

Зберігання та переробка продукції

УДК 658.56
© 1997

В. С. Гуць,
кандидат технічних наук

Український державний
університет харчових
технологій

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КОНСИСТЕНЦІЇ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ

Охарактеризовано існуючі методи визначення консистенції як показника якості м'яса. Запропоновано новий підхід до її визначення, в основу якого покладено методи інженерної реології. Особливістю розробленого методу є те, що визновок про консистенцію продукту роблять на основі аналізу чисельних значень реологічних коефіцієнтів.

Якість харчових продуктів — сукупність властивостей, що забезпечують фізіологічні потреби людини в харчових та смакових речовинах і дають можливість вирізнити продукт з-поміж інших [6].

У харчовій промисловості для оцінки якості м'яса та м'ясопродуктів застосовують інструментальний і сенсорний (органолептичний) методи. Методи сенсорної оцінки ґрунтуються на первинному суб'єктивному сприйнятті запаху, смаку, дотику, зоровому сприйнятті та мають у деяких випадках високу інформативність, особливо якщо оцінку проводять кваліфіковані дегустатори.

При сенсорній оцінці консистенції м'яса та м'ясопродуктів насамперед використовують термін «ніжність» або протилежний за значенням «жорсткість», рідше інші специфічні терміни, що умовно характеризують структурно-механічні властивості продукту. Нині ще не розроблено єдиних стандартів на терміни, що визначають консистенцію продукту.

Сенсорний метод має низку істотних вад. Основні з них: мала продуктивність, обмеженість використання при оцінці сирих харчових продуктів і напівфабрикатів, необхідність високої кваліфікації дегустаторів, вузький асортимент досліджуваних продуктів.

Задля усунення цих вад і кількісної оцінки консистенції харчових продуктів дедалі частіше застосовують інструментальні методи

[1]. Якщо для визначення консистенції текучих продуктів розроблено прийнятні методи, забезпечені приладами, то для визначення консистенції твердоподібних продуктів ані досконалих методів досліджень, ані відповідних приладів, де був би використаний неруйнівний принцип дослідження, практично не існує. Пов'язано це насамперед із браком теоретичних розробок. Позаяк консистенція м'яса — це органолептичне відображення здебільшого його реологічних властивостей, для її характеристики використовують показники, одержані під час механічних досліджень. Доволі часто виникають труднощі, пов'язані з визначенням та описом реологічних властивостей м'яса внаслідок його характерних особливостей як біологічної тканини. Тканини м'яса належать до високомолекулярних систем — біополімерів, яким притаманна спадкова в'язкопружність. При цьому в'язкопружні характеристики м'яса залежать не лише від отриманого навантаження, а й від швидкості та способу деформування [7].

Більшість інструментальних методів визначення консистенції м'яса базується на вимірюванні характеристик міцності. У цьому разі діюча сила перевищує міцність досліджуваного зразка і він розпадається на частини під час дослідження. Використання такого підходу цілком можна пояснити прагненням відтворити умови органолептичної оцінки та

порівняти результати інструментальної оцінки із сенсорною при розкушуванні та пережовуванні продукту. І хоча повної відповідності досягти не вдається внаслідок, головню, емпіричного характеру отриманих реологічних характеристик, впливу конструктивних особливостей приладів і умов аналізу, ці інструментальні методи набули широкого розповсюдження. Це методи пенетрації, різання, стискування, розтягування. Рідше зустрічаються на практиці методи кручення, дослідження за допомогою продавливання (екструзії), подрібнення в м'ясорубці.

