

УДК 537.874.7

Щебентовська О.М., науковий співробітник, к.вет.н. (muf2006@rambler.ru)[©]
Державний науково-дослідний контрольний інститут ветеринарних препаратів
та кормових добавок, м. Львів

ВИЗНАЧЕННЯ СВІЖОСТІ КУРЯЧОГО М'ЯСА МЕТОДОМ ІМПЕДАНСНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ

У статті подається експериментальна імпедансометрія свіжого курячого м'яса (філе куряче), м'яса після зберігання у холодильнику та м'яса з ознаками погіршення якості. Встановлено, що в результаті пропускання змінного струму різної частоти через шматочки м'яса різної свіжості змінюється його імпеданс. Експериментально доведено, що крива дисперсії свіжого курячого м'яса знаходиться в межах від 700 до 3800 Ом, м'яса з ознаками старіння (погіршення якості) в межах від 142 до 158 Ом. Паралельно з імпедансометрією проведено гістологічне дослідження відібраних взірців курячого філе з метою підтвердження ефективності роботи портативного приладу для визначення електропровідності біологічних мембран.

Ключові слова: імпеданс, м'ясо куряче, дисперсія опору, клітинні мембрани.

Вступ. Вже кілька десятиліть вченими різних країн вивчаються питання морфологічних особливостей м'ясної сировини, зміни м'язової тканини у процесі автолізу, механічних та фізичних впливів за тривалого зберігання. При цьому фахівці використовують традиційні методи дослідження – біохімічні, фізико-хімічні, структурно-механічні, які не завжди дозволяють ефективно оцінити якість сировини та м'ясопродуктів. До сьогоднішнього дня ветеринарно-санітарні експерти не володіють надійними та точними методами, які б дозволяли виявляти м'ясо, що довго зберігалось на полицях супермакетів, залежане на складах тощо. Як правило, органолептичні методи не завжди оправдовують себе, оскільки експерту доводиться керуватись виключно своїми органами чуття, а залежане м'ясо не завжди видає себе кольором або запахом, особливо після спеціальної обробки. Фізико-хімічні методи контролю м'яса є доволі трудомісткими, дорогими та довготривалими.

Одним із методів, що дозволить відрізнити свіже м'ясо від такого, яке вже кілька днів чи навіть місяців пролежало в холодильнику або з ознаками погіршення якості, є імпедансна спектроскопія. Цей метод відомий вже давно. Його, як правило, використовували в матеріалознавстві, для дослідження процесів старіння у корозійних системах, для діагностики стану акумуляторів тощо. Але ніколи раніше його не використовували для виявлення свіжого чи зіпсутого м'яса.

Відомо, що всі біологічні тканини здатні проводити постійний і змінний струм та характеризуються певним опором. Під час проходження змінного

електричного струму через тканину визначається сумарний опір, що називається імпедансом (Z), який складається з активної та ємнісної складової.

У лабораторії імуноморфології ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок, разом із фахівцями кафедри прикладної фізики та матеріалознавства НУ «Львівська політехніка» проводяться експериментальні дослідження щодо визначення свіжості м'яса методом імпедансної спектроскопії.

Метою нашої роботи було визначити імпеданс м'яса курячого свіжого, м'яса курячого після зберігання у холодильнику та з ознаками псування.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на 10 взірцях свіжої курячої грудинки (філе), охолодженої (знаходилась у холодильнику більше 6 діб) та 10 взірцях курячого філе з ознаками псування. Всі досліджувані взірці були вагою 60 г, під час експерименту знаходились в однакових умовах зберігання, при постійній температурі та вологості. Показники електропровідності визначали послідовно у шести повторах.

Через шматок м'яса пропускали слабкий змінний струм різної частоти. Після цього вимірювали електропровідність зразка і складали графік залежності його імпедансу від частоти струму. Отриманий цифровий матеріал обробляли статистично та графічно. Гістологічні дослідження проводили за загальноприйнятими методами.

Результати дослідження. Клітинні мембрани свіжих м'язових волокон є своєрідним бар'єром і перешкодою на шляху електронів, тоді, як у процесі погіршення якості м'яса відбувається руйнування клітинних мембран, відповідно електропровідність м'яса зростає, а імпеданс – зменшується.

