УДК 637.04:637.07

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ М'ЯСА З МЕТОЮ РЕАЛІЗАЦІЇ ОПЕРАТИВНОГО ВІЗУАЛЬНОГО МЕТОДУ ЙОГО КОНТРОЛЮ

О. С. ЛЮБЧИК, аспірант*

E-mail: olya.lyubchyk@gmail.com

М. М. МИКИЙЧУК, доктор технічних наук, професор,

E-mail: mykolamm@ukr.net

Т. З. БУБЕЛА, доктор технічних наук, доцент

Національний університет "Львівська політехніка"

E-mail: paholuk@ukr.net

Анотація. *М'ясо і м'ясні продукти повинні входити в щоденний раціон людини, тому важливо забезпечувати якість м'ясної продукції. Фальсифікація м'ясопродуктів не тільки впливає на зниження якості готових виробів, а також може бути небезпечним чинником для здоров'я споживачів. Методи контролю якості м'яса, які використовують на сьогодні, мають низку недоліків – вибірковість дії, дороге обладнання, велика тривалість визначення, необхідність застосування великої кількості реактивів, потреба у кваліфікованих кадрах і спеціалізованих лабораторіях. У статті запропоновано оптичний метод оперативної ідентифікації якості м'яса, для реалізації якого досліджено умови його застосування. Здійснено дослідження на зразках курячого м'яса з метою формування еталонної бази для визначення його якості. Розроблено математичну модель оптичної ідентифікації м'яса та модель вирішального правила для прийняття рішення. Визначені основні впливні фактори під час реалізації методу, а саме: фон (контрастність зображення) та рівень освітленості досліджуваного зразка. Встановлено, що математична модель є адекватною і дійсною в діапазоні від 730 лк до 1850 лк. Дослідження об'єкта були здійснено на різних фонах, проте на не білому фоні стабільних і закономірних залежностей не було виявлено. Рекомендовано реалізовувати метод на білому фоні об'єкта.*

Ключові слова: *оперативний візуальний метод, контрастність зображення, рівень освітленості зразка, математична модель оптичної ідентифікації м'яса, модель вирішального правила*

Актуальність. М'ясо і м'ясні продукти відрізняються від інших груп харчових продуктів високою харчовою цінністю, органолептичними

---

* Науковий керівник – д.т.н., професор, М. М. Микийчук

властивостями та багатим хімічним складом. Це джерело повноцінних білків, жирів, комплексу вітамінів, мінеральних та екстрактивних речовин [1, с. 111]. Під дією навколишнього середовища і технологічних факторів в ньому відбуваються численні фізико-хімічні процеси. У зв'язку з цим від якості м'ясної сировини залежить якість готових м'ясних виробів. Якість м'яса – це сукупність властивостей, що характеризують харчову і біологічну цінність, органолептичні, фізико-хімічні, структурно-механічні, функціонально-технологічні, санітарно-гігієнічні та інші ознаки продукції, а також ступінь їх вираженості [2, с. 1].

М'ясо і м'ясні продукти повинні входити в щоденний раціон людини, тому важливо забезпечувати якість м'ясної продукції. Фальсифікація м'ясопродуктів не тільки впливає на зниження якості готових виробів, а також може бути небезпечним чинником для здоров'я споживачів [3, с. 84]. Оперативно виявляти фальсифікації традиційними методами практично неможливо [4, с. 167]. Методи, які використовують сьогодні, є недосконалими, трудомісткими, взаємосуперечливими, тривалими в часі та недостатньо інформативними [5, с. 164]. Тому важливо розвивати методи оперативного контролю якості м'яса, які були б доступні для споживача і дали б можливість не проводити додаткові лабораторні аналізи, щоб отримати оцінку досліджуваного зразка [6, с. 217]. Використання оперативних методів аналізу повинно забезпечити, насамперед, виявлення фальсифікацій та встановлення ступеня свіжості м'яса безпосередньо споживачем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На ринку м'яса, що користується стабільним попитом у споживача, представлені різні його види і покупцеві іноді важко вибрати якісний продукт із цього різноманіття [7, с. 40]. Сьогодні для виявлення фальсифікації м'ясної продукції здебільшого використовують фізико-хімічні методи, які реалізуються за допомогою фізичних приладів у лабораторних умовах (табл. 1) [7, с. 42-45; 8, с. 37-40; 8, с. 33-35].

