

М.П. Головка, д-р техн. наук, проф. (ХДУХТ, Харків)

В.В. Полевич, д-р техн. наук, проф. (ХДУХТ, Харків)

М.Л. Серік, канд. техн. наук, доц. (ХДУХТ, Харків)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГІДРОЛІТИЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ КОЛАГЕНУ ХАРЧОВОЇ КІСТКИ ЗА УМОВ ПІДВИЩЕНОГО ТИСКУ ТА ТЕМПЕРАТУРИ

Міцність кісткової тканини зумовлена білками, переважно сполучнотканними, які забезпечують поєднання у єдиний матрикс всі складові кістки. Існує гіпотеза, яка в подальшому мала практичне підтвердження, що видалення з кістки білків спричинить втрату її міцності. На наш погляд, найбільш придатним у технології комплексної переробки кістки є гідротермічний гідроліз за умов надлишкового тиску та температури понад 100° С.

Динаміка накопичення продуктів гідролізу білка кісткової тканини вивчалася М.І. Беляєвим, О.І. Черевко, Г.М. Постновим та інш. Цей процес авторами проводився за умов атмосферного тиску у відкритих котлах. Параметри накопичення білкових речовин у водному середовищі під час гідролізу колагену кісткової тканини за умов надлишкового тиску та температури у доступній нам літературі не виявлено.

Авторами (М.І. Беляєв, П.Л. Пахомов) була обґрунтована можливість моделювання процесу екстракції сухих речовин, які містяться у кістці, диференціальним рівнянням виду:

$$\frac{dm_c}{d\tau} = -k P m_c \quad (1)$$

тобто запропоновано вважати, що швидкість зменшення з часом τ маси сухих речовин $\frac{dm_c}{d\tau}$ пропорційна цій масі $m_c(\tau)$, відносній «відкритій пористості» P (відносному об'єму відкритих пор) та коефіцієнту пропорційності k , який не залежить від часу.

Природно, що в процесі вилучення сухих речовин приймають участь тільки «відкриті» пори. Ця обставина обумовлює тезу, що визначення функції P є ключовою для визначення кількісної динаміки накопичення речовин в бульйоні.

Для обґрунтування параметрів гідротермічної обробки кісткової сировини доцільно поряд з вивченням процесу накопичення білків у водному середовищі нами вивчено динаміку змін мікроархітекτονіки харчової кістки. Для гістологічних досліджень використовували зразки кістки до та після гідротермічного гідролізу, проведеного за умов надлишкового тиску 2×10^5 Па, температури 133°С протягом 1...8 годин.

Детальне дослідження біофізичної та фізико-хімічної природи вилучення білкових речовин, а також аналізуючи значний експериментальний матеріал, зокрема гістологічні зрізи, дало підстави вважати, що відносний об'єм відкритих пор адекватно описується наступною функцією:

$$P = \frac{1}{a + b \cdot e^{-\tau}} \quad (2)$$

Параметри a та b мають наочний зміст. Так, $a+b$ визначається мінімальним значенням відносного об'єму відкритих пор P_{\min} :

$$a+b \approx \frac{1}{P_{\min}} \quad (3)$$

У процесі вилучення білкових речовин із кістки настає момент, при якому градієнти щільності речовин в бульйоні та в кістці зрівнюються. Процес вилучення стає насиченим. Припустимо, що такий момент характеризується часом $\tau_{\text{нас}}$. Таким чином для параметрів функції регресії отримаємо ($\tau_{\text{нас}}=6\div 8$ годин): $a \approx 4,52$; $b \approx 138,68$. Отримана функція $P(\tau)$ описує з надійністю не менш ніж 97% стохастичну динаміку відносного об'єму відкритих пор від часу.

Якщо підставити $P(\tau)$ в вихідне диференціальне рівняння та проінтегрувати його при початковій умові $m_c(\tau=0) = m_0$, будемо мати:

$$\ln\left(\frac{m_c}{m_0}\right) = \frac{k}{a} \left[\tau + \ln \frac{a + b e^{-\tau}}{a + b} \right] \quad (4)$$

Маса білкових речовин, що виділися у бульйон, дорівнює $\Delta m = m_0 - m_c$, або в розгорнутому виді:

$$\Delta m = m_0 \left\{ 1 - e^{-\frac{k}{a} \left[\tau + \ln \frac{a + b e^{-\tau}}{a + b} \right]} \right\} \quad (5)$$

Таким чином вперше побудована кількісна модель динаміки відносного об'єму відкритих пор від часу при гідротермічній обробці харчової кістки, на основі якої розв'язана задача дифузії білкових речовин в бульйон. Отримані теоретичні залежності адекватно узгоджуються з експериментом.