Проходження змінного струму залежить від двох складників – активного опору (R) та реактивного, ємнісного опору (R_c). Вплив ємнісної складової призводить до того, що опір тканин, клітин залежить від частоти змінного струму. Експериментально було доведено, що опір тканин (Z) зменшується із збільшенням частоти. Крива залежності опору від частоти називається дисперсією опору. При функціональних змінах у тканинах, які відбувалися у м'язових волокнах у процесі старіння, ми відзначали, що крива дисперсії опору знаходилась у діапазоні від 700 до 3800 Ом у свіжому курячому м'ясі та зменшувалася, відповідно, у м'ясі після зберігання у холодильнику від 375 до 325 Ом та від 156 до 143 Ом у м'ясі з ознаками погіршення якості (рис. 1–3).

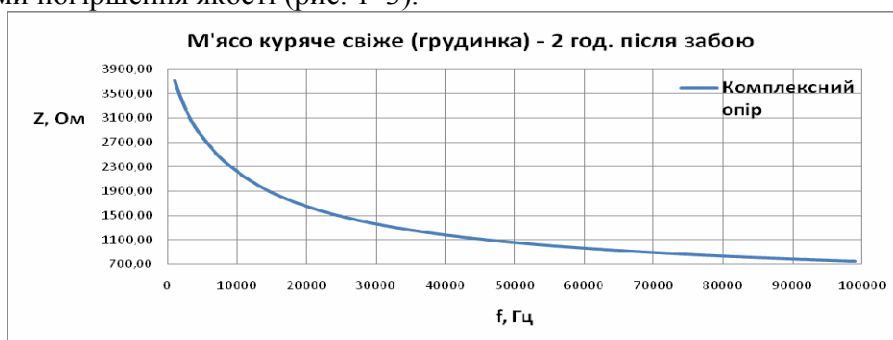


Рис. 1. Залежність опору свіжого курячого філе від частоти електричного струму



Рис. 2. Залежність опору курячого філе після зберігання у холодильнику протягом 6 діб від частоти електричного струму



Рис. 3. Залежність опору курячого філе з ознаками псування від частоти електричного струму

Простішу оцінку крутизни дисперсії опору запропонував Тараусов, яка визначається коефіцієнтом поляризації (Кп):

$$K_p = Z^{10^4} / Z^{10^6}$$

де: Z^{10^4} - опір при частоті 10^4 Гц, Z^{10^6} - опір при частоті 10^6 Гц. Відповідно до цього Кп в непошкоджених свіжих тканинах повинен бути більше 1. Кп мертвої тканини або тої, що піддалася процесам автолізу Кп наближається або рівний 1.

Як видно з результатів наших досліджень, Кп свіжого курячого філе становить:

$$K_p = 2200 / 750 = 2,9.$$

$$K_p \text{ курячого філе після зберігання у холодильнику} = 335 / 328 = 1,02.$$

$$K_p \text{ курячого філе з ознаками псування} = 145 / 143 = 1,01.$$

При пропусканні змінного струму через шматочки м'яса відбувається рух клітин, який називають діелектрофорезом, при якому поверхневий заряд клітин не відіграє важливої ролі; механізм руху полягає у взаємодії наведеного дипольного моменту із зовнішнім полем. Змінні в часі електропровідні особливості біологічних тканин дозволяють спостерігати зсуви фізіологічних функцій, що супроводжують процеси старіння досліджуваних об'єктів. Для щільних м'язових тканин дисперсія електропровідності обумовлена лінійними розмірами клітин,

особливостями стану мембран, внутрішньоклітинними і міжклітинними рідинами. У мертвих клітинах спостерігається порушення клітинних мембран і втрата рідини. І якщо при збереженій клітинній мембрані через тканину проходив переважно струм заміщення, то після руйнування мембран клітин у загальному струмі збільшується частка струму провідності. Таким чином, дисперсія діелектричної проникності живої тканини є достатньо високою, тоді як мертвої – її майже не має.

Слід відзначити, що при збереженості цілісності ліпідних мембран клітин свіжої м'язової тканини ефективна діелектрична проникність є достатньо високою. При старінні або псуванні м'язової тканини змінюється проникність мембран, які виконують своєрідну бар'єрну функцію, зникає вибіркова проникність мембран клітин. При проходженні електричного струму іони проникають через мембрани клітин. Поляризація на клітинному рівні зменшується, електрична ємність взірця тканини також зменшується, крива зміни $Z(f)$ у діапазоні частот $f_{\min} \cdot f_{\max}$ згладжується. Тому, для аналізу стану клітинних мембран, можна використовувати різницю $\Delta Z = Z(f_{\min}) - Z(f_{\max})$. Якщо різниця ΔZ мала, то це є свідченням того, що мембрани клітин порушені.