1. Класифікація фізико-хімічних методів визначення фальсифікації м’ясної продукції

Методи	Показники, що визначаються	Переваги	Недоліки
Спектральні (спектроскопія, колориметрія, фотоколометрія, спектрофотометрія)	елементний склад зольного залишку, хімічний склад, наявність домішок, слідів і псування продуктів	висока чутливість, селективність і швидкість отримання результатів	складність, проведення в лабораторних умовах
Електрохімічні (електро-гравіметрія, потенціометрія, поляграфія)	вміст важких металів, кислотність, хімічний склад, концентрація	за величиною pH можна судити про свіжість м’яса, з великою точністю визначати кількісний вміст окремих компоненті	велика тривалість визначення, довготривалість визначення
Електрофоретичні (фронтальний, електрофорез, зональний електрофорез)	хімічний склад, наявність домішок, слідів розпаду, псування	дає можливість кількісної оцінки кожної складової суміші	складність, проведення в лабораторних умовах
Люмінесцентні (візуальна люмінесценція, флуориметрія, спектрально люмінесцентний аналіз, хемілюмінесцентний аналіз)	свіжість м’яса, хімічний склад, наявність домішок, слідів розпаду та псування	висока чутливість	складність, проведення в лабораторних умовах

Існуючі методи (табл. 1) [9, с. 66-67] мають низку недоліків [8, с. 29-30], серед яких можна виокремити вибірковість дії, дороге обладнання, високу часо- та трудомісткість, необхідність застосування великої кількості реактивів, потребу у кваліфікованих кадрах і спеціалізованих лабораторіях. Отже, застосування фізико-хімічних методів для ідентифікації видів м’яса є утрудненим внаслідок їх складності та тривалості проведення вимірювань [10, с. 66].

Тому, на сьогодні одним із актуальних завдань у практиці захисту прав споживачів є розроблення нових та вдосконалення існуючих методів контролю якості продукції тваринного походження. Основні вимоги до сучасних методів контролю якості продукції тваринного походження доцільно сформулювати наступним чином [10, с. 66]:

- придатність для оперативної ідентифікації видів м’ясної продукції;

- час проведення ідентифікації не повинен створювати перешкод для вчасного придбання м’ясної продукції споживачем;
- вірогідність ідентифікації має відповідати прийнятому ризику споживача.

Отже, пропонується оптичний метод оперативної ідентифікації якості м’яса, суть якого полягає у:

- створенні віртуальних оптичних еталонів різних видів м’яса;
- на основі фотозображень різних видів м’яса визначенні характерних ознак конкретного виду м’яса;
- ідентифікації рівня його якості на основі теорії розпізнавання образів.

Для реалізації запропонованого методу розроблено алгоритм його реалізації (рис. 1) [6, с. 216], який є основою для створення відповідного програмного забезпечення, що може бути встановлене, наприклад, на мобільному телефоні споживачів.

Реалізація запропонованого підходу дозволить розвинути методи ідентифікації м’ясної продукції, підвищить ефективність і результативність метрологічної діяльності у сфері виробництва та розповсюдження м’ясної продукції [10, с. 68].

Мета дослідження. Для реалізації запропонованого методу необхідно дослідити умови його застосування та створити математичну модель оптичної ідентифікації м'яса. З цією метою були визначені основні впливні фактори, а саме: фон (контрастність зображення) та рівень освітленості досліджуваного зразка.

Матеріали і методи дослідження. Об’єкт досліджень: 25 зразків курячого м’яса. Рівень освітлення склав в діапазоні від 730 лк до 1850 лк. Фон – білий. Зображення здійснювали камерою Apple iPhone 6s, з характеристиками роздільна здатність – 4032 х 3024 пікселів, дисплей – 1/3 дюйма.

