

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-230-238>

Поступила 08.10.2021

Поступила после рецензирования 12.11.2021

Принята в печать 25.11.2021

© Федянина Н. И., Карастоянова О. В., Коровкина Н. В., 2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ. ОБЗОР

Федянина Н. И.*, Карастоянова О. В., Коровкина Н. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования. Видное, Московская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

цвет, способы определения цвета, растительное сырье, качество, компьютерное зрение

АННОТАЦИЯ

Качество пищевых продуктов обуславливает совокупность свойств продукции, таких как размер, форма, текстура, цвет и другие, и определяет приемлемость данной продукции для потребителя. По цвету можно определить дефекты в растительном сырье и классифицировать его по цветовым характеристикам, текстуре, размеру, форме, степени зрелости и т. д. В настоящее время ведутся работы по модернизации систем контроля цвета для быстрого и объективного измерения информации о цвете растительного сырья во время сбора, переработки, а также в процессе его хранения. Целью работы является проведение анализа существующих способов определения цветовых характеристик растительного сырья — они описаны в зарубежных и отечественных работах. Также в данной статье приводятся результаты экспериментальных работ, в которых рассказывается о практическом применении методов определения цвета пищевых продуктов. На сегодняшний день существуют следующие способы определения цветовых характеристик по принципу сенсорного анализа: органолептический, спектрофотометрический, фотометрический. Данные методы отличаются некоторыми недостатками, поэтому в качестве автоматизированного способа контроля пищевых продуктов широкое применение нашло компьютерное зрение. Он отличается высокой достоверностью и надежностью в процессе определения свежести, безопасности, степени зрелости и других параметров растительного сырья, отличающегося неоднородностью по перечисленным выше показателям. Метод компьютерного зрения находит свою реализацию в следующих системах: традиционной, гиперспектральной и многоспектральной. Каждая последующая система является составной частью предыдущей. Представленные в статье материалы позволяют сделать вывод об эффективности систем компьютерного зрения с целью автоматической сортировки и определения качества растительного сырья в пищевой промышленности.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019-00011 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 08.10.2021

Accepted in revised 12.11.2021

Accepted for publication 25.11.2021

© Fedyanina, N. I., Karastoyanova, O. V., Korovkina, N. V., 2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

METHODS FOR DETERMINING COLOR CHARACTERISTICS OF PLANT RAW MATERIALS. A REVIEW

Natalia I. Fedyanina*, Olga V. Karastoyanova, Nadezhda V. Korovkina

Russian Research Institute of Canning Technology Vidnoe, Moscow region, Russia

KEY WORDS:

color, methods for determining color, plant raw materials, quality, computer vision

ABSTRACT

Food product quality defines a complex of food product properties such size, shape, texture, color and others, and determines acceptability of these products for consumers. It is possible to detect defects in plant raw materials by color and classify them by color characteristics, texture, shape, a degree of maturity and so on. Currently, the work on modernization of color control systems has been carried out for rapid and objective measuring information about color of plant raw materials during their harvesting, processing and storage. The aim of the work is to analyze existing methods for determining color characteristics of plant raw materials described in foreign and domestic studies. Also, this paper presents the results of the experimental studies that describe the practical use of methods for measuring food product color. At present, the following methods for determining color characteristics by the sensor analysis principle are used: sensory, spectrophotometric and photometric. These methods have several disadvantages. Therefore, computer vision has found wide application as an automated method for food control. It is distinguished by high confidence and reliability in the process of determining freshness, safety, a degree of maturity and other parameters of plant raw materials that are heterogeneous in terms of the above-mentioned indicators. The computer vision method is realized in the following systems: conventional, hyper-spectral and multispectral. Each subsequent system is a component of the preceding one. Materials presented in the paper allow making a conclusion about the effectiveness of the computer vision systems with the aim of automatic sorting and determining quality of plant raw materials in the food industry.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019-00011 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Федянина, Н. И., Карастоянова, О. В., Коровкина, Н. В. (2021). Методы определения цветовых характеристик растительного сырья. Обзор. *Пищевые системы*, 4(4), 230-238. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-230-238>

FOR CITATION: Fedyanina, N. I., Karastoyanova, O. V., Korovkina, N. V. (2021). Methods for determining color characteristics of vegetable raw materials. A review. *Food systems*, 4(4), 230-238. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-230-238>

1. Введение

Качество пищевых продуктов является динамической, комплексной характеристикой, которая определяет степень приемлемости продуктов для потребителя, и постепенно ухудшается в процессе их хранения. Провести анализ качества возможно при изменении одного или нескольких подающихся количественному определению показателей. Наиболее значимым качественным показателем, влияющим на выбор потребителя, является внешний вид продукта. Этот всеобъемлющий термин включает размер, форму, текстуру, массу, блеск, цвет и другие показатели. Цвет поверхности пищевых продуктов является главенствующим параметром качества, оцениваемым потребителями и имеет решающее значение при выборе продукта. Этот показатель можно соотносить с другими качественными признаками, такими как сенсорные, питательные и визуальные или не визуальные дефекты.

Цвет фруктов, овощей и грибов регулируется химическими, биохимическими, микробными и физическими изменениями, которые происходят в процессе роста, созревания, обработки и переработки грибов и растений после сбора урожая. Цвет проявляется за счет натуральных пигментов, придающих окраску растительному сырью: к ним относятся жирорастворимые хлорофиллы (зеленый), каротиноиды (желтый, оранжевый и красный), водорастворимые антоцианы (красный, синий), флавоноиды (желтый) и беталаины (красный) [1]. Цветовые признаки можно использовать для выявления дефектов в пищевых продуктах [2–5], классификации продуктов по цвету [6–10], текстуре [11–13], размеру [14,15], форме [16–18], степени зрелости [6,11,19,22–27].

В связи с повышением требований потребителей к качеству пищевых продуктов было приложено немало усилий для измерения и контроля цвета продукции. Следовательно, очень важно разработать эффективные системы контроля цвета для быстрого и объективного измерения информации о цвете растительного сырья во время операций обработки и периодов хранения. Для современного пищевого производства, в связи с увеличением объемов выпускаемой продукции и ужесточением допусков по качеству, использование автоматических методов измерения и контроля цвета необходимо [28].

Цвет — это показатель субъективного восприятия, который зависит от потребителя и определенных внешних условий. Это характеристика света, которая измерима с точки зрения интенсивности и длины волны. Цвет продукта становится видимым только тогда, когда свет от источника освещает или ударяется о поверхность объекта.

2. Материалы и методы

Форма проведения исследований представляет собой выполнение систематического обзора, анализ и обобщение современных научно-исследовательских работ, где объектами анализа являются существующие способы определения характеристик цвета продуктов растительного происхождения. Ключевыми критериями включения научно-исследовательских работ являются:

1. Соответствие литературных источников теме систематического обзора по способам определения цветовых характеристик растительных объектов;
2. Публикации оригинальных исследований в рецензируемых журналах, книгах, а также обсуждаемость данных исследований на научных конференциях и так далее.