ΔZ свіжого курячого філе = $3700 - 750 = 2950$ Гц = 2,9 кГц.

ΔZ курячого філе після зберігання у холодильнику = $375 - 328 = 47$ Гц.

ΔZ курячого філе з ознаками псування = $156 - 143 = 13$ Гц.

Отже, поляризаційна електрична ємність м'яса з ознаками старіння різко зменшується в результаті порушення цілісності клітинних мембран, що й призводить до зменшення імпедансу.

Ще однією важливою складовою імпедансометрії є показник кута ω , який визначає відношення реактивної й активної складової імпедансу (рис. 4–6). Згідно даними літератури значення кута ω , отриманого при частоті 1кГц для шкіри людини складає -55° , м'язів кроля — -65° . За результатами наших досліджень встановлено, що кут ω для свіжого курячого м'яса при частоті 1 кГц дорівнює -33° , тоді як кут ω курячого філе, яке зберігалось у холодильнику впродовж 6 діб дорівнює $-3,5^\circ$, у м'яса з ознаками погіршення якості складає $-2,5^\circ$.



Рис. 4. Фазовий зсув кута ω для свіжого курячого м'яса



Рис. 5. Фазовий зсув кута ω для курячого м'яса після зберігання у холодильнику



Рис. 6. Фазовий зсув кута ω для курячого м'яса з ознаками погіршення якості

Результати імпедансної спектроскопії узгоджуються з даними, отриманими після проведення мікроструктурних досліджень.

При гістологічному дослідженні свіжого курячого м'яса встановлено, що на поздовжньому зрізі волокна, під сарколемою, чітко проглядалися численні, видовжено-овальної форми темно-синього кольору ядра, які розміщувалися переважно периферично (рис. 7). Досліджувані нами м'язи курячого філе належать до групи білих м'язових волокон, які є дещо товстішими за червоні, містять менше міоглобіну, мітохондрій, невелику кількість саркоплазми та ліпідних включень, а міофібрили щільніші. На поперечних зрізах м'язові волокна полігональної форми, їх ядра розміщуються під сарколемою.

У курячому м'ясі, яке зберігалось у холодильнику впродовж 6 діб, на відміну від свіжого, відбувається відшарування та локальна деструкція сарколеми. Волокна набухають і накладаються одні на одних (рис. 8). Сполучна тканина руйнується, перетворюється в аморфну масу.

При гістологічному дослідженні взірців курячого філе з ознаками псування, відзначали сильне набубнявіння м'язових волокон, зникнення поперечної і поздовжньої посмугованості, лізис більшості ядер (рис. 9). Між окремими фрагментами м'язів виявляли колонії мікроорганізмів (рис. 10).

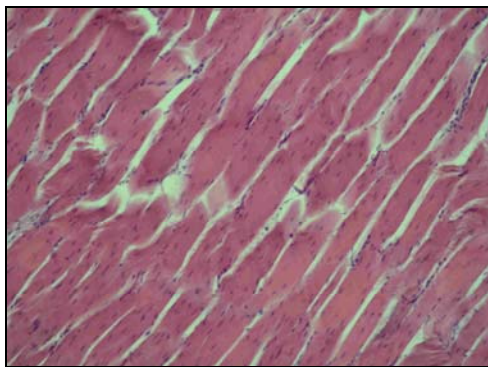


Рис. 7. Поздовжній зріз свіжих курячих м'язів. Компактне розміщення м'язових волокон. Гематоксилін та еозин. Ок. 10, об. 20

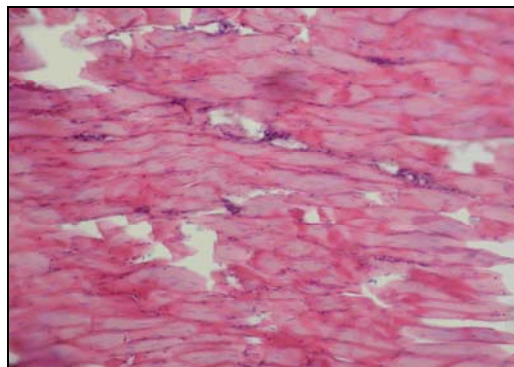


Рис. 8. Поздовжній зріз м'язів курячого філе після зберігання у холодильнику. Втрата поздовжньої посмугованості, ущільнення м'язових волокон, а в окремих ділянках руйнування саркоплазматичної мембрани. Гематоксилін та еозин. Ок. 10, об. 10

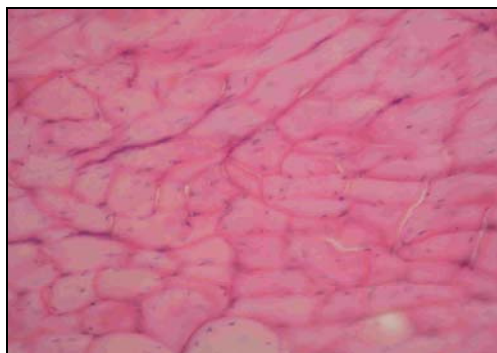


Рис. 9. Поперечний зріз м'язів курячого філе з ознаками псування. Сильне набухання м'язових волокон. Ядра гомогенні, окремі не проглядаються. Гематоксилін та еозин. Ок. 10, об. 40

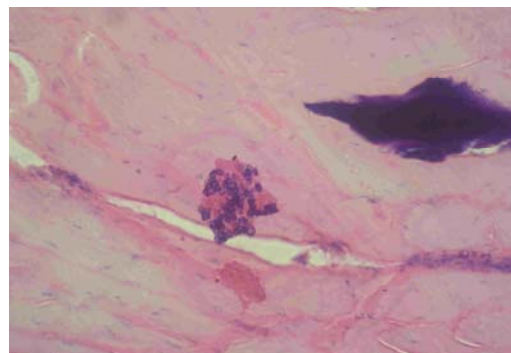


Рис. 10. Поперечний зріз м'язів курячого філе з ознаками погіршення якості. Колонії мікроорганізмів між м'язовими волокнами. Гематоксилін та еозин. Ок. 10, об. 40

Висновки. 1. У результаті проведених досліджень встановлено, що імпеданс є багатокомпонентним показником, за допомогою якого можна аналізувати і прогнозувати функціональний стан біологічної тканини.

2. Крива дисперсії опору курячого м'яса та поляризаційна електрична ємність м'яса, яке зберігалось у холодильнику та м'яса з ознаками старіння різко зменшується, у порівнянні зі свіжим курячим м'ясом. Коефіцієнт поляризації

свіжого курячого м'яса знаходився на рівні 2,9, тоді, як м'яса після зберігання у холодильнику та з ознаками погіршення якості, відповідно, 1,02 і 1,01.

3. Проведені мікроскопічні дослідження курячого м'яса узгоджуються з даними імпедансної спектроскопії. Гістологічно свіже куряче м'ясо має чітко виражену поперечну та поздовжню посмугованість, з численними ядрами. М'ясо куряче після зберігання та з ознаками псування характеризується сильним набубнявінням м'язових волокон, лізісом ядер та появою колоній мікроорганізмів.

Література.

1. Альбеков С. С. Изучение функциональной составляющей мозговой ткани разностотной импедансометрией в эксперименте / С. С. Альбеков // Материалы I съезда физиологов Казахстана. – Алма-Ата, 1988. – С. 22.

2. Белик Д. В. Контрактивная биоэлектрокинетика. Аспекты лечебного применения физиовоздействий / Д. В. Белик, К. Д. Белик. Научное издание. – Новосибирск: Сибирское книжное издательство, 2005. – 304 с.

3. Белик Д. В. Импедансная электрохирургия / Д. В. Белик. – Новосибирск: Наука, 2000. – 274 с.

4. Торнуев Ю. В. Способ оценки состояния биоткани и устройство для его осуществления / Ю. В. Торнуев // А.с. № 1832438. – МКИ А61 В 5/05. – 1991.

Summary

Shchebentovska O.M.

State Scientific Control Institute of veterinary preparations and fodder additives
THE DETERMINATION OF CHICKEN MEAT FRESHNESS BY IMPEDANCE SPECTROSCOPY

The article deals with experimental impedansometry of fresh chicken meat (chicken fillet), meat after storage in the refrigerator and the meat with features of spoiling. The changes of impedance under the effect of different frequency alternating electric current passage through the pieces of meat of different freshness were established. It was experimentally proved that the dispersion curve of fresh chicken meat is in the range from 700 to 3800 Ohm, the meat with features of spoiling - from 142 to 158 Ohm. The histological study of tested chicken fillet pieces to confirm the effectiveness of the portable device for determining the electric conductivity of biological membranes was carried out besides that.

Рецензент – д.т.н., проф. Ціж Б.Р.