

Оценка качества мяса птицы по результатам анализа его цветовых характеристик

А.Ф. АЛЕЙНИКОВ^{1,2,*}, И.Г. ПАЛЬЧИКОВА^{3,4}, Е.С. СМИРНОВ³

¹ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Новосибирская область, Россия

² Новосибирский государственный технический университет, Россия

³ Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия

* Контактный e-mail: fti2009@yandex.ru

Приведена схема экспериментальной колориметрической установки, в которой используется принцип получения и цифровой обработки изображений. При разработке алгоритма вычислений использована теория обработки изображений. Создано программное обеспечение, которое позволяет определять средние величины доминирующей длины волны и насыщенности, а также их отклонения для отобранной области цифрового изображения образца. Одна из существенных отличительных особенностей алгоритма программы – процедура пороговой обработки, которая устраняет низкоинформативные данные из отобранной области изображения. Апробацию прибора проводили на образцах мяса птицы, отобранных на птицефабриках. Экспериментально получены существенные различия доминирующих длин цветовых волн образцов мяса бройлеров.

Ключевые слова: мясо, качество, цветовые характеристики мяса, колориметрия, цифровое изображение.

Введение

В настоящее время потребители питания стали осознавать прямую связь между питанием и заболеваниями. Зависимые от питания сердечнососудистые, онкологические заболевания, ожирение, сахарный диабет и другие патологии растут в геометрической прогрессии из года в год [1]. Современные продукты животноводства и птицеводства производятся по технологиям искусственного изменения обмена веществ и быстрого накопления живой массы. Ценность такого сырья сомнительная, к тому же продукты распада лекарственных препаратов ухудшают качество и безопасность полученной продукции. Существующие технологии производства полуфабрикатов и колбасных изделий подразумевают использование большого количества так называемых кондитерских белков, фосфатов, каррагинанов и других заменителей или имитаторов мяса, имеющих мало общего с потребностями человека. Необходимы и своевременны новые технологии кормления сельскохозяйственной птицы без использования лекарственных средств. При этом традиционные лекарственные препараты заменяют на комплексные

кормовые добавки на основе пробиотиков, пребиотиков, фитобиотиков и местных минеральных комплексов.

Карт-бланш на импортозамещение товаров, предоставленный государством отечественным производителям, позволяет им поставлять на агропродовольственный рынок продукцию с дешевыми, но не безопасными для здоровья людей пищевыми добавками, заменителями, консервантами и др. Кроме того, глубина изменений качества (например, мяса после замораживания и последующего хранения в замороженном состоянии) зависит от многих факторов. Первостепенными из них являются скорость замораживания, условия и длительность хранения мяса в замороженном виде, степень биохимических изменений в нем до начала замораживания. При заморозке мяса, а также в процессе хранения его в замороженном состоянии происходит изменение структуры мяса, его массы, цвета, состояния белков, липидной фракции, витаминов, микро- и макроэлементов. Даже при достаточно низких температурах хранения и шоковой заморозке в мясе продолжают происходить физические, биохимические и микробиологические процессы [2]. За счет сублимационного испарения в поверхностном слое мяса образуется множество пор, заполненных воздухом. В этом слое протекают необратимые окислительные процессы, а также адсорбируются посторонние запахи.

Продолжительность хранения замороженного мяса колеблется в значительных пределах и зависит от вида, упитанности скота и птицы и исходных качественных показателей мяса, закладываемого на хранение после замораживания, а также от технологии хранения (температуры, плотности укладки, размеров штабелей и др.).

Следует заметить, что стандартные сроки хранения устанавливаются при четком соблюдении нормативных правил хранения мяса. На практике же достаточно часто эти правила нарушаются по ряду объективных и субъективных причин, таких как продолжительное аварийное отключение электроэнергии в помещении товаропроизводителя, использование устаревшего неуправляемого оборудования, которое не обеспечивает необходимые условия хранения и др. Кроме того, при попадании мяса к конечному потребителю не учитываются длительность и возникающие нарушения условий его транспортирования, особенно при импорте. Например, замечено, что при поставке мясного сырья из стран Южной Америки интенсивный деструктивный процесс в нем происходит при транспортировке, а не при хранении его у производителя [2, 3]. Поэтому существует достаточно большая вероятность поступления в продажу замороженного, формально непросроченного мяса сомнительной свежести, способного вызвать пищевые отравления у потребителя. Защититься от недоброкачественного импорта с экономической точки зрения эффективно можно через требования к качеству продуктов питания и его контроль.

Оценка качества мяса является одной из первоочередных задач, так как от оперативности контроля и объективности оценки признаков мяса зависят качество выдаваемой потребителю продукции в целом, ее себестоимость, своевременность выбора и принятие адекватных мер по снижению брака на производстве [2]. Существующие методы контроля качества мясного сырья трудоемки, требуют применения дорогостоящего оборудования. Проведение оценки его качества не позволяет использовать традиционные методы для отбраковки покупателем поставляемого мясного сырья [3–5].