Отбор актуальных научно-исследовательских работ, опубликованных в промежутке времени с 2002 по 2021 г., проводили в отечественных и зарубежных электронных ба-

зах данных: Web of Science, Scopus, Научной электронной библиотеки РФ (elibrary.ru), Российской государственной библиотеки.

Подробный анализ каждой отобранной научно-исследовательской работы осуществляли на основе соответствия цели и задач представленного обзора, а также по критериям включения. Из каждой публикации были взяты следующие сведения: автор(ы), год публикации, страна, цель и задачи исследования, методология проведенного эксперимента и его результаты.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Визуальные методы измерения

Человеческий глаз различает цвета в соответствии с чувствительностью различных фоторецепторных клеток — колбочек, палочек и их соотношения. Палочки обеспечивают сумеречное зрение (в темноте), колбочки служат для цветового восприятия, активируются при достаточно интенсивном освещении с разной длиной волны. Существует три типа цветных фоторецепторных клеток (колбочек) для человека с пиками чувствительности: короткими — 420–440 нм (голубоватыми), средними — 530–540 нм (зеленоватыми) и длинными — 560–580 нм (красноватыми) длинами волн [29]. Цвет воспринимается человеческим глазом благодаря трем цветовым компонентам. Эти компоненты называются трехцветными значениями, представленными тремя типами колбочек в зависимости от степени их стимуляции [28]. Качественная визуальная оценка выполняется для многих операций в существующих системах контроля цвета пищевых продуктов. Процесс осуществляют эксперты дегустационной комиссии с помощью эталонных материалов (атласов цветов), шкал (измерительной, восприятия, гедонической), а также нормативной документации на исследуемую продукцию. Качественная визуальная оценка проводится в условиях, соответствующих требованиям принятых стандартов. В результате визуального измерения получается конкретное описание цветовых характеристик продукта. Данный способ определения цветовых характеристик является субъективным, нестабильным в связи с трудоемкостью и утомительностью процесса, который зависит от многих факторов: сенсорной адаптации испытателей, геометрических условий освещения и обозрения и др. [28]. Примеры исследований с использованием человеческого зрения представлены в работах [30,31].

3.2. Традиционные инструментальные методы измерения

Объективные подходы к измерению и выражению цвета с помощью инструментального оснащения помогут минимизировать проблемы недостаточно точного и объективного определения цветовых характеристик [32]. В случае инструментального измерения цвет выражается посредством цветовых координат с помощью колориметров, спектрофотометров и спектрорадиометров. Такие традиционные инструменты широко используются в пищевой промышленности для измерения цвета [33]. При заданном освещении эти инструменты обеспечивают количественное измерение, моделируя способ, которым человеческий глаз видит цвет объекта.

Колориметры, такие как хроматометр Minolta, колориметр Hunter Lab, колориметр Dr. Lange и др., используются для измерения цвета первичных источников излучения, излучающих световые волны, и вторичных источников излучения, отражающих или пропускающих внешний свет [34,35]. Следовательно, количественное описание измеряемого цвета получается в трехмерной системе координат (например $X, Y, Z; L^*, a^*, b^*$), полностью определяющей цвет любой точки исследуемого объекта. Измерение выполня-

ется быстро и просто. Калибровку прибора, в соответствии с руководством по эксплуатации, проводят перед началом измерений и осуществляют с помощью черной и белой калибровочных пластин.

Спектрофотометры используются для определения спектральной зависимости степени поглощения, пропускания, оптической плотности и концентрации исследуемого образца за счет воздействия различных видов электромагнитного излучения (видимого, ультрафиолетового, инфракрасного). Методы спектрометрии предусматривают спектральный анализ состава объектов исследования с помощью отраженного или прошедшего через образцы объектов электромагнитного излучения в оптическом диапазоне по их способности отражать (поглощать) различные длины волн. С этой целью осуществляется сравнение двух фотопотоков оптического излучения: падающего на образец и прошедшего или отраженного от образца. Значения X, Y, Z вычисляются в зависимости от источника света и геометрии измерения [35].

Спектрорадиометры применяются для измерения радиометрических величин, таких как длина волны и амплитуда световых колебаний от источника света [36]. Данные приборы различают длину волны в зависимости от положения, в котором свет попадает на матрицу детекторов, что позволяет получить полный спектр за одно определение. С помощью программного обеспечения представляется возможным определение следующих показаний: освещенности, яркости, светового потока, цветности, цветовой температуры, пика и доминирующей длины волны [37–39].

Традиционные инструментальные методы измерения имеют некоторые недостатки при определении цветовых характеристик растительного сырья. Например, потому, что они позволяют определять только небольшую и вместе с тем однородную поверхность образца. Место отбора проб и количество измерений для получения точного среднего цвета являются наиболее важными моментами для традиционных инструментальных измерений [33]. В том случае, если поверхность образца имеет неоднородный цвет, измерение необходимо повторить так, чтобы охватить всю исследуемую поверхность, и даже тогда получить адекватную картину распределения цвета достаточно сложно. Однако такое измерение довольно нерепрезентативно, что затрудняет общий анализ поверхности исследуемого объекта. Параметры размера и формы исследуемых образцов, в связи со своей неоднородностью, также можно отнести к проблемам, стоящим на пути определения цветовых характеристик. Если размер образца слишком мал для заполнения окна образца (предположим, это рисовое зерно) или форма измеряемой области не круглая (например, у жимолости), цветовые измерения растительного сырья могут быть недостаточно точными.

Традиционные инструментальные измерения непригодны для получения подробной характеристики и точной оценки качества исследуемых образцов в связи с трудоемкостью, изменчивостью, субъективностью, возможным нарушением в последовательности определений. Вместе с тем ручной процесс определения цвета очень утомительный, дорогостоящий и находится в прямой зависимости от внешних условий среды. Это, в свою очередь, привело к потребности в разработке автоматического процесса измерения цветовых характеристик на основе анализа изображений исследуемых объектов. Выполнимость данной задачи обеспечивается за счет применения компьютерного зрения.

3.3. Компьютерное зрение

Компьютерное зрение — это инженерная технология, с помощью которой представляется возможной разработка теоретических и алгоритмических основ для автоматиче-

ского извлечения и анализа эффективной информации об исследуемом объекте из наблюдаемого изображения, набора изображений или последовательности изображений. Этот метод соединяет электромагнитное зондирование, механику, оптические приборы, цифровые технологии обработки видео и изображений [40]. Компьютерное зрение как способ проверки и анализа путем электронного восприятия и оценки изображения имеет явные преимущества, так как является наиболее быстрым, последовательным, объективным и экономичным. В этом случае цвет — это элементарная информация, хранящаяся в пикселях цифрового изображения. Компьютерное зрение извлекает количественную информацию о цвете из цифровых изображений с помощью их обработки и анализа, в результате чего осуществляется быстрое и бесконтактное измерение цветовых характеристик [41].

