УДК 658.62:658.562

КОНТРОЛЬ СВІЖОСТІ М'ЯСА ЗА ПАРАМЕТРАМИ ІМІТАНСУ

Є. Походило, доктор технічних наук, професор кафедри метрології, стандартизації та сертифікації,
О. Вікович, студентка,
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Контроль свежести мяса по параметрам иммитанса
Е. Походыло, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии, стандартизации и сертификации,
О. Викович, студентка,
Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов

Control of Meat Freshness Based on Immitance Parameters
E. Pokhodylo, Doctor of Technical Sciences, Professor of Metrology, Standardization and Certification Department,
O. Vikovych, Student,
National University «Lvivska polytechnika», Lviv

Проведено дослідження, за результатами якого визначено залежність складників імітансу об'єкта дослідження (курячого філе) від частоти випробувального сигналу під час замороження м'яса. Запропоновано спосіб оперативного виявлення м'яса, яке було заморожено.

ВСТУП

М'ясо — найважливіший у раціоні людини продукт тваринного походження, незамінне джерело повноцінних білків, жирів, вітамінів, мінеральних речовин та інших життєво важливих компонентів. На жаль, нині в Україні проблема контролю за безпечністю та якістю м'яса є надзвичайно нагальною. Підходи до її вирішення вже давно застаріли, мають недостатнє наукове обґрунтування та потребують негайного вдосконалення. Адже дуже часто в магазинах пропонують м'ясо неналежної якості. У зв'язку з особливостями транспортування і зберігання, постачальники м'яса, зокрема курячого, кілька разів заморожують і розморожують його [1]. М'ясо, яке було заморожене, продають як свіже (остигле), однак воно має гірші кулінарні та смакові властивості, коротший строк зберігання та меншу поживну цінність, а відповідно й ціна на таке м'ясо має бути меншою.

Аналіз методів контролю якості м'яса

Методи контролю якості м'яса, які використовують на сьогодні, — недосконалі, трудомісткі, тривалі, недостатньо інформативні та потребують лабораторних умов. Наприклад, визначення pH м'яса і пероксидазна (бензидинова) проба не ефективна у ході визначення доброякісності м'яса, а тому такий висновок можна зробити тільки за допомогою комплексних досліджень: органолептичних, біохімічних і бактеріологічних [2]. Хімічні методи дослідження потребують тривалої процедури оцінювання та не є однозначними. Метод із застосуванням сірчанокислої міді не дає змоги об'єктивно оцінити свіжість м'яса через брак точних цифрових кількісних даних. Гістологічне оцінювання свіжості м'яса є одностороннім, і його можна застосувати лише із використанням інших методів. Практичне застосування методу ускладнено необхідністю придбання спеціального обладнання та залучення фахівців. У зв'язку

© Походило Є., Вікович О., 2014

зі зміною умов відгодівлі тварин, якісні характеристики м'яса також змінилися і не завжди відповідають критеріям, сформульованим у харчовій промисловості. Тому метод мікроскопії мазків також не завжди дає точні й стабільні результати. Недоліком органолептичного методу є вплив людського фактору, тобто суб'єктивізм [3].

Останнім часом найчастіше застосовують імітансний метод контролю якості продукції [4]. Його суть полягає в тому, що порівнюються електричні параметри контрольованого та базового (з відомим рівнем якості) зразків, поданих багатоелементним двополюсником у колі змінного струму. Відомим є спосіб контролю свіжості м'яса за електропровідністю [5], як частковий варіант реалізації імітансного методу. Для визначення віку шматка м'яса, через нього пропускають слабкий змінний струм різної частоти, вимірюють електропровідність зразка та складають графік залежності повного електричного опору м'яса від частоти. Зміна електричних характеристик пояснюється зміною клітинної структури м'яса під час його зберігання [5]. Дослідження в цьому напрямі дають змогу забезпечити оперативність контролю якості м'яса.

Мета дослідження — запропонувати спосіб оперативного контролю свіжості м'яса або оперативного виявлення мороженого м'яса; дослідити вплив багатократного заморожування на зміну характеристик м'яса. Об'єктом дослідження обрано філе курячого м'яса (свіже та розморожене).