1. Экспериментальная установка для анализа и обработки цветовых характеристик поверхностей биологических тканей

Цветовые характеристики мяса обусловлены наличием пигментов сложных белков – миоглобина и гемоглобина, которые являются комплексом гема и белковой частей [2]. В свежем мясе, подвергающемся воздействию кислорода, пигменты представлены темно-красным миоглобином, ярко-красным оксимиоглобином и коричневым окисленным метмиоглобином, которые переходят друг в друга. С течением времени ярко-красный оксимиоглобин, указывающий на свежесть продукта, за счет реакции с кислородом переходит в окисленную форму метмиоглобина, что придает мясу непривлекательный коричневый или темно-бурый оттенок.

Для анализа цветовых характеристик мяса разработана колориметрическая установка, структурная схема которой показана на рис. 1. Осветитель имеет несколько вариантов исполнения, построенных на светодиодах или галогенных лампах. Он может работать в непрерывном и импульсном режимах. Импульсный режим подсветки с высокой энергией и малой экспозицией позволяет выполнять точные измерения в условиях фоновой засветки помещений. Оптическая система ОС-1, являющаяся частью осветителя, формирует равномерный световой поток для подсветки образца с нескольких ракурсов. При необходимости в ОС-1 встраиваются светофильтры. При регистрации изображений мяса желательно ослабить синюю составляющую в спектре осветителя. Оптическая система ОС-2 выполняет перенос изображения образца в плоскость фоточувствительной матрицы регистратора. Она, как и ОС-1, состоит из соответствующего объектива и набора светофильтров [6]. Основными требованиями, предъявляемыми к осветителю, являются стабильная мощность и оптимальный спектральный состав излучения.

В качестве регистратора изображений в экспериментальной установке применена цветная видеокамера Видеоскан-415Ц-2001 с ССД-матрицей размером 6.5×4.83 мм [7]. Разрешение камеры 782×582 пк, размер пикселя 8.3×8.3 мкм. Динамический диапазон 1000 : 1, имеется возможность 12-разрядного аналого-цифрового преобразования сигналов. Время экспозиции устанавливается от 3.5 мкс до 10 мин. Видеокамера позволяет регистрировать изображения образца как в непрерывном режиме, так и в режиме принудительного запуска (внешней синхронизации).

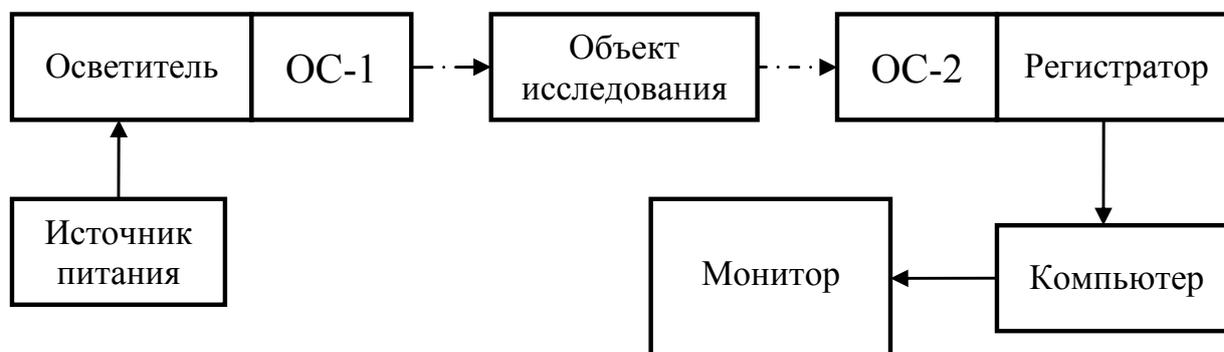


Рис. 1. Схема работы цветного анализатора

Измерительный объем анализатора цвета определяет максимальный размер исследуемого образца мяса, который помещается в кювету. При исследовании характеристик поверхности образца кювета помещается вблизи открытого торца измерительного блока, защитный корпус которого выполнен из непрозрачного материала. Для освещения исследуемого образца во время его съемки камерой в измерительном блоке анализатора предусмотрено наличие внутреннего или отдельного внешнего осветителя, построенного на светодиодах или галогенных лампах, работающих в непрерывном или импульсном режимах. Освещение и условия наблюдения выбираются по ГОСТ Р 52489–2005 с учетом свойств испытуемого образца и информации, которую необходимо получить при измерении. Импульсный режим подсветки с высокой энергией и малой экспозицией позволяет выполнять более точные измерения в условиях фоновой засветки помещения.

Процесс определения цветовых характеристик включает подготовку образца, получение изображения образца с помощью цифровой камеры и регистрацию в компьютере цифрового изображения в виде файла RAW-формата в RGB цветовом пространстве.