Інструментальні методи оцінки консистенції твердодібних м'ясних продуктів теж мають деякі вади. Більшість цих методів є трудомісткими, потребують багато часу для підготовки зразка, передбачають його руйнування, що небажано для цільнокускових продуктів і готових ковбасних виробів, особливо коли їх випускають у широкому асортименті малими партіями. За великих обсягів досліджень застосовувати такі методи економічно не вигідно. Тому останнім часом пильну увагу стали приділяти неруйнівним інструментальним методам визначення реологічних характеристик м'яса і м'ясних продуктів [2]. Такий підхід має очевидні переваги: використання одного зразка для кількох випробувань, а отже, економія досліджуваного матеріалу, можливість розробки експрес-методів контролю якості продукту, збереження його цілісності при контролі.

Аналітичні дослідження встановили, що для визначення реологічних властивостей м'язової тканини й готових м'ясних продуктів вимірюють характеристики їх в'язкопружної поведінки під дією зовнішніх сил і після їх зняття. Задля цього використовують два види випробувань — на релаксацію напруг (деформація постійна $\gamma = \text{const}$) і повзучість (напруга постійна $\tau = \text{const}$), а також циклічне навантаження (стиск-розтяг без руйнування) [3].

Отже, інструментальні методи визначення консистенції м'яса розвиваються у двох напрямках: визначення міцністних і в'язкопружних властивостей.

Успішний розвиток інструментальних методів визначення консистенції м'яса і м'ясних продуктів на основі вивчення реологічних властивостей тісно пов'язаний із використанням моделювання комп'ютерної техніки, вдосконаленням методик досліджень та опрацювання експериментальних даних, розробкою сучасних приладів. Використання комп'ютерної техніки особливо необхідне при вимірюванні в'язкопружних властивостей біоматеріалів, позаяк математичне опрацювання результатів таких експериментів дуже складне і трудомістке.

Сучасні моделі, хоч і розроблені із застосуванням методів математичного моделювання, призначені насамперед для розрахунків конкретних параметрів технологічних процесів, і не дають змоги враховувати всі характеристики продукту, що відображають його якість. Нині не тільки реологічні характеристики, а й деякі інші комплексні показники якості, як звичайно, не входять у рівняння, які описують технологічні процеси переробки м'ясної сировини, що не дає або значно зменшує можливість аналітично розрахувати оптимальні режими та прогнозувати зміну якості продукту в процесі його переробки.

На основі досліджень, проведених в Українському державному університеті харчових технологій, автором запропонований новий підхід до визначення кількісної оцінки консистенції м'яса та м'ясопродуктів інструментальними методами. Консистенцію м'ясних продуктів оцінюють за допомогою реологічних коефіцієнтів, які є функцією в'язкопружних властивостей продукту. Чисельні значення коефіцієнтів визначають на базі математичних моделей, що описують структурно-механічні властивості м'яса [5].

Для м'яса і м'ясопродуктів як реальних тіл характерний складний комплекс структурно-механічних властивостей, які є комбінацією трьох найпростіших — пружності, в'язкості та пластичності. Коли тіло не руйнується, поєднанням пружності та в'язкості, враховуючи відповідні граничні умови, можна досягти моделювання реологічних властивостей більшості м'ясопродуктів за допомогою диференціальних рівнянь. У таких рівняннях як параметр, що характеризує в'язкі властивості, використовують коефіцієнт μ , а пружні — коефіцієнт c .

Найпростішою реологічною моделлю м'яса може служити математична модель, що має вигляд [3]:

$$\tau = c\gamma + \mu\dot{\gamma}, \quad (1)$$

де τ — напруга;
 γ — деформація;
 $\dot{\gamma}$ — швидкість деформування.

Більш повно реодинаміку м'яса і м'ясопродуктів описує триелементна, трипараметрична в'язко-пружна модель, що складається з в'язких елементів μ_0 , μ_1 і пружного c . Математична модель у цьому разі має вигляд:

$$\dot{\tau} + \frac{c}{\mu_0 + \mu_1} \tau = \frac{\mu_0 \mu_1}{\mu_0 + \mu_1} \ddot{\gamma} + \frac{\mu_0 c}{\mu_0 + \mu_1} \dot{\gamma}, \quad (2)$$

де $\dot{\tau}$ — швидкість зміни напруги;
 $\ddot{\gamma}$ — прискорення деформування.