Виконання дослідження

Для дослідження об'єкта використано імітансний метод контролю якості [6]. Оскільки електрична схема заміщення м'ясної продукції невідома, то використано порівняння активних $G\left(R\right)$ та реактивних $B\left(X\right)$ складників повної електричної провідності чи повного електричного опору (активні та реактивні провідність чи опір, відповідно) багатоелементного двополюсника, яким подаються контрольований та базовий зразки м'яса. У дослідженні за базовий прийнято зразок свіжого м'яса з активним та реактивним опором чи провідністю якого порівнюють характеристики м'яса, яке піддавали замороженню. Порівняння необхідно виконувати на декількох частотах, а саме:

$$\left(\frac{B_{xi}}{B_{0i}}\right)_{f_i} = b_i; \left(\frac{G_{xi}}{G_{0i}}\right)_{f_i} = g_i, \left(\frac{X_{xi}}{X_{0i}}\right)_{f_i} = x_i;$$

$$\left(\frac{R_{xi}}{R_{0i}}\right)_{f_i} = r_i,\ i = 1...n,$$

де B_{xi}, X_{xi} — значення реактивних провідності та опору, G_{xi}, R_{xi} — значення активних провідності та опору зразка, що був заморожений;

B_{0i}, X_{0i} — значення реактивних провідності та опору, G_{0i}, R_{0i} — значення активних провідності та опору базового зразка;

b_i — відносний показник реактивної провідності; g_i — відносний показник активної провідності; x_i — відносний показник реактивного опору; r_i — відносний показники активного опору; f_i — частота струму; n — кількість частот дослідження.

Вимірювання виконували за допомогою автоматичного вимірювача складників імітансу (провідності та опору) з використанням первинного перетворювача ємнісного характеру двоелектродної конструкції. Для запобігання окислення електроди виготовлено із нержавіючої сталі. Вимірювали активні та реактивні провідність базового та контрольованого зразків за заданого рівня напруги (режим заданої напруги) випробувального сигналу та опір за заданої сили струму (режим заданої сили струму) у діапазоні частот f_i 100 Гц — 100 кГц. За отриманими результатами, побудовано графічні залежності складників імітансу від частоти.

Аналіз результатів дослідження

Замороження суттєво змінює активну провідність м'яса (рис. 1). Причиною цього є кристалоутворення — вимерзання вологи в м'ясі. Воно супроводжується руйнуванням морфологічної структури тканин [7], у м'ясі з'являються мікроскопічні розриви мембран клітин і з нього виливається тала вода, що входила в склад м'яса у перші дні після забою. У результаті змінюються умови проходження електронів та іонів усередині м'яса. Адже клітинні мембрани були перешкодою на їх шляху, тому в міру руйнування мембран опір м'яса падає, а його провідність зростає [5]. Окрім того, шляхом, через який витекла вода, проникає повітря з бактеріями. Таким чином воно швидко псується.

У всьому частотному діапазоні дослідження відносний показник активної провідності $g_i > 1$. Залежність активної провідності свіжого м'яса від частоти всередині діапазону частот f_i (1 кГц — 10 кГц) має лінійний характер, а до 1 кГц має зростаючий характер із зменшенням приросту активної провідності, а після 10 кГц — активна провідність також наростає, але зі збільшенням приросту із зростанням

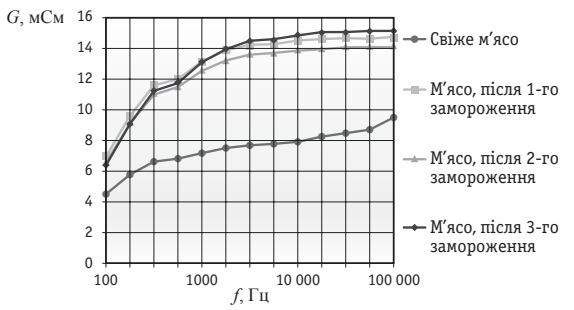

Рис. 1. Залежність активної провідності свіжого та розмороженого курячого м'яса від зміни частоти випробувального сигналу

частоти. Залежності активної провідності мороженого м'яса мають зростаючий характер із зменшенням приросту аж до сталого значення у кінці діапазону. Змінюється характер залежностей, і спостерігається суттєва різниця між абсолютними значеннями активної провідності базового зразка та замороженого.

Виразнішими є результати дослідження реактивної провідності зразків (рис. 2). У вибраному діапазоні частот дослідження спостерігається екстремальне значення реактивної провідності свіжого м'яса. Якщо за результатами вимірювання реактивна провідність на частоті 5 кГц менша від реактивної провідності на частотах 500 Гц та 50 кГц, то м'ясо ідентифікують як свіже. Виконуються умови для відносного показника реактивної провідності: $b_1 > 1;\ \ b_2 = 1;\ \ b_3 < 1$. Якщо ж реактивна провідність на частоті 5 кГц менша від реактивної провідності на частоті 500 Гц, але більша від реактивної провідності на частоті 50 кГц, то м'ясо хоча б один раз заморожували. Як показали дослідження, трикратне заморожування майже не змінює залежностей реактивної провідності від частоти.