На кожному зразку проводили по 5 експериментів у кожній точці. Кількість точок на зразку складала 16.

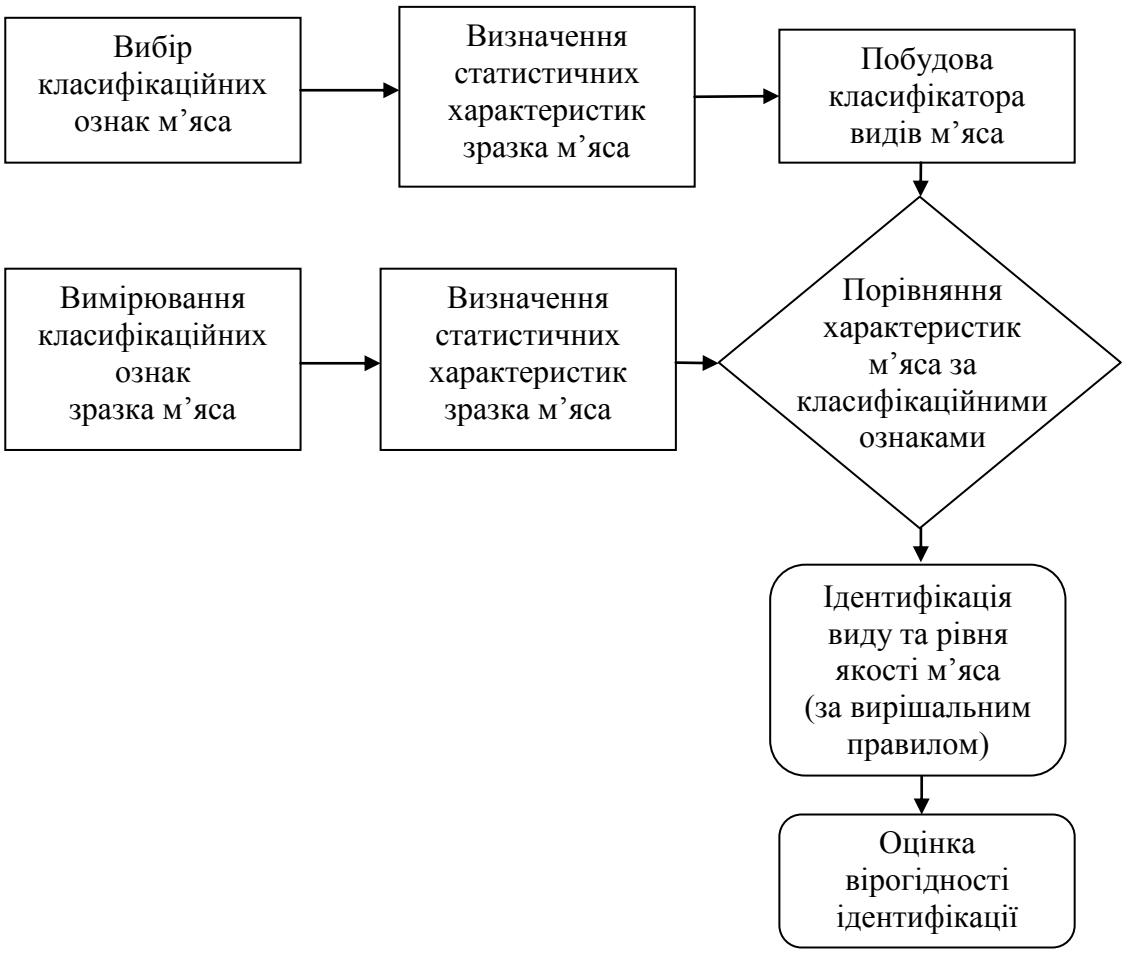

Рис. 1. Алгоритм реалізації методу оперативного контролю якості м'ясної продукції

Результати дослідження та їх обговорення. Ідентифікація зображення відбувалась шляхом аналізу червоного (RED), зеленого (GREEN) та синього (BLUE) спектрів у отриманих фото зображеннях. З метою формування еталонної бази для визначення якості курячого м'яса було здійснено дослідження на 25 зразках, усереднені значення яких представлено в таблиці 2 та графічно (рис. 2).

