

ХІМІЯ. ХІМІЧНА, БІОЛОГІЧНА ТА ХАРЧОВА ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 637.147.2

Т.Вітенько, канд. техн. наук; О.Гащин

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ ПРОМИВАННЯ КАЗЕЇНУ

В роботі проаналізовано основні технологічні процеси, що впливають на якість казеїну, описано недоліки, що виникають внаслідок його неякісного промивання, подано результати теоретичних і експериментальних досліджень кінетики процесу, встановлено величини коефіцієнтів дифузії та кінетичних параметрів процесу.

Вступ

Казеїн харчовий – білковий продукт, що отримується із свіжого пастеризованого знежиреного молока шляхом впливу на нього молочної кислоти чи харчової соляної кислоти або сичужного фермента з наступним промиванням і сушінням в сушарках. Цей продукт застосовується у технологіях виробництва ковбас, молочних і хлібопекарських виробів; призначений для збагачення мучних, м'ясних і молочних продуктів з метою підвищення їх харчової цінності, а також в якості емульгуючих і зв'язуючих речовин.

Показники якості харчового кислотного казеїну, що виготовляється кислотним способом, повинні відповідати вимогам ОСТ 49 60-74.

На якість продукту впливають декілька основних процесів: сепарування молока; осадження казеїну; промивання зерна; зберігання казеїну-сирцю; сушіння; зберігання готового продукту.

Деякі недоліки казеїну виникають внаслідок неякісного промивання. До них слід віднести: високу титровану кислотність; підвищену зольність; бурий, коричневий колір; гнилісний, затхлий запах.

Процес промивання казеїну у виробничих умовах повторюють не менше 3 раз. Під час першого промивання використовують воду температури 30-35°C, під час другого - 20-25°C і третього - 10-15°C. Тривалість кожного промивання сягає 10-15 хв; розхід води на кожне промивання складає 20% від кількості переробленого молока.

При промиванні казеїну-сирцю із нього вилучають такі домішки: молочний цукор, молочну кислоту, розчинені у воді солі, що знижують якість казеїну, особливо технічного. Вода для промивання повинна відповідати ГОСТ 2874-82, має бути чистою і бактеріально незабрудненою, особливо гнильними бактеріями, не містити солей заліза, так як останні адсорбуються білком і забарвлюють його в бурий колір (в 1 л води допускається не більше 2 мг заліза в перерахунку на Fe₂O₃); реакція води повинна бути нейтральною (лужна вода, що містить двовуглекислі солі кальцію, викликає набухання казеїну і збільшує зольність), твердість – не більше 5° (воду з підвищеною твердістю необхідно пом'якшувати і нейтралізувати кислотою) [1].

Промивання проводиться з метою більш повного звільнення казеїну від усіх небілкових компонентів і відіграє вирішальну роль в отриманні казеїну з низькою кислотністю. Ретельно промитий казеїн має більш низьку кислотність, меншу кількість золи, він в меншій мірі піддається псуванню. Це є одним із факторів отримання додаткового прибутку за рахунок підвищення якості.

Однак, при проведенні досліджень з використанням нових методів обробки води, для забезпечення якісного промивання казеїну, необхідно знати основні кінетичні закономірності вихідного процесу. Тому, метою роботи було експериментальне визначення кінетичних коефіцієнтів процесу промивання казеїну на основі математичної моделі, яка базується на механізмі вилучення.

Аналіз досліджень, в яких започатковано розв'язок даної проблеми

Характерною особливістю вилучення молочної кислоти з казеїну з погляду механізму і кінетики вилучення компонентів є те, що внутрішня дифузія є найбільш повільною стадією процесу, тому розрахунок таких процесів пов'язаний з труднощами визначення коефіцієнтів дифузії.

Аналіз частинок казеїну показав, що сировина характеризується ізотропною структурою і за формою наближається до кулі. Якість промивання казеїну оцінювали за зміною титрованої кислотності в часі, а відповідно і концентрації молочної кислоти в порах.

Для кількісної оцінки кінетики промивання казеїну можливо використати загальні закономірності масообміну в системі тверде тіло – рідина [2]. Нестационарне поле концентрації речовини (молочної кислоти), яка вилуговується з твердого пористого тіла (казеїну), можливо кількісно оцінити за допомогою диференціального рівняння масопровідності при відповідних крайових умовах, оскільки молочна кислота покидає пористе тіло за допомогою явища дифузії.