Ілюстрація другого способу (для інших частот) показано на рис.3. Наведені залежності отримано за результатами дослідження реактивної провідності.

Реактивна провідність свіжого м'яса на частотах 100 Гц та 100 кГц за значеннями ближче, ніж на інших частотах (1кГц та 10 кГц) (рис. 3). Тобто, змінюється напрям зміни реактивної провідності для свіжого м'яса. Для м'яса після першого замороження отримуємо зміну реактивної провідності без зміни напряму. Із зростанням частоти реактивний складник провідності зменшується.

За результатами дослідження активної провідності м'яса побудовано аналогічну залежність, зображену на рис. 4.

З рис.4 видно, що незалежно від частоти випробувального сигналу у вибраному діапазоні відбувається різка зміна активної провідності замороженого перший раз м'яса, однак за наступних заморожувань зміни незначні.

Таким чином за значеннями параметрів провідності можемо визначити факт замороження м'ясної продукції. Такі залежності можуть бути покладено в основу побудови вимірювального засобу для контролю свіжості м'ясної продукції.

Подібні результати отримано при дослідженні опору. Графічні залежності зображено на рис. 5, 6.

Як показує аналіз отриманих залежностей реактивних провідності та опору м'яса, ідентифікувати свіжість м'яса можна технічними засобами, побудованими за двома способами.

Перший спосіб [8]: аналізуємо графічну залежність реактивних провідності чи опору м'яса від частоти.

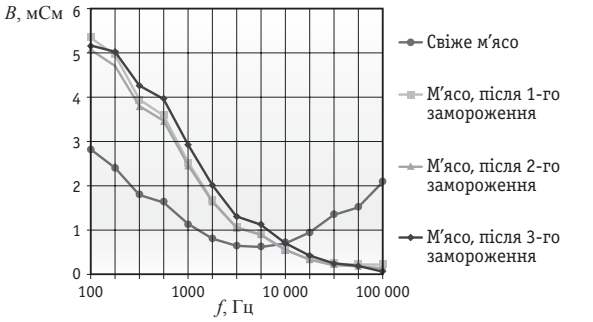

Рис. 2. Залежність реактивної провідності свіжого та розмороженого курячого м'яса від зміни частоти випробувального сигналу

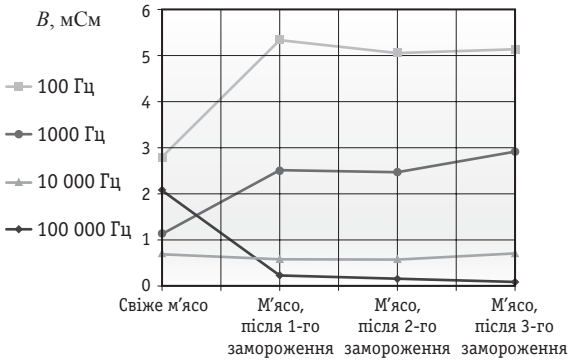

Рис. 3. Залежність реактивної провідності курячого м'яса для фіксованих частот від частоти замороження

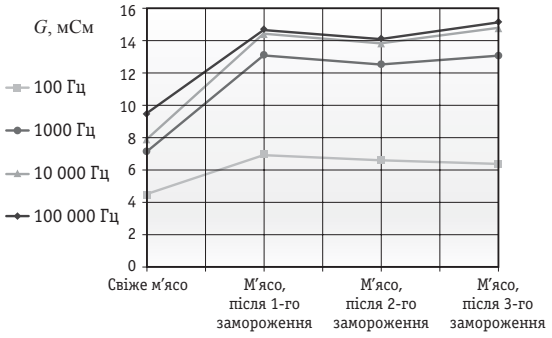

Рис. 4. Залежність активної провідності курячого м'яса для фіксованих частот від частоти замороження

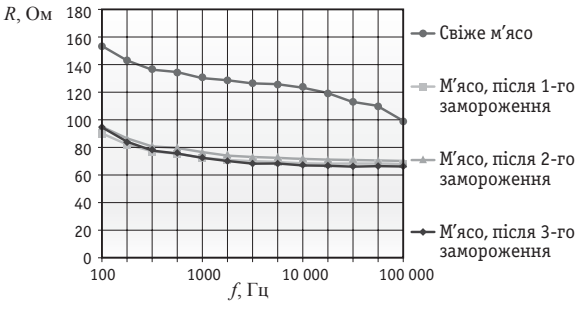

Рис. 5. Залежність активного опору свіжого та розмороженого курячого м'яса від зміни частоти випробувального сигналу