**ЗБЕРІГАННЯ
ТА ПЕРЕРОБКА ПРОДУКЦІЇ**

*Інструментальні методи визначення консистенції
м'ясних продуктів*

У першому випадку як узагальнений параметр, що характеризує в'язкопружні властивості продукту, пропонується величина

$$\varphi_1 = \frac{c}{\mu}$$

а в другому, коли більш оптимальною реологічною моделлю є система з в'язкими елементами μ_0 і μ_1 та пружним c , параметр

$$\varphi_2 = \frac{c}{\mu_0 + \mu_1}$$

Числові значення коефіцієнтів μ_0 , μ_1 , c і φ знайдено методом експериментально-аналітичних досліджень [5]. Для цього був побудований за експериментальними даними для м'язової тканини великої рогатої худоби графік залежності відносної об'ємної деформації γ від часу t ($\gamma = f(t)$) за умови постійного деформуючого навантаження $\tau(t) = \tau = \text{const}$, та після його зняття, коли сила, що деформує продукт, дорівнює нулю.

Для обчислення реологічних коефіцієнтів і перевірки правильності їх визначення було складено програму для персонального комп'ютера. Реалізація програми дала можливість одержати числові значення реологічних коефіцієнтів, які подано у таблиці.

Аналіз результатів свідчить, що в процесі механічної обробки різного ступеня інтенсивності (м'яке, середнє, жорстке масажування, тумблювання) змінюються величини коефіцієнтів, що характеризують пружні c і в'язкі властивості м'яса μ_0 , μ_1 . Зменшення числових значень коефіцієнтів μ_0 , μ_1 і c свідчать про те, що із збільшенням інтенсивності механічної обробки зменшуються пружні та в'язкі складові системи, тобто м'ясо з технологічної точки зору стає більш «ніжним».

В умовах виробництва часто виникає потреба у виконанні значної кількості досліджень і визначенні в'язко-пружних характеристик великих за розміром харчових продуктів, наприклад, м'яса у вигляді напівтуш. Такі дос-

лідження можна здійснити за допомогою аналізу пружних хвиль деформування, які виникають у товщі продукту під час удару або імпульсного деформування [4].

У цьому разі математична модель деформування матиме вигляд:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + \mu x = 0, \quad (3)$$

де m — приведена маса, що залежить від способу деформування;

x , \dot{x} , \ddot{x} — характеристики пружної хвилі деформування.

Аналіз рівняння (3) і числові значення реологічних коефіцієнтів c і μ подано в роботі [8].

Для визначення характеристик пружних хвиль деформування можна рекомендувати датчики прискорення — п'єзо кварцеві акселерометри. При дослідженні яловичини [8] як датчик використовували стандартні п'єзоелектричні вібримірювачі ДН-3, ДН-4, ДН-5, які входять у комплект вібримірювальних приладів вітчизняного виробництва. Принцип роботи датчиків базується на перетворенні механічних коливань в електричні сигнали, пропорційні прискоренню елементів об'єкта, що складають його каркас. Електричний сигнал від датчика подається на запам'ятовувачий осцилограф, на екрані якого висвічується крива, що моделює кінетику деформування продукту.

Якщо умови досліджень дають змогу використовувати окремий м'яз тварини, найпростішим приладом слід вважати розтягувальний пристрій із динамометром і системою деформування, яка забезпечує постійну напругу. Такі прилади можуть бути двох типів: вертикального і горизонтального. Їх конструкція передбачає використання маси фіксованої величини для деформування зразка. Прилади мають просту конструкцію і не потребують спеціальної вимірювальної апаратури.