Для малих розмірів тіл експериментально оцінювати поле концентрації незручно. В таких випадках простіше визначати експериментальну середню за об'ємом частинки концентрацію в різні моменти часу. Теоретично таку характеристику можливо отримати шляхом інтегрування диференціального рівняння масопровідності при крайових умовах, які відповідають реальному процесу. На основі характеристики поля концентрацій як функції часу отримують залежність зміни середньої по об'єму концентрації в часі. Для такого випадку Г.А.Аксельрудом отримано відповідні залежності [3].

Згідно з [2], рівняння кінетики процесу вилучення молочної кислоти з казеїну для замкненого процесу має вигляд:

$$\frac{c_0 - \bar{c}_2}{c_0 - c_m} = \frac{1}{1 + \beta} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6}{\left(3\beta - \frac{\mu_n^2}{Bi}\right)^2 + \mu_n^2 \left(1 - \frac{1}{Bi}\right) + 9\beta} e^{-\mu_n^2 \tau}, \quad (1)$$

де c_0 – середня концентрація молочної кислоти в порах в початковий момент часу (мг/л);

\bar{c}_2 – середня концентрація молочної кислоти в порах, що відповідає часу t (мг/л);

$c_m = c_n$ – концентрація молочної кислоти у воді в початковий момент часу (мг/л);

β – коефіцієнт масовіддачі ;

Bi – критерій Біо (с/м);

μ – корені характеристичного рівняння

$$ctg\mu = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\frac{3\beta}{\mu} - \frac{\mu}{Bi}}, \quad (2)$$

$$\tau = Dt/R^2; \quad (3)$$

R – радіус кулі (м);

D – коефіцієнт дифузії (м²/с);

t – час (с).

Щоб скористатися цими рівняннями кінетики для кількісних розрахунків, необхідно дослідним шляхом встановити величини кінетичних коефіцієнтів, а також величину параметра β . З рівняння кінетики (1) випливає, що при $t \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{1 + \beta} - \frac{c_0 - \overline{c_{2k}}}{c_0 - c_m} = 0. \quad (4)$$

Приймаючи для замкненого процесу $c_m = c_n = 0$, а також враховуючи балансове рівняння

$$\beta(c_0 - \overline{c_{2k}}) = c_p, \quad (5)$$

отримаємо

$$\frac{1}{1 + \beta} - \frac{1}{\beta} \frac{c_p}{c_0} = 0. \quad (6)$$

З рівняння (6) можна визначити значення β

$$\beta = \frac{c_p}{c_0 - c_p}. \quad (7)$$

Вихідні дані для обчислення параметра β отримали експериментально згідно з [2].

Опис експериментального стенду та методики експериментів

Дослідження процесу вилучення молочної кислоти з казеїну проводили на лабораторній установці з механічним перемішуванням, схема якої зображена на рис. 1.

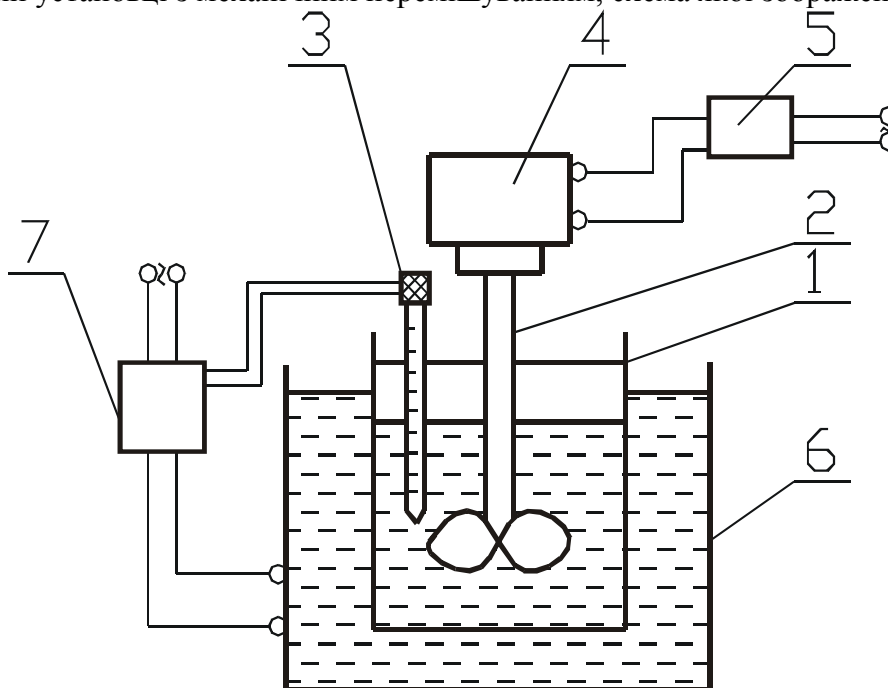


Рис 1. – Схема дослідної установки:

1 – скляний реактор; 2 – мішалка; 3 – контактний термометр; 4 – електродвигун мішалки;
5 – регулюючий трансформатор; 6 – термостат; 7 – регулятор

В наповнений водою термостат 6, попередньо нагрітий до певної температури, розміщали скляний реактор 1 місткістю 1 л. В реактор встановлювали пропелерну мішалку 2, яка приводилася в дію електродвигуном 4, що вмикався в мережу через регулюючий трансформатор 5. Температура процесу фіксувалась за допомогою контактного термометра 3, безпосередньо зв'язаного з регулюванням температури термостата.

Методика експерименту полягала в наступному. Після розігрівання термостату до потрібної температури в нього поміщали скляний реактор. В реактор встановлювали мішалку, наливали 250 мл води і добавляли 100 гр казеїну.

Через певні проміжки часу відбирали проби води на аналіз. Аналізувався вміст молочної кислоти у воді. В результаті отримувались дані зміни концентрації молочної кислоти c_1 у воді в процесі її вилучення з казеїну.

Після встановлення рівноваги визначали рівноважну концентрацію $c_k = c_p$. У виробничих і лабораторних умовах визначали титровану кислотність казеїну \bar{c}_2 .

Результати та їх обговорення

Для визначення основних кінетичних параметрів процесу вилучення молочної кислоти з казеїну експериментально отримані залежності зміни концентрації молочної кислоти у воді (табл. 1) для режимно-технологічних параметрів першого, другого і третього промивання.

Таблиця 1

Концентрація молочної кислоти у воді c_1 , мг/л

t,с	300	600	900	1200	1500
Перше промивання	202	213	215	221	225
Друге промивання	188	198	203	207	212
Третє промивання	167	173	180	186	190

Значення константи β , визначене з рівняння (7) для вказаних в таблиці концентрацій становить 6,64 – для першого промивання, $\beta=6,84$ – для другого, $\beta=6,82$ – для третього промивання.

Після визначення параметра β , за тангенсом кута нахилу прямої (рис. 2.) і системи рівнянь (8) визначали V_i , D і μ для кожного промивання.

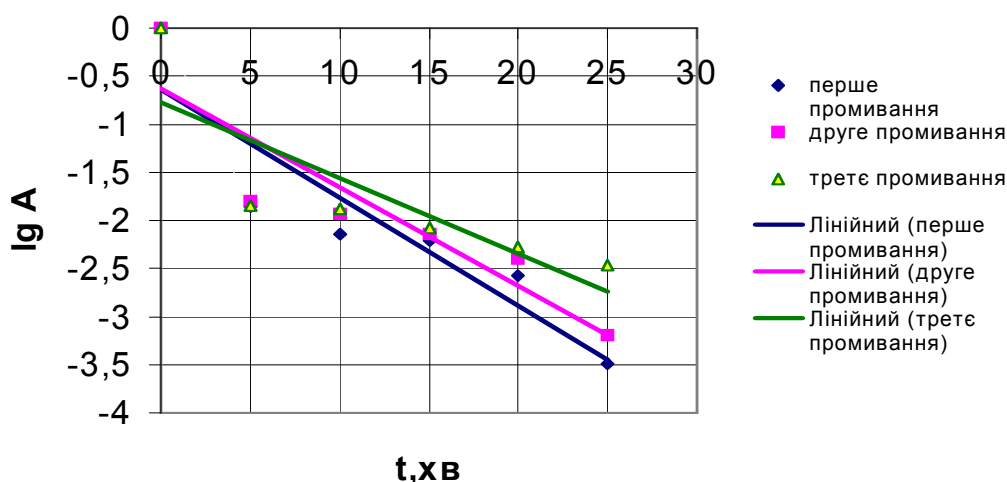


Рис. 2. Логарифмічна залежність концентрації молочної кислоти у воді

$$\lg A = \lg \left(\frac{1}{1 + \beta} - \frac{1}{\beta} \frac{c_1}{c_0} \right) \text{ від часу } t$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{6}{\left(3\beta - \frac{\mu^2}{Bi}\right)^2 + \mu^2\left(1 - \frac{1}{Bi}\right) + 9\beta} &= A; \\ 0,434\mu^2 \frac{D}{R^2} &= \operatorname{tg}\alpha; \\ \operatorname{ctg}\mu &= \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\frac{3\beta}{\mu} - \frac{\mu}{Bi}}. \end{aligned} \right\} (8)$$

Для першого промивання коефіцієнт $D=3,005 \times 10^{-6}$, для другого $D=3,467 \times 10^{-6}$ і для третього промивання $D=4,358 \times 10^{-6}$.