2. Дослідження зразка властивостей м'яса

Номер зображення	Освітленість (лк)	$RED_{серед}$	$GREEN_{серед}$	$BLUE_{серед}$
1	752	179,375	115,75	68,6875
2	1392	183,4375	118,625	72,25
3	1690	187,1875	121,6875	75,1875
4	1843	172,625	111,5	67
5	1747	177,0625	115,875	64,8125

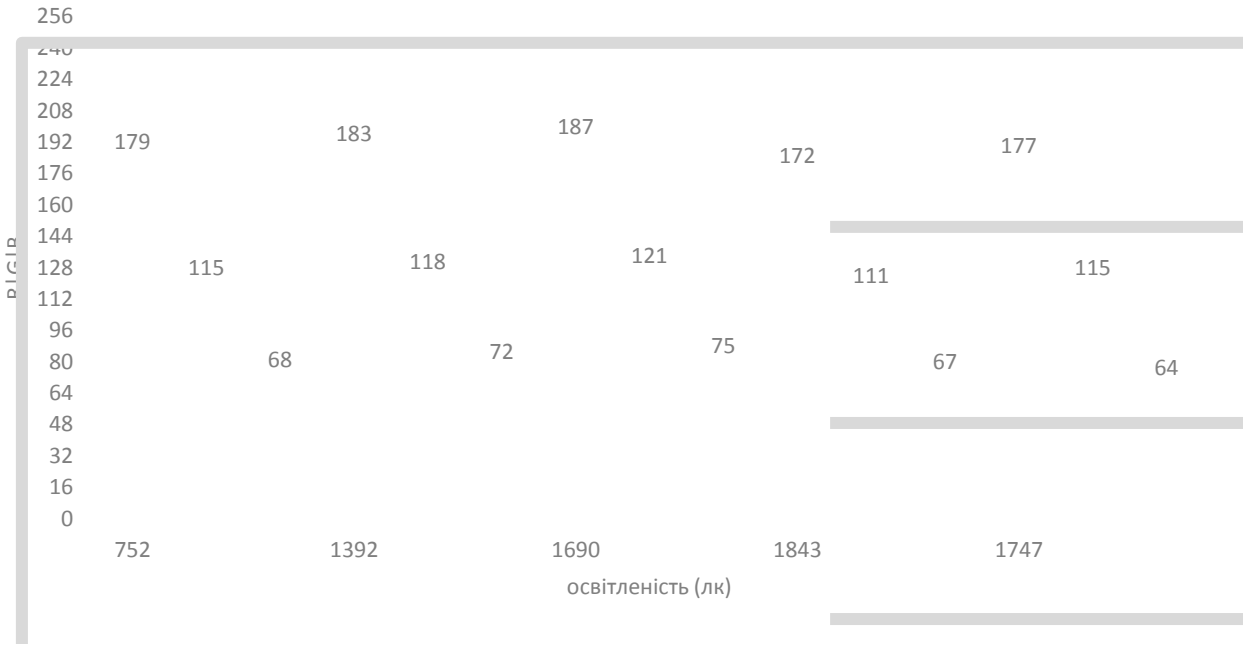

Рис. 2. Залежність $R_{серед}$, $G_{серед}$, $B_{серед}$ від освітленості L (лк)

Виявлено, що за освітленості L > 1600 лк ця закономірність (рис. 1) зникає, тому рекомендоване значення для освітленості L не повинно перевищувати 1600 лк під час реалізації запропонованого методу визначення якості м’яса.

Формалізація математичної моделі оптичної ідентифікації м'яса представлена нижче.

