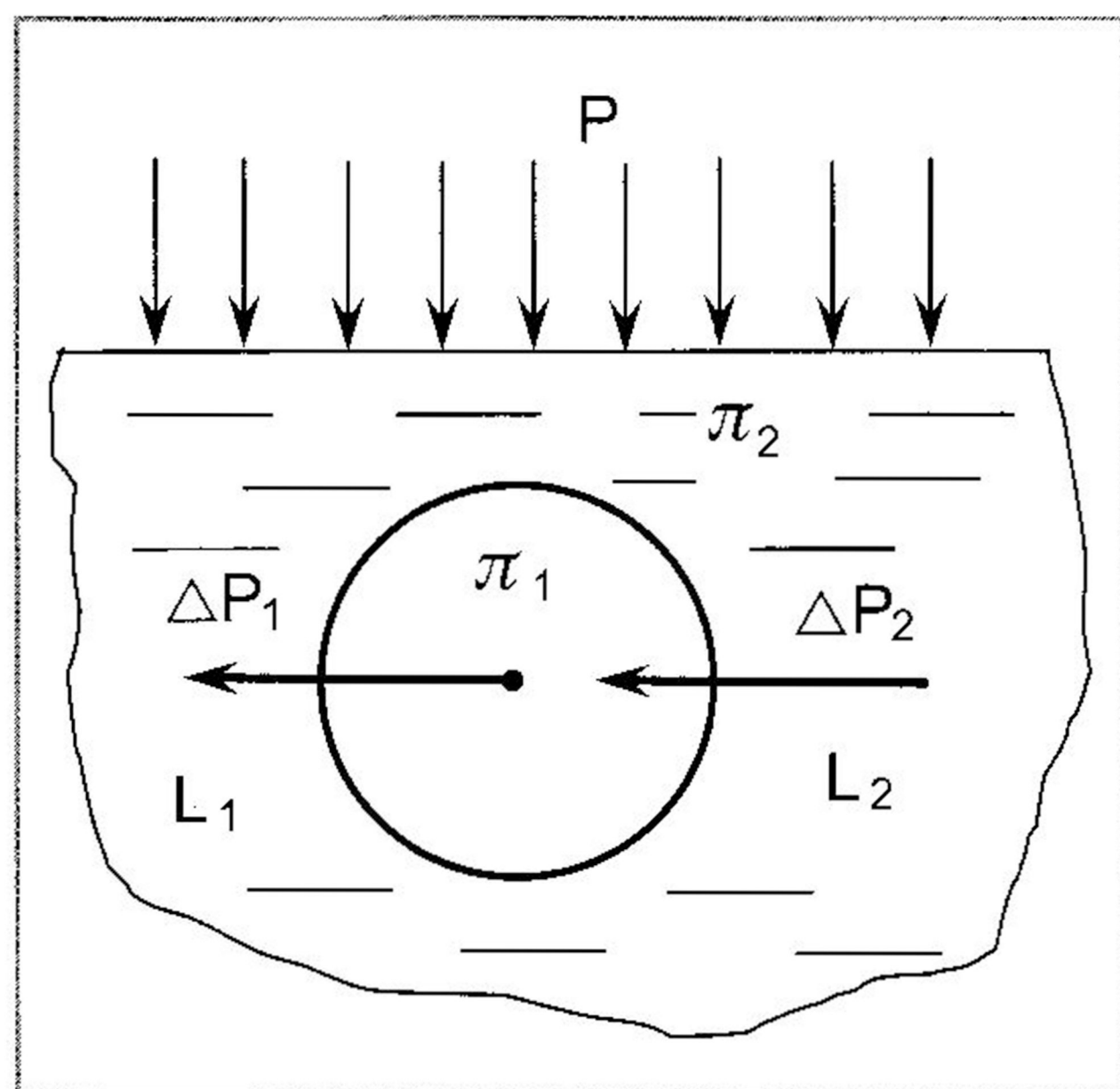


Схема до пояснення механізму масопередачі в системі "середовище-клітина"

Якщо в умовах зворотного осмосу має місце сприймання мембраною тиску, з одного боку, і підложки, з іншого, то у мікробних клітин оболонка стискається рідинною фазою. Ця різниця якраз і пояснює, чому у першому випадку досягаються зміни матеріальних потоків через мембрану за рахунок зміни зовнішніх тисків P , а у другому випадку потоки L_1 і L_2 залишаються практично стабільними.