Визначені параметри дозволяють скористатися рівнянням кінетики процесу (1) для отримання залежності зміни концентрацій $C_2=f(t)$.

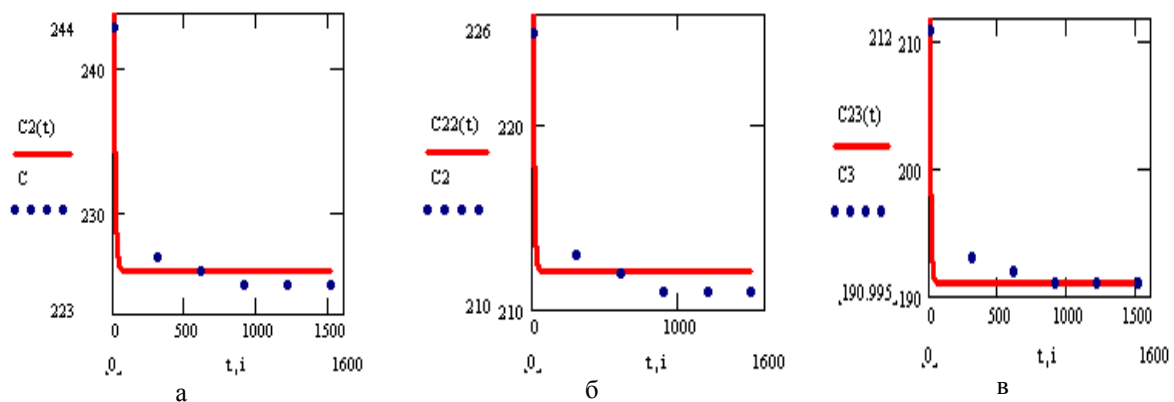


Рис. 3. Графічне зображення зміни концентрації молочної кислоти в порах: а – перше промивання; б – друге промивання; в - третє промивання: $C_2(t)$ – концентрація молочної кислоти в порах, визначена теоретично; C – концентрація молочної кислоти в порах, визначена дослідним шляхом; i – проміжки часу, за які визначалася концентрація дослідним шляхом; t – час, c

Таблиця 2

Концентрація молочної кислоти в порах казеїну \bar{c}_2 , мг/л

t, c	0	300	600	900	1200	1500
Перше промивання	243	227	226	225	225	225
Друге промивання	225	213	212	211	211	211
Третє промивання	211	193	192	191	191	191

Залежність, отримана теоретично, подана на рисунку 3. Для перевірки отриманих значень було експериментально визначено зміну концентрації молочної кислоти \bar{c}_2 в порах казеїну у виробничих умовах (табл. 2).

Співставлення розрахованих за математичною моделлю параметрів процесу промивання з експериментальними даними відповідно до рисунка 3 показує, що різниця між експериментальними і розрахованими значеннями складає 2,6 %, що дає змогу прогнозувати кінетику процесу в умовах виробництва, правильно розрахувати час обробки казеїну, кількість використовуваної води і вартість кінцевого продукту.

Висновки

1. Розроблено математичну модель процесу промивання казеїну, що може використовуватись для об'єктів з пористою ізотропною структурою.
2. На основі розробленої моделі експериментально визначено кінетичні параметри процесу в лабораторних і виробничих умовах.

The article is written by basic technological operations wich influence the quality of casein. The qualitative lacks of arrising its insufficient washing are separately considered. The paper are presented the results of theoretical and experimental rezeaches of kinetics in washing process of casein. There were determined the quantity of factors of diffusion and kinetic parameters of process.

Література

1. Технология молока и молочных продуктов. Под ред. П.Ф. Дяченко, М.С. Коваленко. - М.: Высшая школа, 1974. – 446 с.
2. Г.А.Аксельруд. Массообмен в системе твёрдое тело – жидкость. – Львов: Издательство Львовского университета, 1970. – 185 с.
3. ГОСТ 3624-92 "Молоко и молочные продукты, титриметические методы определения кислотности". – 1994. – 11 с.
4. Козлов В.Н., Затирка А.Ф. Технология молочно-белковых продуктов. – К.:Урожай, 1988. – 168 с.

Одержано 18.03.2004 р.