Оптична модель:

$$S_{ОПТ} \Rightarrow \begin{cases} 0 < I(x,y,\lambda) \le I_{max} \text{ - яскравість зображення} \\ x_1 \le x \le x_2,\ y_1 \le y \le y_2 \text{ - розміри зображення} \\ L(x,y) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \mathrm{I}(x,y,\lambda)\cdot \mathrm{s}(\lambda)\cdot \mathrm{d}\lambda \text{ - зображення} \\ 350нм \le \lambda \le 780нм \text{ - оптичний діапазон} \\ C = \int_0^1 (I-\bar{I})^2 \cdot p(I)\cdot dI = \dfrac{I_0 - I_ф}{I_ф} \text{ - контрастність зображення} \\ z = \dfrac{\lambda}{2m\cdot \sin\varphi} \text{ – роздільна здатність} \\ y_{RED} = -4{,}75x^2 + 22{,}05x + 160{,}75 \\ R^2 = 0{,}853 \\ y_{GREEN} = -3{,}25x^2 + 15{,}35x + 102{,}25 \\ R^2 = 0{,}8457 \\ y_{BLUE} = -3x^2 + 15x + 55{,}5 \\ R^2 = 0{,}878 \end{cases}$$

де $\bar{I}$ – усереднена яскравість зображення; $p(I)$ – фукція густини ймовірності рівнів сірого; I_0 – яскравість досліджуваного зображення; $I_ф$ – яскравість фону; $2m \cdot \sin\varphi$ – числова апертура оптичної системи; y_{RED}, y_{GREEN}, y_{BLUE} – показники спектрів; R^2 – коефіцієнт детермінації моделі.

Було сформовано модель вирішального правила для прийняття рішення:

$$S_{ВП} \Rightarrow \begin{cases} Q = Q(x, y, n, d, K_Л, \eta, t) \to extr \\ \omega = \Phi(n, d, K_Л, \eta) \\ x(\omega) = \Phi_0(n, d, K_Л, \eta) \\ \hat{g}(x) = \hat{g}(x(\omega)) : (g_j, x_j) = \left\| n, d, K_Л, \eta \right\|_{j=1...M}^{i=1...N} \\ x^0, x^1 \in X, i = \overline{1, n_X}; \\ y^0, y^1 \in Y, i = \overline{1, n_Y}; \\ \omega_i \in \Omega, i = \overline{1, n_\Omega} \to const \end{cases}$$

де Q – критерій оптимальності вирішального правила, що вибирається споживачем, оператори перетворення – $Q(x, y, n, d, K_Л, \eta, t)$; $\Phi(n, d, K_Л, \eta)$; $\Phi_0(n, d, K_Л, \eta)$.

Обмеження областей існування відповідних параметрів математичної моделі:

$$x^0, x^1 \in X, i = \overline{1, n_X}; a \in A, i = \overline{1, n_A}, y^0, y^1 \in Y, i = \overline{1, n_Y}; t \in R[t_0, t_1]$$

Експериментально встановлено, що математична модель є адекватною в діапазоні від 730 лк до 1850 лк.

Аналогічні дослідження досліджуваного об’єкта були здійснено також і на інших фонах, проте стабільних і закономірних залежностей не було виявлено. Тому, рекомендовано реалізовувати метод на білому фоні об’єкта.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Актуалізовано проблему оперативного контролю м’яса безпосередньо споживачем продукції. На основі проведених досліджень створено математичну модель та модель вирішального правила для реалізації запропонованого оперативного візуального методу контролю якості м'яса. За результатами експериментів встановлено оптимальний діапазон значень освітленості та фон об’єкта досліджень.

Список літератури

1. Смоляр В. І. Харчова експертиза. Підручник. / В. І. Смоляр. — К.: Здоров`я, 2005. — 448 с.

2. Якубчак О. М. Порівняльна оцінка методів дослідження якості м’яса [Електронний ресурс] / О. М. Якубчак, В. В. Кравчук // Наукові доповіді НАУ. — 2008. — № 10. — С. 1-8. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/old_jrn/e-journals/Nd/2008-2/08yomgrm.pdf.