В связи со стремительным развитием информационных технологий в последние годы компьютерное зрение применяется для объективного измерения цвета, распознавания и интерпретации внешних признаков пищевых продуктов, таких как форма, размер, качество и др. [19,20, 41–61].

Существенная разница между компьютерным зрением и традиционными способами оценки цветовых характеристик заключается в количестве предоставляемой пространственной информации. Высокое пространственное разрешение изображений позволяет системам компьютерного зрения анализировать каждый пиксель всей поверхности, вычислять среднее и стандартное отклонение цвета, выделять и определять внешний вид, измерять неоднородные формы и цвета, выбирать интересующую область, а также анализировать более одного объекта при обеспечении постоянной записи и сохранения изображений [33,34].

Цифровое изображение получается путем попадания света на частично отражающую поверхность в видимом спектре, при этом рассеянные фотоны собираются в объективе камеры, преобразуются в электрические сигналы с помощью вакуумной трубки либо с помощью захвата изображений (зарядовой связью) и сохраняются на жестком диске для дальнейшего просмотра и анализа изображения. Получение изображений и их анализ — два важных шага в применении компьютерного зрения. Первый требует скрупулезного проектирования системы захвата изображений и аккуратного обращения для получения цифровых изображений высокого качества, а анализ изображений включает в себя многочисленные алгоритмы и методы, доступные для классификации и измерения.

Самая распространенная система компьютерного зрения по внешнему осмотру — это традиционная, которая основана на использовании цветных видеокамер RGB, имитирующих зрение человеческих глаз с помощью захвата изображений и использования трех фильтров с центром в красном (R, 700,0 нм), зеленом (G, 546,1 нм) и синем (B, 435,8 нм) диапазоне длин волн [20–22,61,62]. Внешние качественные характеристики, такие как цвет, текстура, размер, форма и дефекты растительных объектов, могут быть измерены или обнаружены с помощью данной системы компьютерного зрения. Однако некоторые невидимые дефекты достаточно сложно обнаружить с помощью традиционной системы компьютерного зрения из-за отсутствия спектральной и многокомпонентной информации в получаемых цветных изображениях. С этой целью были разработаны мультиспектральные и гиперспектральные системы компьютерного зрения как эффективные инструменты контроля качества и безопасности различных сельскохозяйственных продуктов за счет использования камер с высоким разрешением, устройств с дисперсией по длине волны, последних достижений в аппаратном и программном обеспечении компьютеров.

Стандартное спектральное изображение состоит из набора монохроматических изображений, соответствующих определенным длинам волн. Цифровое монохромное изображение — это двумерная (2-D) функция интенсивности света от $I(x, y)$. Интенсивность I , известная как уровень серого, в пространственных координатах (x, y) имеет пропорциональную зависимость от лучистой энергии, полученной датчиком или детектором в небольшой области вокруг точки (x, y) [28].

Гиперспектральные и многоспектральные системы компьютерного зрения имеют значительные преимущества по сравнению с традиционным компьютерным зрением. Они позволяют извлекать или обнаруживать особенности внешнего вида, которые достаточно сложно определить (к ним относятся ушибы, следы от переохладений и некоторые другие неочевидные дефекты) [28,43,63,64].

В отличие от традиционной системы компьютерного зрения, гиперспектральная система объединяет спектроскопические методы и методы визуализации в одну систему для получения набора монохроматических изображений на почти непрерывных сотнях тысяч длин волн. Следовательно, интегрированная система может предоставлять пространственную информацию, аналогичную обычной системе визуализации, наряду со спектральной информацией, такой же, как у спектроскопических устройств для каждого пикселя пространственного изображения. Структура данных гиперспектрального изображения обычно называется гиперкубом или кубом данных, и ее можно рассматривать, например, как последовательность двумерных изображений с разной длиной волны. Широко используемые методы для получения куба гиперспектрального изображения — точечное сканирование, линейное сканирование и сканирование по площади (Рисунок 1).

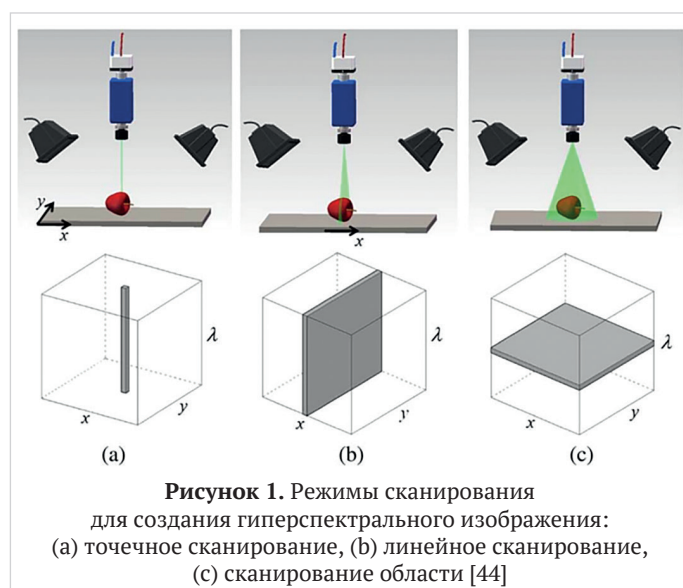


Рисунок 1. Режимы сканирования

для создания гиперспектрального изображения:

- (a) точечное сканирование, (b) линейное сканирование, (c) сканирование области [44]

Одним из преимуществ гиперспектральной системы компьютерного зрения является обширная информация, содержащаяся в получаемых изображениях. Информация о спектре обычных изображений формата RGB очень ограничена в сравнении с гиперспектральными изображениями, которые содержат сотни тысяч монохроматических изображений в спектральной области. Неочевидные символы внешнего качества, такие как гниль, ранние синяки и другие дефекты, могут быть четкими и легко обнаруживаемыми на одном или нескольких монохроматических изображениях.

Вместе с тем с многочисленностью информации связаны такие недостатки, как продолжительность получения изображений, а также сложность их обработки и анализа. В связи с этим гиперспектральная система компьютерного

зрения в большинстве случаев используется с целью получения изображений с высоким пространственным и спектральным разрешением. Это применяется для осуществления фундаментальных исследований, таких как выбор наиболее эффективных длин волн для разработки мультиспектрального компьютерного зрения, и системы контроля качества растительных объектов в режиме реального времени.

