

Г.М. Постнов, канд. техн. наук, проф. (ХДУХТ, Харків)
О.В. Яковлєв, здобувач (КДМТУ, Керч)

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВНУТРІШНЬОГО МАСОПЕРЕНОСУ ПІД ЧАС СОЛІННЯ РИБИ В ПОЛІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

Соління – складний процес, що складається з дифузійного переходу солі в рибу, дифузійно-осмотичного перенесення води з тканин риби в тузлук або, навпаки, залежно від концентрації сольового розчину. Соління супроводжується фізико-хімічними та біохімічними змінами: денатурацією і гідролізом білків, ліпідів і екстрактивних речовин, зміною мікрофлори і вітамінів. Під час соління в продукті мають місце два взаємопов'язані процеси – зовнішня дифузія, або процес конвективного масообміну, і внутрішня молекулярна дифузія, яка може бути описана I і II законом Фіка

Як більшість харчових продуктів риба належить до колоїдних капілярно пористих тіл, оскільки основною морфологічною структурою рибної сировини є м'язова клітина. Тому інтенсивність внутрішнього масопереносу залежить від характеру пористої структури. Розподіл капілярів за радіусами визначає характер стану вологи в рибі. За літературними даними з усієї вологи в сирій рибі 19% становить пов'язана волога і 81% вільна. З точки зору пористої структури це означає, що 19% складають мікрокапіляри радіусом $10^{-9} \dots 10^{-7}$ м і 81% макрокапіляри радіусом $10^{-6} \dots 10^{-5}$ м.

Збільшення інтенсивності внутрішнього масопереносу під час засолу риби визначається можливістю виникнення мікроконвективних течій в капілярах, які збільшують градієнт концентрації, а відповідно інтенсивність посолу. Проведемо таку оцінку виходячи з таких уявлень. Необхідною умовою виникнення конвекційного мікротечії в капілярі є рівність сил в'язкого тертя і сили гідродинамічного тиску в капілярі.

Оцінимо величину інтенсифікації внутрішнього масопереносу за рахунок ультразвукових коливань. Відзначимо, що така інтенсифікація можлива тільки в макрокапілярах з радіусом $r > 10^{-6}$ м. Тому результуючий внутрішній потік маси будемо розглядати як суму потоків в мікро- і макрокапілярах.

У разі відсутності ультразвукових коливань потік є повністю дифузійним, тому його можна визначити з наступного виразу

$$j_{\text{диф}} = D \frac{\Delta C}{r_{\text{мікро}}} \xi_{\text{зв}} + D \frac{\Delta C}{r_{\text{макро}}} \xi_{\text{віл}}, \quad (1)$$

де $j_{\text{диф}}$ – величина течії маси в капілярі;

D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$;

ΔC – різниця концентрацій по радіусу капіляра, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\xi_{\text{зв}}$, $\xi_{\text{вгл}}$ – частка мікро- і макрокапілярів у рибі;

$r_{\text{мікро}}$, $r_{\text{макро}}$ – характерний розмір мікро- і макрокапілярів відповідно.

У разі наявності ультразвукових коливань в макрокапілярах виникає конвективний потік, тому

$$j_{\text{уз}} = D \frac{\Delta C}{r_{\text{мікро}}} \xi_{\text{зв}} + \frac{v_0^2}{2c_0} \Delta C \xi_{\text{вгл}}. \quad (2)$$

де v_0 – амплітуда коливальної швидкості ультразвукової хвилі, $\text{м}/\text{с}$;

c_0 – швидкість звуку в середовищі (тузлуці), $\text{м}/\text{с}$.

Збільшення інтенсивності внутрішнього масопереносу при використанні ультразвуку складе

$$\frac{j_{\text{уз}}}{j_{\text{диф}}} = \frac{D \frac{1}{r_{\text{мікро}}} \xi_{\text{связ}} + \frac{v_0^2}{2c_0} \xi_{\text{своб}}}{D \frac{1}{r_{\text{мікро}}} \xi_{\text{связ}} + D \frac{1}{r_{\text{макро}}} \xi_{\text{своб}}} \quad (3)$$

Для розрахунку за формулою прийmemo наступні значення $D = 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$; $c_0 = 1500 \text{ м}/\text{с}$; $f = 24000 \text{ Гц}$; $A = 70 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Частку мікро- і макрокапілярів прийmemo рівною відносним вмістом пов'язаної м вільної води в сирій рибі $\xi_{\text{мікро}} = 0,19$; $\xi_{\text{макро}} = 0,81$, а характерні розміри капілярів $r_{\text{мікро}} = 10^{-9} \text{ м}$; $r_{\text{макро}} = 10^{-5} \text{ м}$. В результаті отримуємо величину збільшення інтенсивності внутрішнього масопереносу за використання ультразвуку

$$\frac{j_{\text{уз}}}{j_{\text{диф}}} = 1.14. \quad (4)$$

Оскільки величина v_0 залежить від частоти ультразвуку, то за збільшення частоти ультразвукових коливань в 2 рази збільшення інтенсивності складе $j_{\text{уз}}/j_{\text{диф}} = 1,54$ (при постійному значенні $A = 70 \cdot 10^{-6} \text{ м}$).