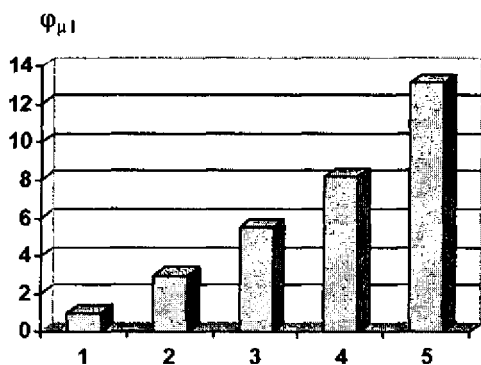
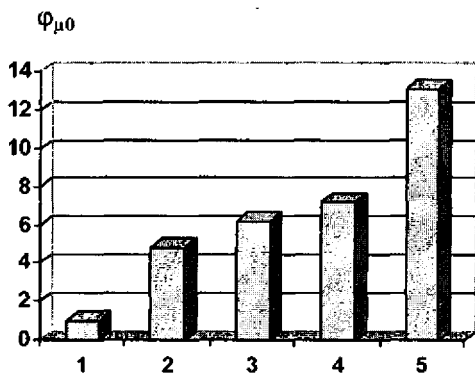
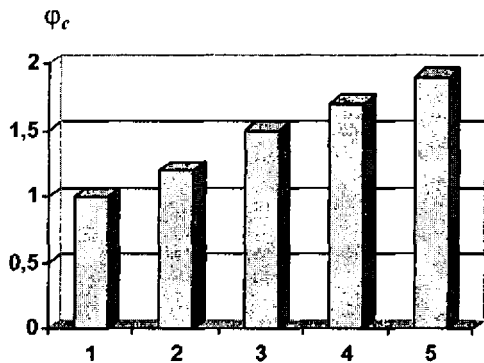
Аналіз поданих у таблиці реологічних коефіцієнтів свідчить, що пружні характерис-

Числові значення реологічних коефіцієнтів

Реологічні коефіцієнти	Способи механічної обробки				
	необроблений продукт	м'яке масажування	середнє масажування	жорстке масажування	тумблювання
$c \cdot 10^{-1}$ [МПа]	7,3	6,7	6,4	5,5	5,2
$\mu_0 \cdot 10^{-3}$ [МПа·с]	47,0	14,0	6,5	4,3	2,3
$\mu_1 \cdot 10^{-2}$ [МПа·с]	5,6	4,1	2,8	1,8	0,68
$\varphi \cdot 10^3$ [с ⁻¹]	1,5	4,5	9,6	12,0	23,0

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРобКА ПРОДУКЦІЇ

*Інструментальні методи визначення консистенції
м'ясних продуктів*



Залежність відносних реологічних коефіцієнтів Φ_c , $\Phi_{\mu 0}$ і $\Phi_{\mu 1}$ від режиму обробки: 1 — необроблений продукт; 2 — м'яке масажування; 3 — середнє масажування; 4 — жорстке масажування; 5 — тумблювання

тики системи змінюються з меншою швидкістю, ніж в'язкі. Враховуючи це, а також те, що пружна характеристика c є функцією величини деформації γ , а в'язка μ — швидкості деформування $\dot{\gamma}$, можна припустити, що з технологічної точки зору при пом'якшенні м'яса більш ефективною буде механічна обробка, де використовують велику швидкість деформування ($\frac{d\gamma}{dt} \rightarrow \max$). Але такі види обробки можна використовувати в тому разі, коли це узгоджується з технічними можливостями виробництва і вимогами стандарту до готового продукту. Наприклад, при обробці м'ясокісткової сировини, риби та птиці використовувати механічну обробку з великою швидкістю деформування (імпульсне деформування, обробка ударом) недоцільно, оскільки в цьому разі кісткова тканина в процесі обробки виконуватиме роль внутрішнього масуючого органу, при цьому з'являється дефект розшарування об'єкта по межі розподілу тканин.

Дослідження свідчать, що для характеристики швидкості зміни консистенції продукту, наприклад, під час механічної обробки м'яса слід використовувати відносний коефіцієнт Φ , який характеризує зміни реологічних характеристик порівняно з початковими.