Многоспектральная система компьютерного зрения отличается от гиперспектральной количеством монохроматических изображений в спектральной области. Мультиспектральная система компьютерного зрения — это форма визуализации, которая включает в себя захват двух или более монохроматических изображений с разными диапазонами длин волн в спектре с помощью мультиспектральной камеры. Традиционная камера RGB может рассматриваться как частный случай многоспектральной системы построения изображений. Однако, в отличие от обычной цифровой камеры, улавливающей свет определенной частоты, падающий на детектор, мультиспектральная система компьютерного зрения позволяет захватывать два или более определенных монохроматических изображения в одном диапазоне с помощью узкополосных фильтров [2,65].

В большинстве случаев при исследовании качества поверхностных характеристик растительного сырья гиперспектральная система компьютерного зрения используется с целью фундаментальных исследований, а также выбора наиболее эффективных длин волн для обнаружения качественных признаков, неочевидных на изображениях RGB. После этого целесообразно использование многоспектральной системы компьютерного зрения со специальными фильтрами, которые регистрируют излучение на эффективных длинах волн для выполнения контроля исследуемых объектов в режиме реального времени. Однако данная система компьютерного зрения имеет ряд недостатков, которые заключаются в высокой стоимости самих мультиспектральных камер; дорогостоящей программе обеспечения; искажении и смещении изображений, возникающих из-за искажения объектива камеры; необходимости обладания навыками работы с камерой и получаемыми данными; многократной проверке, калибровке и отлаживании и т. д.

Определение цветовых характеристик с использованием систем компьютерного зрения имеет следующие преимущества [28,43]:

- ❑ Скорость, точность, объективность, эффективность и последовательность измерения цветовых данных без предварительной обработки образцов;
- ❑ Возможность обеспечения высокого пространственного разрешения, анализа каждого отдельного пикселя поверхности растительного сырья, извлечения большого количества цветовых характеристик с помощью пространственной информации, анализа всей поверхности исследуемого объекта (даже в том случае, если он имеет небольшую или неправильную форму и неоднородный цвет), а также выбор интересующей области объекта;
- ❑ Автоматизация многочисленных трудоемких операций: сокращение рутинного и субъективного визуального анализа;
- ❑ Возможность быстрого получения воспроизводимых результатов и долгосрочного хранения цветовых данных для последующего анализа с сохранением изображения. Однако система компьютерного зрения имеет некоторые недостатки [28,33,43]:
- ❑ Проблемы, связанные со сложностью отделения исследуемого объекта от фона и возникающие из-за перекрывания этого объекта другими; трудность заключается также в необходимости оценивать объект с нескольких сторон;

- Необходимость тщательной калибровки и настройки камеры, а также наличие постоянного и достаточно яркого освещения (например, фотобокс, в котором контролируются интенсивность, спектр и направление света);

- Возможное изменение интенсивности и спектра источника освещения с течением времени.

Примеры использования систем компьютерного зрения в пищевой промышленности с целью определения цветовых характеристик, степени зрелости, свежести, приемлемости, желательности, безопасности, наличия дефектов растительных объектов:

В статье [65] описана автоматизированная система сортировки одно- и двухцветных яблок, включающая следующие этапы: сегментация дефектной области, выделение признаков и классификация.

В работе [20] описан алгоритм автоматического обнаружения томатов путем анализа их цветных изображений, который позволяет уменьшить влияние освещения, цветового сходства, а также подавить эффект наложения объектов. В этом методе используется машина опорных векторов с гистограммами ориентированных градиентов для обнаружения томатов с последующим анализом цвета для удаления ложноположительных результатов, а также метод немаксимального подавления для объединения результатов обнаружения.

С целью автоматического выявления и классификации болезней цитрусовых на примере мандаринов сорта Kinnow в работе [52] представлен метод, описывающий алгоритм цветового различия для разделения пораженной болезнью области, далее цветовая гистограмма и текстурные особенности использовались для классификации болезней. Данный способ отличается точностью 99,9% и аналогичной чувствительностью.

Исследовано сочетание цветных и тепловых изображений для эффективного обнаружения незрелых зеленых цитрусовых в работе [19]. Был разработан метод совмещения цветных и тепловых изображений и сопоставления представленных на них фруктов, который достиг точности на уровне пикселей. Был создан новый алгоритм сочетания вероятности цвета и температуры для эффективного объединения информации из полученных изображений с целью классификации потенциальных областей изображения на растения с плодами и без. Также были разработаны алгоритмы для интеграции регистрации изображений, объединения информации, классификации и обнаружения фруктов в один этап для обработки в реальном времени с точностью определений 95,5%.

В статье [48] описан метод анализа и оптимизации изображений лиофилизированных шампиньонов с использованием программного обеспечения Photoshop в сочетании с генетическим алгоритмом. Выявлены их цветовые ха-

рактеристики (L^* , a^* , b^* , изменение цвета, оттенка и насыщенности). Разработаны математические модели для определения продолжительности сушки и условий обработки продукта до желаемого цвета.

Исследование изменения цветовых характеристик (цветовое различие, индекс потемнения) шампиньонов в процессе хранения с использованием модифицированной атмосферы (упаковка с высоким содержанием азота, с низким содержанием углекислого газа и с низким содержанием кислорода) с применением компьютерного зрения освещено в работе [46].

Качество гроздей свежих плодов масличной пальмы определяли по степени зрелости на основе цвета кожуры плода автоматически с помощью систем машинного зрения [22]. Предлагаемый метод основан на определении цветовых и текстурных особенностей с целью классификации признаков плодов (сырые, спелые, полуспелые). Результаты показали эффективность описанного метода с точностью 98,3%.

4. Заключение

Существует несколько способов определения цветовых характеристик по принципу сенсорного анализа:

- органолептический;
- спектрофотометрический;
- фотометрический.

Однако эти методы имеют некоторые недостатки. Так, например, первый способ является грубым, второй имеет ограниченную применимость (исследуемый объект должен иметь однородную среду), а последний — ограниченную площадь поверхности определения.

В качестве автоматизированного метода контроля пищевых продуктов широкое применение нашло компьютерное зрение. Данный способ является наиболее эффективным и надежным для измерения цвета, формы, размера, дефектов, степени зрелости и т. д., с возможностью анализа образцов пищевых продуктов с неоднородными цветом, формой и поверхностью. На основе комбинации этих характеристик компьютерное зрение дает возможность создания программ контроля для автоматической сортировки и определения качества растительного сырья, а также находит свое применение на предприятиях с высокой производительностью и точностью измерения; наряду с этим такой метод позволит специалистам, работающим на производстве, сосредоточиться на более значимых и квалифицированных работах, вместо того чтобы выполнять утомительные, трудоемкие задачи.

