

*Віктор ТУЦЬ,
Олена СИДОРЕНКО,
Олена РОМАНЕНКО*

СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РИБОРОСЛИННИХ ПРОДУКТІВ

Об'єктивна оцінка якості харчових продуктів передбачає вивчення комплексу показників, що впливають на формування споживних властивостей товару. Одними з основних сенсорних показників якості, що визначають конкурентоспроможність продукту, є смак і консистенція, які зумовлені хімічним складом та структурно-механічними особливостями. М'ясо риби слід розглядати як біоколоїдне тіло, що

© Віктор Туць, Олена Сидоренко, Олена Романенко, 2006

має певні фізико-хімічні властивості. Воно являє собою суцільну структуровану систему зі специфічним розташуванням речовин і характерними структурно-механічними особливостями.

Недостатньо вивченими й складними для моделювання залишаються процеси, пов'язані з адгезією структурованих харчових мас. Адгезія – непрямий показник, що характеризує консистенцію продукту та впливає на його споживні властивості. Часто вона небажана через неефективність використання обладнання, зменшення якості продукту, зростання витрат сировини та енергетичних ресурсів.

Причиною недостатнього вивчення адгезії вважають складність проведення експериментальних досліджень, оскільки більшість приладів базується на вимірюванні зусиль за допомогою індукційних або тендодатчиків. Основний недолік цих приладів – велика інерційність і неможливість отримання точних результатів при великих швидкостях підйому поверхні робочої частини приладу від продукту та при імпульсній зміні зусиль.

Проведено дослідження консистенції нових видів риборослинних консервів і паштетів для оптимізації рецептурного складу за органолептичними та структурно-механічними показниками. Основа рецептури риборослинних продуктів – прісноводна риба товстолобик, функціональні добавки – кизил, алича, буряк, морква, морські водорості, гуарова камедь і альгінат¹. Саме три останні впливають на формування структурно-механічних властивостей продуктів. Для визначення консистенції харчових дисперсних систем застосовують прилади-пенетрометри, принцип роботи яких полягає в силовому введенні індентора у продукт.

Нині, залежно від структурно-механічних властивостей і методики розрахунку консистенції продукту, використовуються прилади, які фіксують:

- ♦ зусилля, яке витрачають на занурення індентора у продукт на задану глибину;
- ♦ глибину занурення індентора у продукт при постійному зусиллі;
- ♦ одночасно глибину занурення і зусилля, яке витрачають на задану глибину занурення індентора.

При визначенні консистенції м'яса, включаючи рибу та риборослинні продукти, частіше використовують динамометричні пенетрометри. Індентор цих приладів занурюють у продукт з постійною швидкістю на задану глибину, при досягненні якої зусилля опору продукту фіксують датчиком тиску. За величиною зусилля опору визначають консистенцію².

¹ Сидоренко О.В. Теоретичні та прикладні аспекти розроблення функціональних продуктів харчування // Вісник КНТЕУ. – 2005. – № 2, Ч. 2. – С. 93-98.

² Косой В.Д., Малишева А.Д., Юдина С.Б. Инженерная реология в производстве колбас. – М.: Колос, 2005. – 264 с.

Пристрої, які працюють за вищенаведеним принципом, не забезпечують точності вимірювання. Вони не мобільні, дорогі та складні за конструкцією.

Авторами запропоновано конструкцію портативного гравітаційного пенетрометра (рис. 1) та методику визначення консистенції³. Схему дії сил при проникненні голчастого індентора у продукт показано на рис. 2. Сила тертя (F_{mp}) залежить від фізичної та хімічної взаємодії поверхні індентора з продуктом. Вимірюють глибину занурення індентора відповідної маси, який падає із заданої висоти.

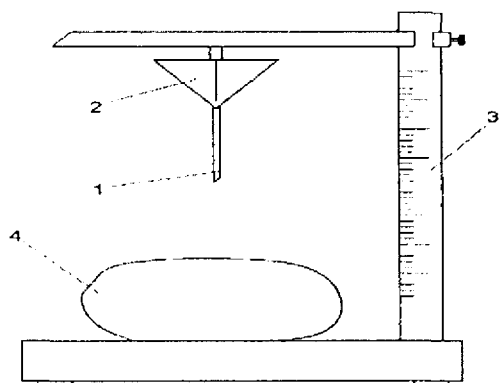


Рис. 1. Гравітаційний пенетрометр:

1 – індентор; 2 – стабілізатор;
3 – вимірювач висоти; 4 – продукт

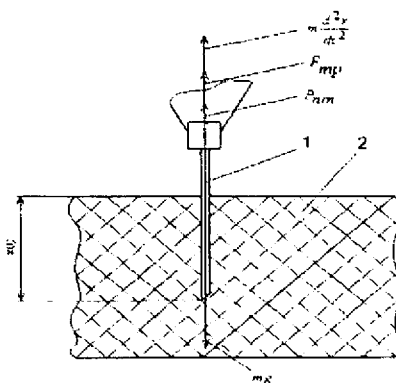


Рис. 2. Схема дії сил при проникненні індентора у продукт:

$m \frac{d^2x}{dt^2}$ – сила інерції Ньютона;

F_{mp} – сила тертя;

P_{nm} – сила проникнення;

$x(t)$ – глибина занурення індентора;

mg – сила тяжіння;

1 – індентор; 2 – продукт

Розрахунок проводять за математичною моделлю руху індентора після торкання поверхні продукту за загальним рівнянням:

$$P_H + S_0 F_{ad} + P_n \frac{\pi D^2}{4} = P(t), \quad (1)$$

де $P_H = m \frac{d^2x}{dt^2}$ – сила інерції Ньютона, Н;

S_0 – площа контакту ($S_0 = \pi D x(t)$), м²;

$x(t)$ – глибина занурення індентора, м;

F_{ad} – міцність адгезії, Па;

P_n – напруга опору, Па;

D – діаметр індентора, м;

$P(t)$ – сила занурення індентора, Н.

³ Свідчення на винахід 14496 (2006) // Спосіб визначення консистенції харчових продуктів.

Напруга опору (P_n) є показником, який характеризує консистенцію продукту.

Залежно від структурно-механічних властивостей дослідного зразка можуть застосовуватися різні за розмірами і формою індентори. Для паштетних мас і стерилізованих консервів доцільно використовувати конічні та циліндричні індентори. Для конічних – площа контакту, на відміну від циліндричних, буде змінюватися за нелінійним законом.

Зважаючи на те, що площа контакту (S_0) змінюється залежно від глибини занурення, яке відбувається під дією сили тяжіння, рівняння (1) для циліндричного індентора має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \pi D x(t) F_{ad} + P_n \frac{\pi D^2}{4} = mg, \quad (2)$$

де m – маса індентора, кг.

Використавши символічну комп'ютерну математику *Maple* та врахувавши початкові умови $x(0) = 0 \rightarrow \frac{dx}{dt} = V_{ox}$, розв'язок рівняння (2) буде таким:

$$\begin{aligned} eg := x(t) = & \frac{\sin\left(\frac{\sqrt{F_{ad}} \sqrt{\pi} \sqrt{Dl} t}{\sqrt{massa_1}}\right) Vox \sqrt{massa_1}}{\sqrt{F_{ad}} \sqrt{\pi} \sqrt{Dl}} \\ & + \frac{1}{4} \frac{\cos\left(\frac{\sqrt{F_{ad}} \sqrt{\pi} \sqrt{Dl} t}{\sqrt{massa_1}}\right) (P_n \pi Dl^2 - 4 massa_1 g)}{F_{ad} \pi Dl} + \frac{1}{4} \frac{-P_n \pi Dl^2 + 4 massa_1 g}{F_{ad} \pi Dl} \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння (3) встановлює зв'язок між глибиною занурення індентора ($x(t)$) і напругою опору (P_n). Вимірявши $x(t)$, розрахунковим шляхом знаходять P_n . Отримати точний результат дає змогу аналіз графіка $x(t)$, побудованого за рівнянням (3). Величину F_{ad} знаходили за видом сімейства кривих, що отримані для різних напруг опору, використовуючи експериментально-аналітичний метод⁴.

Аналіз графіків траєкторій руху дає змогу встановити, що зі збільшенням коефіцієнта опору (K) довжина переміщення по осі (X) зменшується *непропорційно*. Графік цієї залежності для товстолобика, консервованого з додаванням морських водоростей, наведено на рис. 3. Під час експериментальних досліджень зразка продукту тієї ж

⁴ Гуць В.С., Коваль О.А. Експериментально-аналітичний метод визначення адгезії харчових продуктів // Наук. пр. нац. ун-ту харч. технол. – 2006. – № 18. – С. 76-80.

самої маси при відсутності адгезії траєкторія переміщення матиме зовсім інший вигляд і, відповідно, буде іншою (більшою) координата осі X , оскільки в цьому випадку заважати рухові продукту буде тільки опір повітря.