3. Ложкіна О. В. Мікроструктурний метод визначення складників готової продукції із м’ясної сировини / О. В. Ложкіна, О. Т. Марчук, Н. І. Теплих, Н. І. Меженська, І. Г. Калиновська // Ветеринарні науки. – 2013. – № 155. – С.79-85.

4. Коцюмбас І. Я. Якість, безпека і фальсифікація м'ясної продукції. Практичне застосування мікроструктурного методу контролю / І. Я. Коцюмбас, Г. І. Коцюмбас, О. М. Щебентовська // Наук.-техн.бюд.Ін-ту біології тварин та Держ. н.-д. контрол. ін..-ту ветпрепаратів та корм. Добавок. – 2010. – Вип. 11, N 1. – С. 166-170.

5. Любчик О. С. Застосування теорії розпізнавання образів при контролі якості м’ясної продукції [Текст] / О. С. Любчик, М. М. Микийчук // XII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах»: Тез. доп. – Вінниця, 2014. – С. 164

6. Lyubchyk, O. Development of operational quality control method for meat products / O. Lyubchyk, M. Mykyjchuk, M. Vorobets // Food & Environment Safety. – 2015. – Vol. 14, Issue 2 – P. 212-217.

7. Дубініна А. А. Методи визначення фальсифікації товарів / А. А. Дубініна, І. Ф. Овчиннікова, С. О. Дубініна, Т. М. Летута, М. О. Науменко. – К.: «Видавничий дім «Професіонал», Центр учбової літератури, 2010. – 272 с.

8. Базарнова Ю. Г. Методы исследования сырья и готовой продукции: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 76 с.

9. Алейников А. Ф. Классификация методов оценки свежести мясного сырья / А. Ф. Алейников, И. Г.Пальчикова, Ю. В. Чугуй // 5-ой Международной научно-практической конференции «Информационные технологии системы и приборы в АПК». – 2012. – С. 63-68.

10. Любчик О. С. Аналіз шляхів удосконалення методів ідентифікації видів м’яса / О. С. Любчик, М. М. Микийчук, О. В. Гонсьор // Вісник НУ «ЛП» «Вимірювальна техніка та метрологія». – Львів, 2014. – №75 – С. 63-69.

References

1. Smolyar V. I. (2005). Kharchova ekspertyza [Food expertise]. Health, 448.

2. Yakubchak, O. M. Comparative evaluation research methods of meat quality. Available at: http://www.nbuv.gov.ua/old_jrn/e-journals/Nd/2008-2/08yomgrm.pdf.

3. Lozhkina, O. V., Marchuk, O. T., Teplykh, N. I., Mezhenska, N. I., Kalynovska, I. H. (2013). Mikrostrukturnyi metod vyznachennia skladnykiv hotovoi produktsii iz m’iasnoi syrovyny [Microstructural method for determining components of finished products from raw meat]. Veterinary Science, 155, 79-85.

4. Kotsiumbas, I. Ia., Kotsiumbas, H. I., Shchebentovska, O. M. (2010) Yakist, bezpeka i falsyfikatsiia miasnoi produktsii. Praktychne zastosuvannia mikrostrukturnoho metodu kontroliu [Quality, safety and fraud meat products. Practical application of microstructure control method]. auk.-tehn.byud.In th Animal Biology and State. n.-d. control. etc .- that veterinary medicines and feed. Supplements, 11, 1, 166-170.

5. Lyubchyk, O. S., Mykyichuk, M. M. (2014). Application of the theory of pattern recognition for quality control of meat products. XII International Conference "Control and management of complex systems", Proc. additional (Vinnytsia), 164.

6. Lyubchyk, O., Mykyjchuk, N., Vorobets, M. (2015). Development of operational quality control method for meat products. Food & Environment Safety, 14 (2), 212–217.

7. Dubinina, A.A., Ovchynnikova, N.F., Dubinina, S.O., Letuta, T.M., Naumenko, M. O. (2010). Metody vyznachennya fal'syfikatsiyi tovariv [Methods of determining the falsification of goods]. Kiev, Ukraine: Professional, Publishing House, 272.