2. Аспекты обработки цифрового изображения

Обработка файла осуществляется специальной программой ColourVideoTool. Программа выполняет следующие функции [8]: выбор типа камеры; отображение изображения; выбор рабочего кадра; создание фонового кадра; выбор участков рабочего кадра, на которых подсчитываются средние значения R, G, B -составляющих (красный, зеленый, синий цвета), и установку их нижнего и верхнего граничных уровней (пиксели, значения яркости в которых превышают уровни, из подсчета исключаются); нормировку рабочего кадра по фону, вычисление доминирующей длины волны λ и насыщенности s по каждому участку по средним значениям R, G, B -компонентов; установку “баланса белого” для источника; введение координат цвета источника в специальное окно; обработку записанных ранее файлов в RAW-формате. Алгоритмы обеспечивают также выделение контуров на картах и сегментацию изображения по заданным порогам цветности, насыщенности или освещенности. Результаты записываются в электронные таблицы Microsoft Excel и представляются в виде соответствующих диаграмм (графиков). Предусмотрен вывод двумерных карт и трехмерных распределений вычисленных значений характеристик.

Получение стабильных оценок изображения гарантируется тем, что программа имеет встроенные средства для калибровки и контроля характеристик цветопередачи [9]. Выравнивание передаточных функций цветовых каналов красного, зеленого и синего цветов R, G, B производят методом замены зарегистрированных значений значениями из таблицы LUT (Lookup Table). Определение матрицы преобразования и построение таблицы – один из этапов калибровки. При калибровке регистрируется фоновое изображение, которое может использоваться при обработке (оно вычитается из исходного изображения). Результаты калибровки, фоновое изображение и устанавливаемые исследователем параметры обработки сохраняются в файлах с расширениями .ini и .prm. Загрузка соответствующего файла автоматически корректирует передаточную функцию камеры.

Доминирующая длина волны λ и насыщенность s для каждой точки изображения (пикселя) вычисляются с использованием спектрального локуса [10, 11]. По периметру локуса размещаются спектральные цвета максимальной насыщенности ($s = 1$), каждый из которых характеризуется собственной длиной волны λ_i . Точки внутри локуса представляют собой смесь цветов, которая характеризуется доминирующей длиной волны и насыщенностью ($0 < s < 1$). Для определения λ и s , кроме цветовых координат текущего пикселя, необходимо знать цветовые координаты осветителя, которые в нашем случае определяются как среднее значение цветовых координат точек фона, регистрируемого на этапе калибровки. Для повышения скорости все вычисления производят в нормированных цветовых координатах R, G, B . В связи с этим и табличное представление локуса в координатах X, Y, Z переведено в систему координат R, G, B . В координатном пространстве R, G, B строится вектор \mathbf{r} с началом в точке с координатами осветителя R_s, G_s, B_s и концом в координатах текущей точки R_i, G_i, B_i . Если из точки R_s, G_s, B_s построить вектор \mathbf{k} , коллинеарный первому, до пересечения с границей локуса, то длина волны, соответствующая точке пересечения, будет являться доминирующей длиной волны λ , а отношение длины вектора \mathbf{r} к длине вектора \mathbf{k} – насыщенностью s . Графическое представление зависимости R, G, B -координат граничных точек локуса от длины волны представлено на рис. 2.

Цветности реальных излучений ограничены на диаграмме цветности кривой спектральных цветов (локусом) и линией пурпурных тонов, замыкающей красный и синий концы локуса. Для определения доминирующей длины волны и насыщенности, кроме цветовых координат пикселя, необходимо знать цветовые координаты осветителя, которые могут задаваться как координаты равноэнергетического белого цвета E ($x = 0.33; y = 0.33$), если доминирующая длина волны определяется для изображения объекта, нормированного на белый фон. Наилучшей поверхностью белого цвета для цветовых измерений является плоская матовая поверхность порошкообразной химически чистой окиси магния.

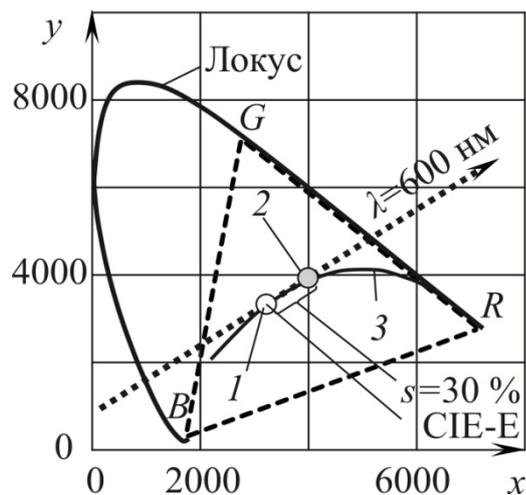


Рис. 2. Графическое изображение, поясняющее вычисление доминирующей длины волны: 1 – цветность излучателя; 2 – цветность полученного изображения; 3 – локус Планка (линия цветностей черного тела)

Проекция координат R, G, B в систему цветового пространства $CIE\ LAB\ XYZ$ осуществляется по формулам

$$X = 2.7687R + 1.7516G + 1.1301B,$$

$$Y = 1R + 4.5904G + 0.0601B,$$

$$Z = 0.0565G + 5.5939B.$$

Значения хроматических координат $Yxу$ определяются по формулам

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}.$$

Насыщенность s рассчитывается с помощью следующего выражения:

$$s = \frac{\sqrt{(x_{src} - x)^2 + (y_{src} - y)^2}}{\sqrt{(x_{src} - W_x)^2 + (y_{src} - W_y)^2}},$$