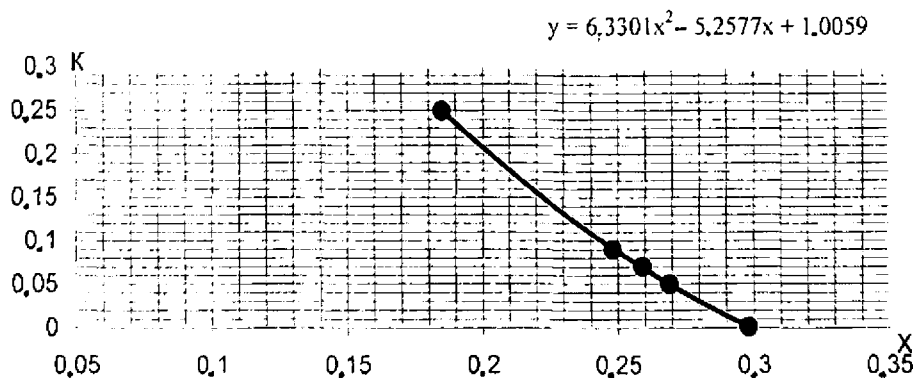


Рис. 3. Залежність між коефіцієнтом опору (K) і довжиною переміщення по осі (X) для рибних консервів

Рівняння (2) включає показник міцності адгезії F_{ad} , значення якого знаходять, використавши маятниковий адгезиметр (рис. 4).

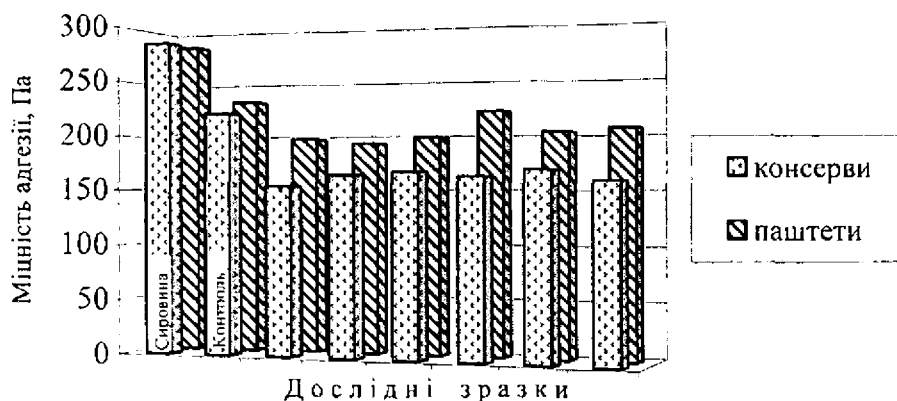


Рис. 4. Показники міцності адгезії риборослинних консервів і паштетів

Аналіз експериментальних даних показав, що найбільша міцність адгезії характерна для риби-сирцю (285 Па) та контрольних зразків консервів (219 Па) і паштетів (232 Па). Останні мають вищий показник адгезії порівняно з таким же показником консервів, що необхідно враховувати при їх виробництві. При додаванні альгінату до паштетів зростає міцність адгезії порівняно зі зразками, що містять водорості й гуарову камедь. Дослідні зразки із рослинними добавками мають значно меншу адгезію, оскільки ягоди й овочі зумовлюють більш

пружну консистенцію шматочків риби і завдяки зменшенню площі контакту між ними не злипаються. Нижчі рівні міцності адгезії риборослинних консервів і паштетів визначають стабільність споживних властивостей протягом терміну зберігання.

Міцність адгезії м'яса товстолобика залежно від тривалості зберігання консервів $F_{ad} = f(t)$ змінюється і зростає непропорційно (рис. 5).

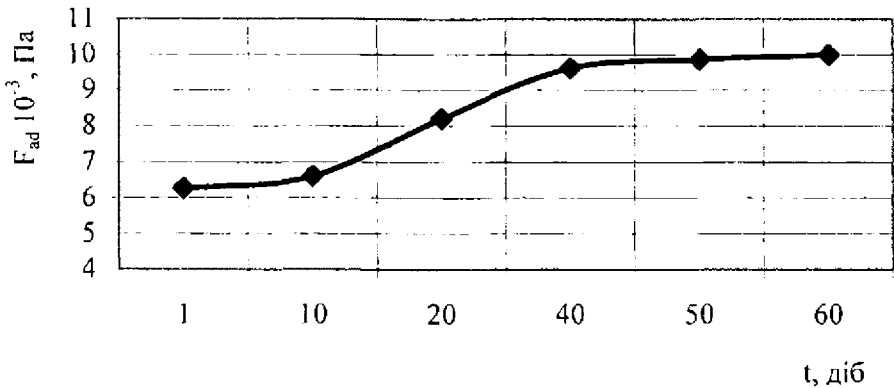


Рис. 5. Залежність міцності адгезії (F_{ad}) м'яса товстолобика від тривалості зберігання (t) консервів

Саме тому для рибних продуктів необхідно проводити моделювання процесів, що відбуваються при зберіганні й обов'язково з урахуванням їхніх структурно-механічних властивостей у кожному конкретному випадку.

Використавши отримані значення F_{ad} , з рівняння (3) знайдено величини напруги опору (P_n) для різних глибин занурення індентора, за якими визначали консистенцію продукту.

Для встановлення взаємозв'язку між величиною напруги опору та консистенцією риборослинних консервів і паштетів проведено органолептичну оцінку останньої за п'ятибальною шкалою (табл. 1, 2). Консистенція всіх зразків з добавками визнана дегустаторами як соковита й ніжна.

Пружність консистенції риборослинних консервів пояснюється впливом антоціанів, органічних кислот і фенольних сполук ягід й овочів. Відповідно показник занурення індентора має менші значення порівняно з контрольним зразком, який не містить рослинних добавок.

Показник занурення індентора для паштетів, навпаки, зріс порівняно з таким же показником контрольного зразка, що зумовлено особливостями технології та рецептурного складу. Консистенція риборослинних паштетів з додаванням гуарової камеді була більш в'язкою та пластичною і отримала найкращу оцінку дегустаторів (4.7 бала), яка навіть перевищувала оцінку зразків з додаванням альгінату, вартість якого у декілька разів вища. Додавання гуарової камеді в паштетні маси є доцільним, оскільки зростає економічна ефективність їх виробництва.

Таблиця 1

Оцінка консистенції риборослинних консервів ($n=5, p \leq 0,05$)

Товстолобик консервований	Показник занурення індентора, см	Консистенція, бал
З додаванням:		
морських водоростей	2.73 ± 0.14	4.38 ± 0.58
морських водоростей, кизилу	2.65 ± 0.12	4.27 ± 0.56
морських водоростей, аличі	2.74 ± 0.17	4.51 ± 0.44
морських водоростей, аличі, буряка	2.66 ± 0.10	4.54 ± 0.47
аличі, буряка, моркви	2.58 ± 0.15	4.73 ± 0.34
морських водоростей, кизилу, моркви, буряка	2.72 ± 0.13	4.30 ± 0.25

Примітки: 1. Риба-сирець: показник занурення індентора – 2.41 ± 0.15 см.
 2. Товстолобик, консервований без добавок (контроль):
 показник занурення індентора – 2.89 ± 0.12 ;
 консистенція – 3.16 ± 0.51 бала.

Таблиця 2

Оцінка консистенції риборослинних паштетів ($n=5, p \leq 0,05$)

Паштет риборослинний	Показник занурення індентора, см	Консистенція, бал
З додаванням:		
морських водоростей	3.68 ± 0.12	4.26 ± 0.28
морських водоростей, кизилу	3.94 ± 0.14	4.33 ± 0.26
морських водоростей, аличі	4.18 ± 0.14	4.46 ± 0.14
аличі, буряка, альгілату	2.93 ± 0.17	4.43 ± 0.27
морських водоростей, аличі, буряка, камеді гуарової	3.68 ± 0.15	4.68 ± 0.17
морських водоростей, кизилу, буряка, гуарової камеді	3.48 ± 0.13	4.72 ± 0.23

Примітки: 1. Риба-сирець: показник занурення індентора – 2.41 ± 0.15 см.
 2. Паштет риборослинний без добавок (контроль):
 показник занурення індентора – 3.32 ± 0.17 ;
 консистенція – 3.17 ± 0.23 бала.

Встановлена висока кореляційна залежність між баловою оцінкою і показником сили опору з рівнем достовірності апроксимації: 0.9711 – для риборослинних консервів, 0.9852 – для риборослинних паштетів; між органолептичними й структурно-механічними властивостями: 0.9711 – для консервів, 0.9852 – для паштетів. Отже, за вели-

чиною пенетрації та напруги опору можливе об'єктивне оцінювання показника консистенції без проведення органолептичних досліджень. Особливо це стосується рибної сировини, коли сенсорний аналіз неможливий.

Таким чином, моделювання структурно-механічних властивостей м'яса риби – надзвичайно важливе питання товарознавчої експертизи щодо об'єктивної оцінки показників якості. Проведені дослідження показали, що при використанні морських водоростей, альгінату, гуарової камеді як поліфункціональних добавок не тільки зростає харчова цінність риборослинних продуктів, а й оптимізуються структурно-механічні властивості продукту.