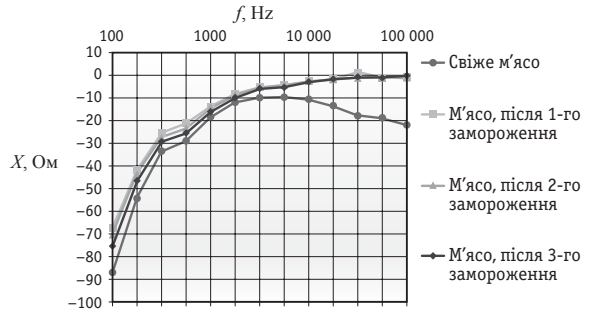

Рис. 6. Залежність реактивного опору свіжого та розмороженого курячого м'яса від зміни частоти випробувального сигналу

Якщо така залежність має екстремальне значення на певній частоті діапазону частот (у діапазоні частот вона спочатку спадає, а потім починає зростати або спочатку зростає, а потім спадає), то м'ясо є свіжим. Якщо ж залежність реактивної провідності від частоти монотонно спадна (складова у вибраному частотному діапазоні завжди зменшується) або залежність реактивного опору від частоти монотонно зростаюча (складова у вибраному частотному діапазоні завжди збільшується), то м'ясо хоча б один раз заморожували.

Другий спосіб: порівнюємо результати дослідження реактивних провідності чи опору м'яса на трьох частотах. Для цього можна використати тричастотний вимірювач реактивних провідності чи опору. Дві частоти, на яких необхідно вимірювати, обираються на краях діапазону частот (у даному випадку діапазон 100 Гц — 100 кГц), а третя в області екстремального значення реактивних провідності чи опору (для свіжого м'яса). У нашому випадку доцільно вибрати частоти 500 Гц, 5 кГц та 50 кГц.

Подальші роботи будуть спрямовані на дослідження результативності імітансного методу для контролю якості м'яса протягом його зберігання в охолодженому стані, виявлення зіпсованого м'яса і встановлення строку його зберігання в охолодженому стані; виявлення різного роду фальсифікацій м'яса; контролю якості не лише курятини, а й яловичини, свинини тощо.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити висновки.

1. Багатократне заморожування та розморожування м'яса практично не змінює характеристики м'яса, які воно мало після першого замороження.

2. За зміною активних чи реактивних провідності та опору м'яса можна визначати його свіжість, що може бути використано для розроблення засобу оперативного контролю. Цей метод дає змогу швидко, об'єктивно та доступно ідентифікувати та розрізнити свіже м'ясо та м'ясо, що піддавали замороженню.

3. Найпростіший засіб контролю свіжості м'яса може містити вимірювач активних та (чи) реактивних провідності чи опору на фіксованій / декількох фіксованих частотах випробувального сигналу та простий первинний перетворювач (сенсор) двоелектродної конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Процай О. В. Контроль якості м'яса імітансним методом // VIII Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании»: [тези], (8—15 червня 2012 р., Варна, Болгарія): Матеріали. У 3-х томах. Том II. Упорядники: Хохлова Т.С., Хохлов В.О., Ступак Ю.О. — Дніпропетровськ-Варна, 2012. — С. 168 — 169.
2. Якубчак О.М. Порівняльна оцінка методів дослідження якості м'яса: Наукові доповіді НАУ / О.М. Якубчак, В.В. Кравчук // Науковий електронний журнал. — 2008. — № 10. — С. 1—8. — Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/nd/2008-2/08yomgrm.pdf
3. Классификация методов оценки свежести мясного сырья / А.Ф. Алейников, И.Г. Пальчикова, Ю.В. Чугуй // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2012» (Краснообск, 10-11 октября 2012 г.) / Рос. акад. с.-х. наук. Сиб. регион. отд-ние [и др.]. — Новосибирск, 2012. — Ч. 2. — С. 63—68.
4. Походило Є.В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імітансу об'єктів кваліметрії: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.11.05 / Національний ун-т «Львівська політехніка». — Л., 2004. — 40 с.
5. Німецькі вчені навчилися виявляти лежале м'ясо: [Електронний ресурс] / Ветеринарна медицина України // Ветеринарний інформаційний ресурс України. — Режим доступу: http://vet.in.ua/menu/news.php?id_article=419
6. Походило Є.В. Імітансний контроль якості: монографія / Є.В.Походило, П.Г.Столярчук. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 164 с.
7. Перкель Т. П. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов: Учебное пособие / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. — Кемерово, 2004. — 100 с.
8. Пат. 71214 Україна, МПК G 01 R 27/00. Спосіб визначення свіжості м'яса/ Походило Є.В., Столярчук П.Г., Процай О. В. (Україна); заявник та патентовласник НУ «Львівська політехніка» — № u 2011 14432; заявл. 06.12.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13. — 4 с. ■