Тем не менее остается достаточное количество проблем для разработки системы компьютерного зрения, которая обладает гибкостью и адаптируемостью для обработки растительных объектов, поэтому требуются дальнейшие углубленные исследования в этой области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Barrett, D. M., Beaulieu, J.C., Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369–389. <https://doi.org/10.1080/10408391003626322>
2. Lunadei, L., Galleguillos, P., Diezma, B., Lleó, L., Ruiz-Garcia, L. (2011). A multispectral vision system to evaluate enzymatic browning in fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology*, 60(3), 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.02.001>
3. Bhargava, A., Bansal, A. (2020). Quality evaluation of Mono and bi-Colored Apples with computer vision and multispectral imaging. *Multimedia Tools and Applications*, 79(11–12), 7857–7874. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08564-3>
4. Li, J., Rao, X., Wang, F., Wu, W., Ying, Y. (2013). Automatic detection of common surface defects on oranges using combined lighting transform and image ratio methods. *Postharvest Biology and Technology*, 82, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.016>
5. Li, J., Rao, X., Ying, Y. (2011). Detection of common defects on oranges using hyperspectral reflectance imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 78(1), 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.05.010>
6. Leemans, V., Magein, H., Destain, M.-F. (2002). On-line fruit grading according to their external quality using machine vision. *Biosystems Engineering*, 83(4), 397–404. <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0131>
7. Kurita, M., Kondo, N., Yoshimaru, H., Ninomiya, K. (2006). Extraction methods of color and shape features for tomato grading. *Shokubutsu Kankyo Kogaku*, 18(2), 145–153. <https://doi.org/10.2525/shita.18.145>

8. Dhakshina Kumar, S., Esakkirajan, S., Bama, S., Keerthiveena, B. (2020). A microcontroller based machine vision approach for tomato grading and sorting using SVM classifier. *Microprocessors and Microsystems*, 76, Article 103090. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103090>
9. Luna-Benoso, B., Martínez-Perales, J. C., Cortés-Galicia, J., Flores-Carapia, R., Silva-García, V. M. (2021). Detection of diseases in tomato leaves by color analysis. *Electronics*, 10(9), Article 1055. <https://doi.org/10.3390/electronics10091055>
10. Maldonado, W., Barbosa, J. C. (2016). Automatic green fruit counting in orange trees using digital images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 572–581. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.023>
11. Mendoza, F., Aguilera, J.M. (2006). Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of Food Science*, 69(9), E471–E477. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09932.x>
12. Zhang, Y., Wu, L. (2012). Classification of fruits using computer vision and a multiclass support vector machine. *Sensors*, 12(9), 12489–12505. <https://doi.org/10.3390/s120912489>
13. Fan, F. H., Ma, Q., Ge, J., Peng, Q. Y., Riley, W. W., Tang, S. Z. (2013). Prediction of texture characteristics from extrusion food surface images using a computer vision system and artificial neural networks. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.015>
14. Al Ohali, Y. (2011). Computer vision based date fruit grading system: Design and implementation. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 23(1), 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2010.05.003>
15. Hasankhani, R., Navid, H. (2012). Potato sorting based on size and color in machine vision system. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), Article 235. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n5p235>
16. Costa, C., Menesatti, P., Paglia, G., Pallottino, F., Aguzzi, J., Rimatori, V. et al. (2009). Quantitative evaluation of tarocco sweet orange fruit shape using optoelectronic elliptic fourier based analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 54(1), 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.001>
17. ElMasry, G., Cubero, S., Moltó, E., Blasco, J. (2012). In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 112 (1–2), 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.027>
18. Kheiralipour, K., Pormah, A. (2017). Introducing new shape features for classification of cucumber fruit based on image processing technique and artificial neural networks. *Journal of Food Process Engineering*, 40(6), Article e12558. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12558>
19. Gan, H., Lee, W.S., Alchanatis, V., Ehsani, R., Schueller, J.K. (2018). Immature green citrus fruit detection using color and thermal images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.011>
20. Liu, G., Mao, S., Jin, H., Kim, J.H. (22–24 February 2019). A Robust mature tomato detection in greenhouse scenes using machine learning and color analysis. Proceedings of the 11th International Conference on Machine Learning and Computing – ICMLC, Zhuhai. <https://doi.org/10.1145/3318299.3318358>
21. Lana, M. M., Tijskens, L. M. M., Van Kooten, O. (2005). Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 35(1), 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.07.001>
22. Septiarni, A., Sunyoto, A., Hamdani, H., Kasim, A.A., Utamingrum, F., Hatta, H.R. (2021). Machine vision for the maturity classification of oil palm fresh fruit bunches based on color and texture features. *Scientia Horticulturae*, 286, Article 110245. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110245>
23. Lal, S., Behera, S. K., Sethy, P. K., Rath, A. K. (4–5 May 2017). Identification and counting of mature apple fruit based on BP feed forward neural network. Proceedings of 2017 3rd IEEE International Conference on Sensing, Signal Processing and Security, ICSSS2017, Article 8071621. Chennai, Tamil Nadu. <https://doi.org/10.1109/ssps.2017.8071621>
24. Ayllon, M. A., Cruz, M. J., Mendoza, J. J., Tomas, M. C. (18–20 October 2019). Detection of overall fruit maturity of local fruits using convolutional neural networks through image processing. Proceedings of the 2nd International Conference on Computing and Big Data – ICCBD2019. <https://doi.org/10.1145/3366650.3366681>
25. Mazen, F. M. A., Nashat, A. A. (2019). Ripeness classification of bananas using an artificial neural network. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(8), 6901–6910. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-03695-5>
26. Peter, A., Abdulkadir, S. (2–4 February, 2018). Application of image processing and neural networks in determining the readiness of maize. Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Learning and Soft Computing – ICMLSC '18, Phu Quoc, Island. <https://doi.org/10.1145/3184066.3184068>
27. Harel, B., Parmet, Y., Edan, Y. (2020). Maturity classification of sweet peppers using image datasets acquired in different times. *Computers in Industry*, 121, Article 103274. <https://doi.org/10.1016/j.combind.2020.103274>
28. Wu, D., Sun, D.-W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control – A review. *Trends in Food Science and Technology*, 29(1), 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>
29. Hunt, R.W.G. (2005). The reproduction of colour. John Wiley & Sons, 2005.
30. Петрова, Л.А., Климова, Д.О. (2013). Оценка качества свежих грибов и сроки хранения. *Вестник ОрелГИЭТ*, 2(24), 166–170.
31. Мухутдинова, С.М. (2006). Органолептическая оценка качества плодового тела белого гриба. *Современные наукоёмкие технологии*. 2, 67–69.
32. Lee, H. S. (2000). Objective measurement of red grapefruit juice color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1507–1511. <https://doi.org/10.1021/jf9907236>
33. Balaban, M.O., Odabasi, A. Z. (2006). Measuring color with machine vision. *Food Technology*, 60(12), 32–36.
34. Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084–1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
35. Семенова, А. В., Морозова, А. А. (2021). Оценка качественных показателей картофеля для промышленной переработки. *Пищевые системы*, 4(3S), 261–265. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-261-265>
36. Melendez-Martinez, A.J., Vicario, I.M., Heredia, F.J. (2005). Instrumental measurement of orange juice colour: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 894–901. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2115>
37. Wu, D., Chen, X.J., Shi, P.Y., Wang, S.H., Feng, F.Q., He, Y. (2009). Determination of α -linolenic acid and linoleic acid in edible oils using near-infrared spectroscopy improved by wavelet transform and uninformative variable elimination. *Analytica Chimica Acta*, 634(2), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.12.024>
38. Wu, D., He, Y., Nie, P. C., Cao, F., Bao, Y.D. (2010). Short-wave near-infrared spectroscopy analysis of major compounds in milk powder and wavelength assignment. *Analytica Chimica Acta*, 610(2), 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.01.056>
39. Wu, D., He, Y., Nie, P. C., Cao, F., Bao, Y.D. (2010). Hybrid variable selection in visible and near-infrared spectral analysis for non-invasive quality determination of grape juice. *Analytica Chimica Acta*, 659(1–2), 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.11.045>
40. Patel, K. K., Kar, A., Jha, S. N., Khan, M. A. (2011). Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. *Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 123–141. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0321-4>
41. Lin, X. Sun, D.-W. (2019). Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus Bisporus*): Affecting factors and controlling methods. *Trends in Food Science and Technology*, 90, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.007>
42. Lu, Y., Zhang, J., Wang, X., Lin, Q., Liu, W., Xie, X. et al. (2016). Effects of UV-C irradiation on the physiological and antioxidant responses of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(6), 1502–1508. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15100>
43. Zhang, K., Pu, Y.-Y., Sun, D.-W. (2018). Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.012>
44. Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M. A. Niakousari, M. (2019). Efficiency of Tragacanth gum coating enriched with two different essential oils for deceleration of enzymatic browning and senescence of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Science and Nutrition*, 7(4), 1520–1528. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1000>
45. Huang, Q., Qian, X., Jiang, T., Zheng, X. (2019). Effect of chitosan and guar gum based composite edible coating on quality of mushroom (*Lentinus edodes*) during postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, 253, 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.062>
46. Djekic, I., Vunduk, J., Tomašević, I., Kozarski, M., Petrovic, P., Niksic, M. et al. (2016). Total quality index of *Agaricus bisporus* mushrooms packed in modified atmosphere. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 3013–3021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8142>
47. Wang, H., Cui, G., Luo, M.R., Xu, H. (2011). Evaluation of colour-difference formulae for different colour-difference magnitudes. *Color Research and Application*, 37(5), 316–325. <https://doi.org/10.1002/col.20693>
48. Tarafdar, A., Shahi, N.C., Singh, A. (2020). Color assessment of freeze-dried mushrooms using Photoshop and optimization with genetic algorithm. *Journal of Food Process Engineering*, 43(1), Article e12920. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12920>
49. Nakilcioğlu-Taş, E., Ötleş, S. (2020). Kinetics of colour and texture changes of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) coated with chitosan during storage at low temperature. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 92(2), Article e20181387, 1–15. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181387>
50. Song, Y., Hu, Q., Wu, Y., Pei, F., Kimatu, B.M., Su, A. et al. (2018). Storage time assessment and shelf-life prediction models for postharvest *Agaricus bisporus*. *LWT*, 101, 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.020>
51. Pathare, P.B., Opara, U.L., Al-Said, F.A.-J. (2012). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
52. Ali, H., Lali, M.I., Nawaz, M.Z., Sharif, M., Saleem, B.A. (2017). Symptom based automated detection of citrus diseases using color histogram and textural descriptors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.008>