где x_{src} и y_{src} – хроматические координаты источника; W_x и W_y – хроматические координаты доминирующей длины волны, полученные в точке пересечения цветового локуса с прямой, соединяющей точку источника (x_{src}, y_{src}) с точкой цвета (x, y) пикселя. Нами не вводились дополнительные длины волн для пурпурных цветов, а принимались для них отрицательные значения на линии пурпурных тонов. При таком определении пурпурные цвета не маскируют остальные в процессе последующей обработки цифровых изображений и не используются для выделения характеристик изображения или значимых маркеров.

Повышение точности определения доминирующих длин волн достигается путем введения коэффициентов эффективности. Коэффициенты эффективности передачи цвета определяются экспериментально с помощью элементов цвета из эталонного атласа цветов для выбранного диапазона спектральных длин волн, например, 380–645, 705–780 нм, с шагом 1–5 нм, или с помощью спектральных элементов цвета, получаемых от монохроматора, или с помощью атласа цветов, калиброванного спектрометром. Идеальная цветопередача предполагает наличие линейной зависимости длины волны λ , вычисленной из цифрового изображения цветового элемента по описанному выше алгоритму обработки, от номинальной доминирующей длины волны λ_c цветового элемента. Коэффициенты эффективности передачи цвета – это суть поправочные коэффициенты, прибавление которых к значениям вычисленных λ позволяет линеаризовать экспериментально найденную зависимость $\lambda(\lambda_c)$, приблизив ее к прямой линии “идеальной цветопередачи”.

С помощью изготовленного цветового атласа [11] исследованы цветопередача и возможность применения различных камер в цветоизмерительных системах. Зарегистрированные изображения цветовых элементов атласа попиксельно нормировались на изображение фона (белая матовая бумага), съемка которого осуществлялась предварительно. По изображению производились вычисления доминирующих длин волн.

Изученные нами камеры значительно отличались друг от друга по своим характеристикам, тем не менее ход сплошных кривых на графиках зависимости $\lambda(\lambda_c)$ практически совпадал. Вариация значений коэффициентов составляет от 6 до минус 12 % в видимом диапазоне. Представленные значения коэффициентов находились путем усреднения по многим цифровым изображениям.

Предлагаемый алгоритм позволяет определять насыщенность цвета и доминирующую длину волны выделенного фрагмента цифрового изображения с высокой достоверностью и точностью определения спектральных цветов до значения 2.5 нм.

3. Вычислительные эксперименты

Для проведения вычислений были выбраны образцы мясного сырья птицы в замороженном и размороженном состоянии следующих производителей:

1. ООО “Бердская птицефабрика”. Тушка цыпленка бройлера (ГОСТ 52702–2006) замороженная. Изготовлено 27 августа 2015 г.
2. ЗАО “Алтайский бройлер”. Грудка с кожей замороженная. Изготовлено 28 июля 2015 г.
3. Птицефабрика “Акашево”. Окорочок цыплят бройлеров замороженный, партия № 210306. Изготовлено 17 июня 2015 г. (срок годности 8 мес.).
4. ЗАО “Приосколье”. Тушка цыпленка бройлера, замороженная. Изготовлено 30 апреля 2015 г. (срок годности 6 мес.).

Учитывая, что на Бердской птицефабрике при кормлении птицы традиционные лекарственные препараты заменялись комплексными кормовыми добавками на основе пробиотиков, пребиотиков, фитобиотиков и местных минеральных комплексов, ставилась задача идентификации продукции этого известного бренда производителей от возможной фальсификации.

Для исследования из каждого образца формировался кусочек ткани, с которым производилась работа по вычислению цветовых параметров. Размороженные образцы хранились в бытовом холодильнике.

Цветовые исследования и настройка оборудования проводились в соответствии с составленным планом исследований. Для вычисления цифровых значений цвета, а именно доминирующей длины волны λ использовали цветовой локус для стандартного колориметрического наблюдателя с углом зрения 10 град. Малый шаг точек локуса, для которых определены длины волн (0.1 нм), позволил не проводить дополнительную аппроксимацию для точного нахождения точки пересечения прямой и локуса, ошибка определения в любом случае не будет превышать 50 % цены деления шкалы локуса (0.05 нм). Данная оценочная величина много меньше статистической модельной ошибки определения цвета в рамках *RGB*-пространства. С учетом вклада систематической ошибки расчетами было установлено необходимое и достаточное количество точек “белого” цвета, которое не превысило шести точек. Возможность принятия данных координат обуславливается операцией “нормировки” исследуемого изображения на изображение априори белого объекта, фотография которого получается с такими же настройками аппаратуры, как и изображение исследуемого объекта. Нормировка производилась по каждому каналу.

Фотографирование выполнялось с калибровкой яркости по априори белому объекту. Максимальная яркость сфотографированного белого объекта в любом из цветовых каналов *RGB* не должна быть доведена до максимального ее значения в 255 единиц во избежание ошибок (засветка в цветовом канале), но может быть близка к этому значению (95–97 % от него). Регулировка яркости велась ступенчато путем изменения величины экспозиции света с помощью цифровой камеры, что позволило определить пороговую яркость и производить съемку объектов с найденными настройками. Такая настройка индивидуальна для каждой камеры. В данном эксперименте величина экспозиции составила 2308 нс. Усиление сигнала базовое 100 %, т. е. без дополнительного усиления для снижения вклада шумовых компонентов в изображение.

Фотографирование одного кадра сформированного сырья производилось с усреднением по ста изображениям, получаемым с видеокамеры для уменьшения вклада матричного шума в изображение. Графический формат изображения *.tiff, 8 бит на канал. Колориметрическая установка позволяла выбирать один из двух вариантов освещения объекта. Использовался осветитель, встроенный в колориметрическую установку “Яркий +”.

В ходе работ с четырьмя образцами разных производителей получено 75 изображений сырья и изображение белого фона.

Последовательность операций вычисления данных изображения сырья следующая.

1. Цифровая цветная фотография сырья по каждому каналу делилась на аналогичную фотографию фона. Съемка фона и сырья велась с одинаковыми параметрами фотоаппарата.

2. Фильтровались пиксели изображений с одинаковым сигналом в каждом канале, т. е. серых по цвету. Сравнение суммы сигналов *RGB* производилось с утроенным сигналом в канале *R*. Если разница этих значений равнялась нулю, то такой пиксель в расчет не принимался.

3. Пиксели с сигналом, равным нулю, фильтровались хотя бы в одном канале, для оставшихся пикселей вычислялась насыщенность цвета *s* для цветовой модели *HSV* и согласно выражению

$$s = \frac{MAX(RGB) - MIN(RGB)}{MAX(RGB)} 100 \% .$$

В этом случае отсутствовали значения насыщенности, равные нулю.

4. Определялись максимальное и минимальное значения насыщенности для фотографии сырья. К полученным значениям применялась линейная коррекция таким образом, что минимальное значение насыщенности считалась равным нулю, а максимальное – 100 %. Это необходимо для разделения всего диапазона насыщенностей на равные части с целью подсчета количества пикселей, оказавшихся в каждом диапазоне насыщенности.

5. Граничная насыщенность определялась при вычислении максимума дисперсии из девяти последовательных значений количества пикселей, оказавшихся в каждом диапазоне насыщенностей, начиная со значения насыщенности 15 % и более. Пиксели с насыщенностью больше граничной считались принадлежащими к объекту исследований, между ними вычисляли средние арифметические значения *R*, *G* и *B*, по которым рассчитывали доминирующую длину волны, систематическую ошибку определения доминирующей длины волны и насыщенности.

Необходимым условием являлось наличие на изображении части или кусочка опорного белого фона по причине дальнейшего отделения пикселей сырья от пикселей фона по уровню насыщенности цветов. Наличие белого цвета предполагает минимальную насыщенность цвета на уровне шумов матрицы. Для бесшумной матрицы белый цвет остается белым. Здесь же попиксельно убиралось имеющиеся блики света на поверхности сырье–воздух. Над матрицами R , G и B , относящимися к изображению объекта, производилась операция нормировки (деления) на аналогичные матрицы изображения белого фона, получались матрицы дробных чисел “нормированного” изображения. В таких матрицах принудительно исключались пиксели со значениями, превышающими установленный максимум в 255 единиц. Оставшиеся пиксели участвовали в установлении доминирующей длины волны. Их следовало упорядочить и установить граничную насыщенность путем нахождения точки перегиба кривой из упорядоченных величин насыщенности s . Данную обработку (упорядочение) проводили путем вычисления количества пикселей с определенной насыщенностью (с шагом 0.1 %). Пиксели с насыщенностью меньше граничной не участвовали в установлении доминирующей длины волны сырья.

Далее установленные длины волн усреднялись как среднее арифметическое, и это значение сводилось в таблицу для данного образца сырья. Затем оценивалась систематическая ошибка определения доминирующей длины волны путем последовательного вычисления длин волн и насыщенностей и установления максимальных значений цвета по параметрам (λ, s) , т. е. систематической ошибки определения (λ, s) . Надо полагать, систематическая ошибка определения доминирующей длины волны значительно меньше ошибки, вносимой шумами матрицы для больших насыщенностей, и, возможно, сравнима с ней для слабо насыщенных цветом изображений.

На рис. 3 приведены результаты исследования четырех образцов. Порядок расположения номеров образцов на одни сутки (сверху вниз) следующий: доминирующая длина волны λ 1, 4, 2, 3; насыщенность s 2, 3, 4, 1.

Для анализа из размороженных тушек мяса образцов 1 и 4 изготавливались образцы белого и красного по цвету мяса с продольным и поперечным расположением волокон по методике, описанной в работе [12]. Значения доминирующей длины волны λ и насыщенности s размороженных в течение 6 ч образцов птичьего мяса двух производителей приведены в таблице.

На основании анализа результатов (рис. 3) можно установить следующее:

– со времени полной дефростации образцов 1, 3, 4 отмечается увеличение доминирующей длины волны, а затем ее уменьшение со временем;

– для образца 2 (белое мясо курицы) фиксируется увеличение доминирующей длины волны, и оно лежит за пределами времени работы с другими образцами;

– контрольный образец 1 (красное мясо курицы) с большим отрывом по доминирующей длине волны можно отличить от остальных в течение всего времени работы с мясным сырьем;

– несмотря на то что насыщенность цвета для всех образцов практически постоянна в диапазоне 20–30 % и имеет небольшой рост, изменение насыщенности контрольного образца 1 (ООО “Бердская птицефабрика”) лежит вне зоны распределения насыщенности других образцов;

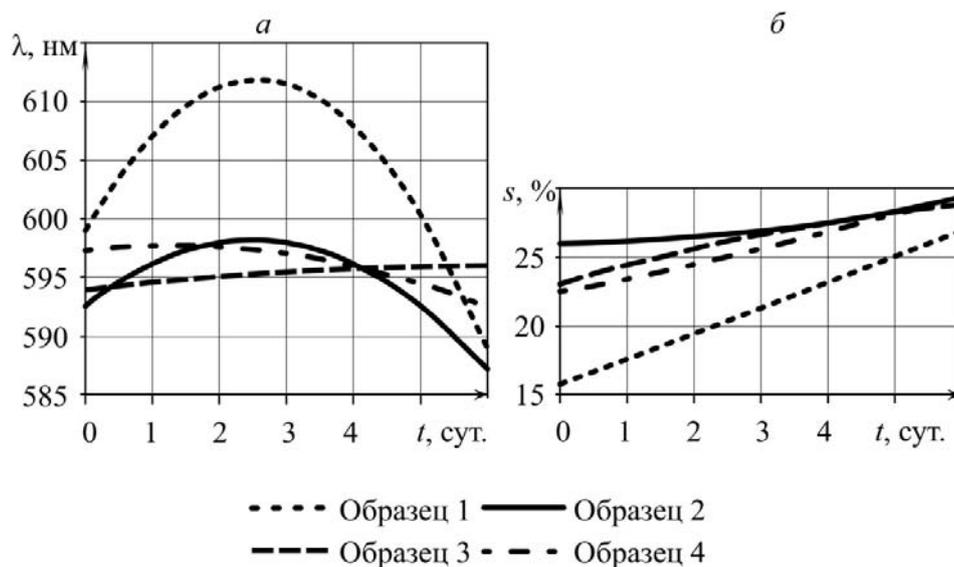


Рис. 3. Зависимости доминирующей длины волны λ (а) и насыщенности цвета s (б) от времени

– для образца мяса 1 (ООО “Бердская птицефабрика”) наблюдается четкая граница соответствия доминирующих длин волны белого и красного мяса. Это подтверждает нормальное, естественное формирование волокон в соответствии с физиологическими возможностями, которые оптимизируются кормовыми, ветеринарными и другими технологическими факторами, определяющими содержание миоглобина.

В образце мяса 4 (ЗАО “Приосколье”) отмечено отсутствие ярко выраженных границ цветовых характеристик у белого и красного мяса. Отражение света находится практически в одной части спектра 585–593 нм. Анализ технологии производства бройлеров и кормовой базы ЗАО “Приосколье” свидетельствует о следующем:

– использовались корма с высоким содержанием белка. Такие рационы требуют увеличения энергообеспечения организма за счет применения жира, хотя это снижает усвоение железа. Содержание жира в мясе при этом резко возрастает, ускоряя процесс окисления метмиоглобина;

– при обеззараживании, видимо, были применены дезинфицирующие растворы, снизившие насыщенность красного мяса до уровня белого;

λ , нм	s , %	Номер образца (цвет мяса, особенности)
602.1096982	23.73	1 (белое, вдоль волокон)
600.9215223	22.19	1 (белое, поперек волокон)
608.7312854	25.36	1 (красное, вдоль волокон)
608.7579678	23.98	1 (красное, поперек волокон)
588.6162222	22.61	4 (белое, вдоль волокон)
585.3638796	20.51	4 (белое, поперек волокон)
592.8935453	27.26	4 (красное, поперек волокон)
590.6073095	26.75	4 (красное, вдоль волокон)

- при производстве, скорей всего, были использованы технологии инъектирования тушек с целью получения более рельефных форм;
- бройлеры выращивались при клеточном содержании и интенсивном кормлении, что сокращает сроки выращивания, ускоряет рост и формирование тушек, предполагает или приводит к изменению обмена веществ и нарушению мальабсорбции питательных веществ корма в кишечнике, усвоению и накоплению питательных веществ в виде трансудатов, вносящих свою коррекцию в информативную светоотражающую плоскость образцов.