Тоді для визначення змін пружних і в'язких реологічних характеристик продукту відносні реологічні коефіцієнти можна записати у вигляді

$$\Phi_c = \frac{c_t}{c_0}; \quad \Phi_{\mu 0} = \frac{\mu_{0t}}{\mu_{00}}; \quad \Phi_{\mu 1} = \frac{\mu_{1t}}{\mu_{10}}$$

де c_0, μ_{00}, μ_{10} — початкові реологічні коефіцієнти;

c_t, μ_{0t}, μ_{1t} — поточні реологічні коефіцієнти.

Величини відносних реологічних коефіцієнтів $\Phi_c, \Phi_{\mu 0}$ і $\Phi_{\mu 1}$ у разі різної інтенсивності механічної обробки шматкової яловичини подано на рисунку.

Розроблена методика визначення консистенції м'яса та м'ясопродуктів за допомогою реологічних коефіцієнтів — принципово новий крок на шляху пошуку засобів інтенсифікації механічної обробки м'яса і поліпшення якості продукції. Важливою особливістю нової методики є те, що висновок про такий показник якості як консистенція продукту роблять на основі аналізу конкретних числових значень реологічних коефіцієнтів, які визначають інструментальними методами, а не на основі оцінки дегустаторів, що має суб'єктивний характер.

Реологічними коефіцієнтами $\Phi, \Phi_c, \Phi_{\mu 0}$ і $\Phi_{\mu 1}$ зручно користуватись, коли м'ясо чи м'ясні

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА ПРОДУКЦІЇ

Українська академія аграрних наук. Київ, 2010. — 100 с.

продукти внаслідок механічної обробки змінюють свої властивості або виникає необхідність класифікації харчових продуктів на основі структурно-механічних властивостей.

Запропонована методика обчислення в'язко-пружних характеристик м'ясних продуктів може бути рекомендована для практичного застосування в промислових умовах при

Інструментальні методи визначення консистенції м'ясних продуктів

Українська академія аграрних наук. Київ, 2010. — 100 с.

оцінці ступеня попередньої механічної обробки м'яса задля стандартизації його за консистенцією. Це важливо насамперед тоді, коли виникає потреба переробити «жорстку» сировину, до якої належить м'ясо старих тварин або тварин специфічного способу відгодівлі чи утримання, а також деяких різновидів порід.

Бібліографія

1. Азгальдов Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров: Основы квалиметрии. — М.: Экономика, 1982. — 256 с.

2. *Возможности* оценки определенных показателей качества мяса неdestructивными методами // *Masny Prumysl.* — 1987. — Т. 30. — № 3. — С. 154—158.

3. Горбатов А. В. Реология мясных и молочных продуктов. — М.: Пищевая промышленность. — 1979. — 384 с.

4. Гуц В. С., Коваль О. А. Распространение упругих волн деформации в мясе // *Пищевая технология. Известия ВУЗов.* — 1990. — С. 76—77.

5. Гуц В. С., Волобуев В. А. Застосування реологічних рівнянь для оцінки якості м'ясних продуктів // *Наук. пр. Українського державного*

університету харчових технологій. — № 2. — К., 1994. — С. 85—90.

6. Журавская Н. К., Алехина Л. Т., Отряшенкова Л. М. Исследование и контроль качества мяса и мясных продуктов. — М.: Агропромиздат, 1985. — 295 с.

7. Ивашов В. И., Дуйденко Б. Н., Андреевков В. А., Искандарян А. М. Моделирование вязкоупругих свойств мышечной ткани КРС при различных температурах // *Мясная индустрия СССР.* — 1985. — № 11. — С. 16—18.

8. Коваль О. А. Совершенствование способа и разработка оборудования гравитационно-ударной обработки мяса при посоле: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — К.: ВНИИ мясной промышленности, 1992.