53. Bhange, M., Hingoliwala, H.A. (2015). Smart farming: Pomegranate disease detection using image processing. *Procedia Computer Science*, 58, 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.022>
54. Лисицын, А.Б., Козырев, И.В. (2016). Исследование цветowych характеристик мышечной и жировой тканей и мраморности говядины. *Теория и практика переработки мяса*. 1(4), 51–56. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-4-51-56>
55. Tomasevic, I.B. (2018). Computer vision system for color measurements of meat and meat products: A Review. *Theory and practice of meat processing*, 3(4), 4–15. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-5-4-4-15>
56. Насонова, В.В., Туниева, Е.К., Мотовилина, А.А., Милеенкова Е. В. (2020). Изменение цветowych характеристик кулинарных изделий из мяса индейки, изготовленных с применением низкотемпературной тепловой обработки. *Все о мясе*, 5, 22–24. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5-22-24>
57. Zhang, Y., Wang, S., Ji, G., Phillips, P. (2014). Fruit classification using computer vision and feedforward neural network. *Journal of Food Engineering*, 143, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.001>
58. Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J. et al. (2014). Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International*, 62, 326–343. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.012>
59. Smys S., Tavares J. M. R. S., Balas V. E., Iiyasu A. M. (September 25–26, 2019). Computational vision and bio-inspired computing. International Conference: Advances in Intelligent Systems and Computing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37218-7>
60. Sabzi, S., Abbaspour-Gilandeh, Y., García-Mateos, G. (2018). A new approach for visual identification of orange varieties using neural networks and metaheuristic algorithms. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.002>
61. Kwoopnaan Tetu, V.L., Olatubosun, A., Ovey, O. C. (10–12 December 2019). *The application of digital image processing in extracting the image features in maize samples that aid learning and classification*. 15th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), Abuja. Article 9043259. <https://doi.org/10.1109/ICECCO48375.2019.9043259>
62. Lorente, D., Aleixos, N., Gomez-Sanchis, J., Cubero, S., Garcia-Navarrete, O. L., Blasco, J. (2011). Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), 1121–1142. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0725-1>
63. Khan, S., Narvekar, M. (2020). Novel fusion of color balancing and superpixel based approach for detection of tomato plant diseases in natural complex environment. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.09.006> (unpublished data)
64. Yogesh, Dubey, A. K., Ratan, R., Rocha, A. (2019). Computer vision based analysis and detection of defects in fruits causes due to nutrients deficiency. *Cluster Computing*, 23(3), 1817–1826. <https://doi.org/10.1007/s10586-019-03029-6>
65. Bhargava, A., Bansal, A. (2020). Quality evaluation of Mono & bi-Colored Apples with computer vision and multispectral imaging. *Multimedia Tools and Applications*, 79 (11–12), 7857–7874. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08564-3>