Механізм впливу фізичних тисків розглядається через їх зв'язок з осмотичними тисками на основі електростатичної теорії розчинів [12], на основі гідратної теорії розчинів електролітів тощо.

Опосередкований вплив тиску видно з теорії Вант-Лаара [13] через хімічний потенціал розчинника. Статична теорія бінарних розчинів Мелвін Х'юза враховує різні розміри молекул, термодинамічні показники розчинів і їх інші колігативні властивості.

Наведені дані, що стосуються узагальнень впливу фізико-хімічних параметрів на осмотичні тиски розчинів, підтверджуються практикою зворотного осмосу і прямими експериментальними вимірами осмотичних тисків. Однак для системи "середовище-клітина" загальна модель є суттєво складнішою. Окрім того в такій системі практично не вдається розділити фізичні чи хімічні впливи на її складові.

Висновки.

На основі оцінки існуючих гіпотез, фізичних і математичних моделей можна прийти до наступних узагальнень:

- фізичний тиск в мікробній клітині дорівнює різниці осмотичних тисків клітинного соку π_1 і середовища π_2 , тобто $P_{кл} = \pi_1 - \pi_2$. Цю різницю тисків витримує клітинна і цитоплазматична оболонки. Зміна зовнішнього тиску P одночасно змінює фізичний тиск середовища і клітинного соку, тому різниця $\pi_1 - \pi_2$ залишається сталою. Стала різниця осмотичних тисків π_1 і π_2 пояснює, чому не вдається досягти хоча б бактеріостатичних ефектів за рахунок створення високих тисків у культуральних середовищах. Проте надви-

сокі тиски (500-600 МПа) приводять до деформацій стискання і ущільнення оболонок клітин, за яких можуть припинятися масообмінні процеси;

- за позитивної різниці $\pi_1 - \pi_2$ розчинник дифундує в клітину, зменшуючи концентрацію осмоутворюючих речовин і знижуючи величину π_1 . За досягнення співвідношення $\pi_1 = \pi_2$ масові потоки розчинника до клітини і назовні стають однаковими. Загальна картина масоперенесення ускладнюється одночасною наявністю потоків живильних речовин та з'єднань, що утворюються у процесі життєдіяльності мікроорганізмів, концентрація яких теж постійно змінюється;

- від'ємна різниця $\pi_1 - \pi_2$ спричиняє напрямок руху вологи (розчинника) з клітини у середовище і бактеріостатичні ефекти;

- величина різниці $\pi_1 - \pi_2$ визначає глибину різних видів стресів (етанольний, температурних, осмотичних тощо) і час адаптації мікроорганізмів до нових умов.

З точки зору загальних інтересів масообмінних процесів, не виключено існування певної різниці $\pi_1 - \pi_2$, яка відповідає усталеному режиму життєдіяльності мікробних клітин. Відомо, що збереження культур мікроорганізмів у виробничих умовах здійснюється в охолоджених водних середовищах. Відсутність розчинених в таких середовищах речовин знижує осмотичний тиск π_2 до нуля, і це означає наявність найбільшого фізичного тиску в клітині на рівні $P_{кл} = \pi_1$.

За стабілізованого значення $\pi_2 > 0$ нового середовища, в яке задається культура, різниця тисків по $\pi_1 - \pi_2$ буде найбільшою, що і визначає глибину осмотичних стресів. При цьому різниця по величині π_2 початкового і нового середовищ складає величину $\approx \pi_2$, і саме вона визначає час "стабілізації" або звикання мікроорганізмів до нових умов. Зменшення впливу стресу у зв'язку з викладеним слід очікувати на шляху використання середовищ з підвищеним осмотичним тиском для зберігання культур. ◀