Заключение

Рассмотренные в статье методические приемы и алгоритмы для анализаторов технического зрения позволяют осуществлять: ввод изображения с видеокamеры; загрузку с диска и сохранение на диске файлов с изображениями объектов; обработку загруженного или зарегистрированного изображения в соответствии с заказанными оператором параметрами и порогами; установку порогов выделения информативных точек изображений по яркости, насыщенности и длине волны; сохранение заданных режимов и порогов в файле параметров; чтение файла параметров с автоматической дешифровкой записанных данных; представление результатов обработки оператору в виде цифрового изображения и его параметров; автоматическое сохранение всех регистрируемых изображений в виде файлов.

Кроме того, методические приемы являются новыми и имеют правовую охрану в части расширения функциональных возможностей по выбору типа камеры, выбора рабочего кадра, создания фонового кадра, выбора участков рабочего кадра, на которых подсчитываются средние значения R, G, B -компонентов, и установки их нижнего и верхнего граничных уровней, при выходе за которые пиксели из подсчета исключаются, нормировки рабочего кадра по фону, нахождения доминирующей длины волны и насыщенности на каждом участке по средним значениям R, G, B -компонентов; установки “баланса белого” для источника, введения координат цвета источника в специальное окно и обработки и вычисления записанных ранее файлов в формате BMP.

Предлагаемые приемы и алгоритмы обработки и вычисления данных цветовых характеристик образцов продукции животного происхождения, например мяса птицы, могут быть использованы для оценки их качества в замороженном виде и установления конкретных его производителей с целью исключения фальсификации выпускаемой на рынок отечественной продукции конкретных производителей.

Благодарности. Статья опубликована при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-20001).

Список литературы / References

- [1] Любовецкая А. Качество продукта как основа здорового питания. Адрес доступа: <http://fullref.ru/jobdcbf444e892972f4e5c5d0b6c855cd9e.html> (дата обращения 18.08.2015).

- Lyubovedskaya, A.** Product quality as the basis of healthy diet. Available at: <http://fullref.ru/jobdcbf444e892972f4e5c5d0b6c855cd9e.html> (accessed 18.08.2015).
- [2] **Лисицын А.Б., Липатов Н.Н., Кудряшов Л.С., Алексахина В.А., Чернуха И.М.** Теория и практика переработки мяса. М.: Эдиториал сервис, 2008. 308 с.
Lisitsyn, A.B., Lipatov, N.N., Kudryashov, L.S., Aleksakhina, V.A., Chernukha, I.M. Theory and practice of processing meat. Moscow: Editorial Servis. 2008. 308 p. (In Russ.)
- [3] **Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Чугуй Ю.В.** Обоснование экспресс-метода оценки свежести мясного сырья // Сиб. вестн. с.-х. науки. 2012. № 5. С. 83–90.
Aleynikov, A.F., Palchikova, I.G., Chuguy, Yu.V. Substantiation of express method for evaluating meat quality // Siberian Herald of Agricultural Science. 2012. No. 5. P. 83–90. (In Russ.)
- [4] **Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Глянченко В.С., Чугуй Ю.В.** Экспресс-метод оценки качества мяса // Сиб. вестн. с.-х. науки. 2013. № 6. С. 71–78.
Aleynikov, A.F., Palchikova, I.G., Glyanenko, V.S., Chuguy, Yu.V. The rapid method for meat quality grading // Siberian Herald of Agricultural Science. 2013. No. 6. P. 71–78. (In Russ.)
- [5] **Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Обидин Ю.В., Глянченко В.С., Смирнов Е.С., Чугуй Ю.В., Швыдков А.Н.** Установки для экспресс-оценки свежести мяса // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 4. С. 74–77.
Aleynikov, A.F., Palchikova, I.G., Obidin, Yu.V., Glyanenko, V.S., Smirnov, E.S., Chuguy, Yu.V., Shvydkov, A.N. Devices for the fast assessment of freshness of meat // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2013. No. 4. P. 74–77. (In Russ.)
- [6] **Пальчикова И.Г., Алейников А.Ф., Чугуй Ю.В., Воробьев В.В., Ярушин Т.В., Сартаков В.Ю., Макашев Ю.Д., Швыдков А.Н.** Портативный анализатор цвета поверхности образцов биологической ткани // Сиб. науч. вестн. 2013. № 17. С. 171–175.
Palchikova, I.G., Aleynikov, A.F., Chuguy, Yu.V., Vorobyov, V.V., Yarusshin, T.V., Sartakov, V.Yu., Makashev, Yu.D., Shvydkov, A.N. Portable color analyzer for surface of samples of biological tissue // Siberian Scientific Bulletin. 2013. No. 17. P. 171–175.
- [7] **Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Обидин Ю.В., Смирнов Е.С., Глянченко В.С., Чугуй Ю.В.** Цифровая видеосистема для определения и анализа цветовых характеристик мясного сырья // Сиб. вестн. с.-х. науки. 2013. № 1. С. 78–88.
Aleynikov, A.F., Palchikova, I.G., Obidin, Yu.V., Smirnov, E.S., Glyanenko, V.S., Chuguy, Yu.V. Digital video recorder for recognizing and analyzing meat color characteristics // Siberian Herald of Agricultural Science. 2013. No. 1. P. 78–88. (In Russ.)
- [8] **Алейников А.Ф., Обидин Ю.В., Пальчикова И.Г., Чугуй Ю.В.** Анализ цветовых характеристик мясного сырья “MeatMeter”: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013617372. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ от 12.08.2013 г.
Aleynikov, A.F., Obidin, Yu.V., Palchikova, I.G., Chuguy, Yu.V. Analysis of color characteristics for row meat materials MeatMeter: Certificate of the Russian Federation on official registration of a computer program No. 2013617372. Registered 12.08.2013 (In Russ.)
- [9] **Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Чугуй Ю.В., Воробьев В.В., Макашев Ю.Д., Ярушин Т.В.** Анализ цвета поверхности биологической ткани “ColorVideoTool”:

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014615176. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ от 20.05.2014 г.

Aleynikov, A.F., Palchikova, I.G., Chuguy, Yu.V., Vorob'ev, V.V., Makashyov, Yu.D., Yarushin, T.V. Analysis of color for surface of biological tissue ColorVideoTool: Certificate of the Russian Federation on official registration of a computer program No. 2014615176. Registered 20.05.2014.

- [10] **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.

Gonsales, R., Vuds, R. Digital processing of images. Moscow: Technosphere, 2012. 1104 p. (In Russ.)

- [11] **Пальчикова И.Г., Алейников А.Ф., Воробьев В.В., Ярушин Т.В., Сартаков В.Ю., Макашев Ю.Д., Смирнов Е.С., Швыдков А.Н.** Видеоанализатор количественных цветовых характеристик образцов поверхностей // Приборы. 2014. № 6. С. 38–44.

Palchikova, I.G., Aleynikov, A.F., Vorob'ev, V.V., Yarushin, T.V., Sartakov, V.Yu., Makashev, Yu.D., Smirnov, E.S., Shvydkov, A.N. Video analyzer for quantitative color characteristics of sample surfaces // Devices. 2014. No. 6. P. 38–44. (In Russ.)

- [12] **Пальчикова И.Г., Алейников А.Ф., Чугуй Ю.В., Швыдков А.Н., Смирнов Е.С., Гляненько К.Н., Нициевская К.Н.** Оптические и электрические свойства мяса различных видов птицы // Сиб. науч. вестн. 2014. № 18. С. 151–156.

Palchikova, I.G., Aleynikov, A.F., Chuguy, Yu.V., Shvydkov, A.N., Smirnov, E.S., Glyanenko, K.N., Nitsievskaya, K.N. Optical and electric properties of different types of poultry meat // Siberian Scientific Bulletin. 2014. No. 18. P. 151–156. (In Russ.)

Поступила в редакцию 20 октября 2016 г.

Evaluation of the poultry meat quality by analyzing its color characteristics

ALEYNIKOV, ALEXANDR F.^{1,2,*}, PALCHIKOVA, IRINA G.^{3,4}, SMIRNOV, EVGENY S.³

¹ Siberian Federal Scientific Centre for Agro-BioTechnologies, Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

² Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia

³ Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering Siberian Branch RAS, Novosibirsk, 630058, Russia

⁴ Novosibirsk State University, 630090, Russia

* Corresponding author: Aleynikov, Aleksandr F., e-mail: fti2009@yandex.ru

Purpose. A digital video recorder has been developed to perform the color test for grading the raw poultry meat. The device enables to evaluate freshness of raw meat and its quality characteristics. Structural arrangement features of the experimental colorimetric apparatus have been examined. Image acquisition and digital image processing are used for finding visual attributes of meat samples.

Methodology. The algorithm of calculations is based on the theory of image processing. We have developed the software for the evaluation of the meat quality signs according to color images of its samples, which enables determining the mean values of a dominant wavelength and saturation, as well as their deviations over selected area for a digital image for a sample.

Novelty. One of the essential distinctive features of the developed algorithm is the thresholding procedure, which eliminates the low-informative points from the selected image area. The output of two-dimensional maps and three-dimensional distributions for calculated values of the dominant wavelength and the saturation for each point (pixel) of the digital image are provided. The special correcting procedure for the algorithm of the dominant wavelength calculation is elaborated. The calibration of the color analyzer and the program was realized on the basis of the color standard atlas and the spectral light from the optical monochromator. The proposed procedure enhances the accuracy of the calculation of spectral colors up to ± 2.5 nm in the range of 380–645 nm. The analyzer not only determines the quantitative color parameters of meat samples, but also enables to control their changes in time with high accuracy.

Findings. We verified device with meat samples produced at poultry plants. Experimental results demonstrated the significant differences in dominant wavelengths for meat samples of broilers, and they indicated the real storage time of meat.

Keywords: raw meat, quality grade, color characteristics of meat, colorimetry, digital image.

Acknowledgements. The article publication was supported by RFBR (grant No. 16-07-20001).

Received 20 October 2016