REFERENCES

1. Barrett, D. M., Beaulieu, J.C., Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369–389. <https://doi.org/10.1080/10408391003626322>
2. Lunadei, L., Galleguillos, P., Diezma, B., Lleó, L., Ruiz-Garcia, L. (2011). A multispectral vision system to evaluate enzymatic browning in fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology*, 60(3), 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.02.001>
3. Bhargava, A., Bansal, A. (2020). Quality evaluation of Mono and bi-Colored Apples with computer vision and multispectral imaging. *Multimedia Tools and Applications*, 79(11–12), 7857–7874. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08564-3>
4. Li, J., Rao, X., Wang, F., Wu, W., Ying, Y. (2015). Automatic detection of common surface defects on oranges using combined lighting transform and image ratio methods. *Postharvest Biology and Technology*, 82, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.016>
5. Li, J., Rao, X., Ying, Y. (2011). Detection of common defects on oranges using hyperspectral reflectance imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 78(1), 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.05.010>
6. Leemans, V., Magein, H., Destain, M.-F. (2002). On-line fruit grading according to their external quality using machine vision. *Biosystems Engineering*, 83(4), 397–404. <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0131>
7. Kurita, M., Kondo, N., Yoshimaru, H., Ninomiya, K. (2006). Extraction methods of color and shape features for tomato grading. *Shokubutsu Kanryo Kogaku*, 18(2), 145–155. <https://doi.org/10.2525/shita.18.145>
8. Dhakshina Kumar, S., Esakirajan, S., Bama, S., Keerthiveena, B. (2020). A microcontroller based machine vision approach for tomato grading and sorting using SVM classifier. *Microprocessors and Microsystems*, 76, Article 103090. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103090>
9. Luna-Benoso, B., Martínez-Perales, J. C., Cortés-Galicia, J., Flores-Carapia, R., Silva-García, V. M. (2021). Detection of diseases in tomato leaves by color analysis. *Electronics*, 10(9), Article 1055. <https://doi.org/10.3390/electronics10091055>
10. Maldonado, W., Barbosa, J. C. (2016). Automatic green fruit counting in orange trees using digital images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 572–581. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.025>
11. Mendoza, F., Aguilera, J.M. (2006). Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of Food Science*, 69(9), E471–E477. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09932.x>
12. Zhang, Y., Wu, L. (2012). Classification of fruits using computer vision and a multiclass support vector machine. *Sensors*, 12(9), 12489–12505. <https://doi.org/10.3390/s120912489>
13. Fan, F. H., Ma, Q., Ge, J., Peng, Q. Y., Riley, W. W., Tang, S. Z. (2013). Prediction of texture characteristics from extrusion food surface images using a computer vision system and artificial neural networks. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.015>
14. Al Ohali, Y. (2011). Computer vision based date fruit grading system: Design and implementation. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 23(1), 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2010.03.003>
15. Hasankhani, R., Navid, H. (2012). Potato sorting based on size and color in machine vision system. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), Article 235. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n5p235>
16. Costa, C., Menesatti, P., Paglia, G., Pallottino, F., Aguzzi, J., Rimatori, V. et al. (2009). Quantitative evaluation of tarocco sweet orange fruit shape using optoelectronic elliptic fourier based analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 54(1), 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.001>
17. ElMasry, G., Cubero, S., Moltó, E., Blasco, J. (2012). In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 112 (1–2), 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.027>
18. Kheiralipour, K., Pormah, A. (2017). Introducing new shape features for classification of cucumber fruit based on image processing technique and artificial neural networks. *Journal of Food Process Engineering*, 40(6), Article e12558. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12558>
19. Gan, H., Lee, W.S., Alchanatis, V., Ehsani, R., Schueller, J.K. (2018). Immature green citrus fruit detection using color and thermal images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.011>
20. Liu, G., Mao, S., Jin, H., Kim, J.H. (22–24 February 2019). *A Robust mature tomato detection in greenhouse scenes using machine learning and color analysis*. Proceedings of the 11th International Conference on Machine Learning and Computing – ICMLC, Zhuhai. <https://doi.org/10.1145/3318299.3318358>
21. Lana, M. M., Tijsskens, L. M. M., Van Kooten, O. (2005). Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 35(1), 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.07.001>
22. Septiarini, A., Sunyoto, A., Hamdani, H., Kasim, A.A., Utaminigrum, F., Hatta, H.R. (2021). Machine vision for the maturity classification of oil palm fresh fruit bunches based on color and texture features. *Scientia Horticulturae*, 286, Article 110245. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110245>
23. Lal, S., Behera, S. K., Sethy, P.K., Rath, A. K. (4–5 May 2017). *Identification and counting of mature apple fruit based on BP feed forward neural network*. Proceedings of 2017 3rd IEEE International Conference on Sensing, Signal Processing and Security, ICSSS2017, Article 8071621. Chennai, Tamil Nadu. <https://doi.org/10.1109/ssps.2017.8071621>
24. Ayllon, M. A., Cruz, M. J., Mendoza, J. J., Tomas, M. C. (18–20 October 2019). *Detection of overall fruit maturity of local fruits using convolutional neural networks through image processing*. Proceedings of the 2nd International Conference on Computing and Big Data – ICCBD2019. <https://doi.org/10.1145/3366650.3366681>
25. Mazen, F. M. A., Nashat, A. A. (2019). Ripeness classification of bananas using an artificial neural network. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(8), 6901–6910. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-03695-5>
26. Peter, A., Abdulkadir, S. (2–4 February, 2018). *Application of image processing and neural networks in determining the readiness of maize*. Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Learning and Soft Computing – ICMLSC '18, Phu Quoc, Island. <https://doi.org/10.1145/3184066.3184068>
27. Harel, B., Parmet, Y., Edan, Y. (2020). Maturity classification of sweet peppers using image datasets acquired in different times. *Computers in Industry*, 121, Article 103274. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103274>
28. Wu, D., Sun, D.-W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control – A review. *Trends in Food Science and Technology*, 29(1), 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>
29. Hunt, R.W.G. (2005). *The reproduction of colour*. John Wiley & Sons, 2005.
30. Petrova, L.A., Klimova, D.O. (2015). Quality estimation of fresh mushrooms and storage periods. *OrelSIET bulletin*, 2(24), 166–170. (In Russian)