8. Bazarnova, Iu. H. (2013) Metody issledovanyia syria i hotovoi produktsyy: Ucheb.-metod. posobye [Methods of research of raw materials and finished products: Ucheb. method. benefit]. SPb .: NRU ITMO; IHiBT, 76.

9. Aleinykov, A. F., Palchykova, Y. H., Chuhui, Iu. V. (2012). Klassyfykatsyia metodov otsenky svezhesty miasnoho syria [Classification of methods for evaluating the freshness of raw meat]. 5th International scientific-practical conference "Information systems technology and equipment in agriculture", 63-68.

10. Lyubchyk, O.S., Mykyjchuk, M. M., Hons’or, O.V. (2014). Analiz shlyakhiv udoskonalennya metodiv identyfikatsiyi vydiv m"yasa [Analysis of ways to improve methods of identifying types of meat]. Bulletin NU "LP" "Measuring equipment and metrology", 75, 63–69.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯСА С ЦЕЛЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОГО ВИЗУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЕГО КОНТРОЛЯ

О. С. Любчык, Н. Н. Мыкыйчук, Т. З. Бубела

Аннотация. *Мясо и мясные продукты должны входить в ежедневный рацион человека, поэтому важно обеспечивать качество мясной продукции. Фальсификация мясопродуктов не только влияет на снижение качества готовых изделий, а также может быть опасным фактором для здоровья потребителей. Методы контроля качества мяса, которые используют сегодня, имеют ряд недостатков – избирательность действия, дорогостоящее оборудование, большая продолжительность определения, необходимость применения большого количества реактивов, потребность в квалифицированных кадрах и специализированных лабораториях. В статье предложен оптический метод оперативной идентификации качества мяса, для реализации которого исследованы условия его применения. Проведено исследование на образцах куриного мяса с целью формирования эталонной базы для определения его качества. Разработана математическая модель оптической идентификации*

мяса и модель решающего правила для принятия решения. Определены основные влияние факторы при реализации метода, а именно: фон (контрастность изображения) и уровень освещенности исследуемого образца. Установлено, что математическая модель является адекватной и действительной в диапазоне от 730 лк до 1850 лк. Исследование объекта были осуществлены на разных фонах, однако на не белом фоне стабильных и закономерных зависимостей не было обнаружено. Рекомендовано реализовывать метод на белом фоне объекта

Ключевые слова: *оперативный визуальный метод, контрастность изображения, уровень освещенности образца, математическая модель оптической идентификации мяса, модель решающего правила*

INVESTIGATION OF MEAT OPTICAL CHARACTERISTICS WITH THE PURPOSE OF IMPLEMENTING THE VISUAL METHOD OF CONTROLLING IT

O. S. Lyubchyk, M. M. Mykyjchuk, T. Z. Bubela

Abstract. *Meat and meat foods have to be included into human's everyday ration. Therefore, it is important to provide high quality of meat foods. Counterfeiting of meat foods does not only decrease the quality of ready products but also might become a dangerous factor for consumers' health. Methods of controlling meat quality, that are used nowadays, have a row of shortcomings - selectivity of action, expensive equipment, big longevity of recognition, necessity of using a lot of chemical agents, need in qualified personnel and specialized laboratories. Optical method of efficient meat quality identification is proposed in the article. The conditions of implementing it were investigated in order to bring it into action. The investigation on chicken meat samples was conducted in order to compound the standard of comparison basis for defining its quality. The mathematical model of optical meat identification and model of the defining rule for decision making were developed. The main influential factors were defined. They are as follows: background (contrast of the image) and light level of the investigated sample. It has been stated that the mathematical model is adequate and relevant within 730 lx and 1850 lx. The investigation of the object was conducted on different backgrounds but no stable and regular dependencies were found if not on white background. It is recommend to implement the method on white object's background.*

Keywords: *Efficient visual method, image contrast, light level of the sample, mathematical model of optical identification of meat, model of the governing factor.*