31. Mukhutdinova, S.M. (2006). Organoleptic assessment of the quality of the fruiting body of the porcini mushroom. *Modern high technologies*, 2, 67–69. (In Russian)
32. Lee, H. S. (2000). Objective measurement of red grapefruit juice color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1507–1511. <https://doi.org/10.1021/jf9907236>
33. Balaban, M.O., Odabasi, A. Z. (2006). Measuring color with machine vision. *Food Technology*, 60(12), 32–36.
34. Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084–1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
35. Semenova, A.V., Morozova, A.A. (2021). Assessment of quality indicators of potatoes for industrial processing. *Food systems*, 4(3S), 261–265. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-261-265> (In Russian)
36. Melendez-Martinez, A.J., Vicario, I.M., Heredia, F.J. (2005). Instrumental measurement of orange juice colour: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 894–901. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2115>
37. Wu, D., Chen, X.J., Shi, P.Y., Wang, S.H., Feng, F.Q., He, Y (2009). Determination of α -linolenic acid and linoleic acid in edible oils using near-infrared spectroscopy improved by wavelet transform and uninformative variable elimination. *Analytica Chimica Acta*, 634(2), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.12.024>
38. Wu, D., He, Y., Feng, S. (2008). Short-wave near-infrared spectroscopy analysis of major compounds in milk powder and wavelength assignment. *Analytica Chimica Acta*, 610(2), 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.01.056>
39. Wu, D., He, Y., Nie, P. C., Cao, F., Bao, Y.D. (2010). Hybrid variable selection in visible and near-infrared spectral analysis for non-invasive quality determination of grape juice. *Analytica Chimica Acta*, 659(1–2), 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.11.045>
40. Patel, K. K., Kar, A., Jha, S. N., Khan, M. A. (2011). Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. *Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 123–141. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0321-4>
41. Lin, X. Sun, D.-W. (2019). Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus Bisporus*): Affecting factors and controlling methods. *Trends in Food Science and Technology*, 90, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.007>
42. Lu, Y, Zhang, J, Wang, X, Lin, Q., Liu, W., Xie, X. et al. (2016). Effects of UV-C irradiation on the physiological and antioxidant responses of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(6), 1502–1508. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13100>
43. Zhang, K., Pu, Y.-Y., Sun, D.-W. (2018). Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.012>
44. Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M. A. Niakousari, M. (2019). Efficiency of Tragacanth gum coating enriched with two different essential oils for deceleration of enzymatic browning and senescence of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Science and Nutrition*, 7(4), 1520–1528. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1000>
45. Huang, Q., Qian, X., Jiang, T., Zheng, X. (2019). Effect of chitosan and guar gum based composite edible coating on quality of mushroom (*Lentinus edodes*) during postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, 253, 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.062>
46. Djekic, I., Vunduk, J., Tomašević, I., Kozarski, M., Petrovic, P., Niksic, M. et al. (2016). Total quality index of *Agaricus bisporus* mushrooms packed in modified atmosphere. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 3013–3021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8142>
47. Wang, H., Cui, G., Luo, M.R., Xu, H. (2011). Evaluation of colour-difference formulae for different colour-difference magnitudes. *Color Research and Application*, 37(5), 316–325. <https://doi.org/10.1002/col.20693>
48. Tarafdar, A., Shahi, N.C., Singh, A. (2020). Color assessment of freeze-dried mushrooms using Photoshop and optimization with genetic algorithm. *Journal of Food Process Engineering*, 43(1), Article e12920. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12920>
49. Nakilcioğlu-Taş, E., Ötleş, S. (2020). Kinetics of colour and texture changes of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) coated with chitosan during storage at low temperature. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 92(2), Article e20181387, 1–15. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181387>
50. Song, Y., Hu, Q., Wu, Y., Pei, F., Kimatu, B.M., Su, A. et al. (2018). Storage time assessment and shelf-life prediction models for postharvest *Agaricus bisporus*. *LWT*, 101, 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.020>
51. Pathare, P.B., Opara, U.L., Al-Said, F.A.-J. (2012). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
52. Ali, H., Lali, M.I., Nawaz, M.Z., Sharif, M., Saleem, B.A. (2017). Symptom based automated detection of citrus diseases using color histogram and textural descriptors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.008>
53. Bhange, M., Hingoliwala, H.A. (2015). Smart farming: Pomegranate disease detection using image processing. *Procedia Computer Science*, 58, 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.022>
54. Lisitsyn A. B., Kozyrev, I.V. (2016). Researching of meat and fat colour and marbling in beef. *Theory and practice of meat processing*, 1(4), 51–56. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-4-51-56> (In Russian)
55. Tomasevic, I.B. (2018). Computer vision system for color measurements of meat and meat products: A Review. *Theory and practice of meat processing*, 3(4), 4–15. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-4-4-15>
56. Nasonova, V.V., Tunieva, E.K., Motovilina, A.A., Mileenkova, E.V. (2020). Changes in color characteristics of culinary products from turkey meat produced with the use of low-temperature heat treatment. *Vsyo o myase*, 5, 22–24. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5-22-24> (In Russian)
57. Zhang, Y., Wang, S., Ji, G., Phillips, P. (2014). Fruit classification using computer vision and feedforward neural network. *Journal of Food Engineering*, 143, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.001>
58. Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J. et al. (2014). Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International*, 62, 326–343. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.012>
59. Smys S., Tavares J. M. R. S., Balas V. E., Iliyasu A. M. (September 25–26, 2019). Computational vision and bio-inspired computing. International Conference: Advances in Intelligent Systems and Computing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37218-7>
60. Sabzi, S., Abbaspour-Gilandeh, Y., Garcia-Mateos, G. (2018). A new approach for visual identification of orange varieties using neural networks and metaheuristic algorithms. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.09.002>
61. Kwoopnaan Tetu, V. I., Olatubosun, A., Ovey, O. C. (10–12 December 2019). The application of digital image processing in extracting the image features in maize samples that aid learning and classification. 15th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), Abuja. Article 9043259. <https://doi.org/10.1109/ICECCO48375.2019.9043259>
62. Lorente, D., Aleixos, N., Gomez-Sanchis, J., Cubero, S., Garcia-Navarrete, O. L., Blasco, J. (2011). Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), 1121–1142. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0725-1>
63. Khan, S., Narvekar, M. (2020). Novel fusion of color balancing and super-pixel based approach for detection of tomato plant diseases in natural complex environment. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.09.006> (unpublished data)
64. Yogesh, Dubey, A. K., Ratan, R., Rocha, A. (2019). Computer vision based analysis and detection of defects in fruits causes due to nutrients deficiency. *Cluster Computing*, 23(3), 1817–1826. <https://doi.org/10.1007/s10586-019-03029-6>
65. Bhargava, A., Bansal, A. (2020). Quality evaluation of Mono & bi-Colored Apples with computer vision and multispectral imaging. *Multimedia Tools and Applications*, 79 (11–12), 7857–7874. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08564-3>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Федянина Наталья Игоревна — старший научный сотрудник, Лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл. г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-08-92 E-mail: shatalova@vniitek.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1665-5445 * автор для контактов</p>	<p>Natalia I. Fedyanina, Senior researcher, Laboratory of canning technology, All-Russian Scientific Research Institute of Technology of Preservation Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-08-92 E-mail: shatalova@vniitek.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1665-5445 * corresponding author</p>
<p>Карастоянова Ольга Вячеславовна — старший научный сотрудник, Лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии 142703, Московская обл., г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-08-92 E-mail: okarastoyanova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7247-7519</p>	<p>Olga V. Karastoyanova, Senior researcher, Laboratory of canning technology All-Russian Scientific Research Institute of Technology of Preservation Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-08-92 E-mail: okarastoyanova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7247-7519</p>
<p>Коровкина Надежда Вячеславовна — младший научный сотрудник, Лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-08-92 E-mail: corowkinanadya@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4108-5835</p>	<p>Nadezhda V. Korovkina, Junior researcher, Laboratory of canning technology All-Russian Scientific Research Institute of Technology of Preservation Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-08-92 E-mail: corowkinanadya@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4108-5835</p>
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest