

Цифровая цветометрия в фармацевтическом анализе и контроле продуктов питания

О. Б. Рудаков, д. х. н.^{1,2}, Л. В. Рудакова, д. х. н.³, М. Аббуд¹

УДК 543.68:544.032.72:615.074

В статье рассмотрены возможности применения цифровой цветометрии в фармацевтическом анализе и в контроле качества и безопасности пищевой продукции с помощью цветорегистрирующих устройств – сканеров, веб-камер, цифровых фотоаппаратов и смартфонов. Цифровые цветометрические методики отличаются оперативностью, низкой стоимостью единичного анализа, имеется возможность применения цифровых камер и смартфонов во внелабораторных условиях.

Ключевые слова: цифровая цветометрия, цветовая система RGB, лекарственные средства, продукты питания

Метод цифровой цветометрии (ЦЦМ) – Digital Color Analysis (DCA) – «цифровой анализ цвета», входит в линейку оптических методов, он представляет собой альтернативу классической спектрофотометрии, не требующей дорогого инструментального воплощения (см. схему на рис. 1). ЦЦМ предполагает анализ либо окрашенных образцов, либо проб, окрашенных в результате хромофорной реакции. ЦЦМ основан на получении и анализе параметров цветности цифрового изображения анализируемого образца. Величина аналитического сигнала оценивается по значениям цветометрических характеристик анализируемого образца (координаты цвета в различных системах, насыщенность цвета, яркость, светлота, белизна, цветовой тон и др.). Для представления и описания цвета цифровых изображений применяются такие цветовые модели, как RGB, CMYK, XYZ, HSB и CIE LAB [1]. Приведенные исследования выполнены с помощью аддитивной цветовой системы RGB, которая используется для компьютерной обработки изображений в стандартном программном обеспечении: графические редакторы (*Adobe Photoshop*, *Photopaint*, *ImageJ* и др.), универсальные математические

пакеты с возможностью работы с цифровым изображением на уровне пикселей (*MatLab*, *Mathcad*), программы для оценки параметров цветности изображений на смартфонах (*Color Picker* (компания Mikhail Gribanov), *Color Detector* – *Палитра цветов и распознаватель*, *Color Picker AR*, *Color Grab* – *Определение цвета*, *Pixolor*, *Color Picker* (компания Ratonera Inc), *Color Lab*, *RGB Color Detector*, *Color Harmony*, *ColorMeter Free* – *color picker* (компания Xiaozhao inc), *MixPaint*, *Color Detector & Catcher*, *Color Code Picker*, *Color Picker Color Picker* (компания Black Developers), *Color Detector* (компания obialia.com), *Color Analyzer* и др.).

Как показано в [1, 2], ключевыми преимуществами ЦЦМ перед визуально-колориметрической экспертизой или некоторыми оптическими методами анализа, являются объективность определения, отсутствие требования высокой квалификации оператора, возможность электронной документации (хранения и передачи) первичных данных и их обработки с помощью программного обеспечения, устанавливаемого не только на лабораторных компьютерах, но и, например, непосредственно на мобильном устройстве, возможность регистрировать параметры цвета жидких, твердых и пастообразных образцов. При этом стоимость единичного анализа остается невысокой, сохраняется экспрессность выполнения измерений.

С 2000 года наблюдается более чем 20-кратный рост публикаций, посвященных использованию ЦЦМ в аналитической химии, фармацевтическом

¹ Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия.

² robi57@mail.ru.

³ Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко, г. Воронеж, Россия.

Оптические методы анализа

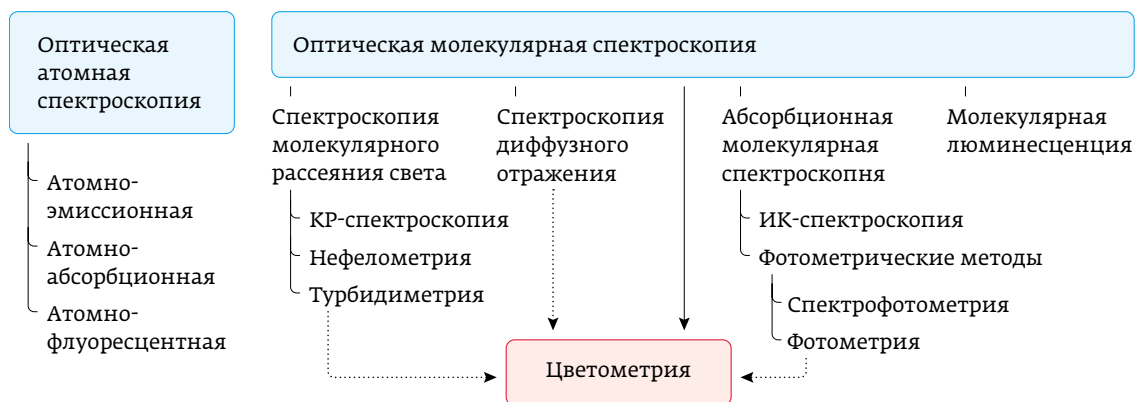


Рис. 1. Оптические методы анализа

анализе, контроле качества и безопасности продукции [2, 4]. В них прослеживается четкая тенденция все более активного применения в тестировании продукции смартфонов с цифровыми фотокамерами. По прецизионности и другим метрологическим характеристикам ЦЦМ практически не уступает оптическим методам, применяемым в химическом анализе материалов [1-4]. Правда, не до конца решен вопрос о правильности цветопередачи в электронных изображениях, полученных на разных устройствах при разном освещении. Поэтому необходимо в каждом отдельном случае пользоваться стандартизированными шкалами цвета, образцами сравнения, градуировками отдельных устройств в конкретных условиях регистрации аналитического сигнала. Цветовые системы и техника проведения эксперимента методом ЦЦМ с применением различных цветорегистрирующих устройств описаны в [1-5].

В действующих фармакопейных статьях допускаются такие описания лекарственных средств, субстанций и готовых таблеток, как «белые и почти белые», «желтые или светло-коричневые», «розовые» и т. п. кристаллы, порошки, таблетки, оболочки, то есть принята визуальная оценка продукции. Вместе с тем, существенную помощь экспертам, оценивающим внешний вид продукции «на глазок», могут оказать методики цифровой цветометрии.

Рассмотрим такую цветовую характеристику, как белизна, которая в значительной степени является величиной субъективной. Для ее количественного определения применяются специализированные приборы, по принципу действия аналогичные лабораторным фотоэлектроколориметрам и выражающим значения в условных единицах. Государственная Фармакопея СССР XI издания предлагает использовать лейкометры или спектральные фотометры, а для уточненной оценки белизны

лекарственных веществ рекомендует спектрофотометры отражения, снабженные интегрирующей сферой. В линейке современных приборов этих устройств уже нет, им на смену пришли такие приборы, как спектрофотометр CARY 100, предназначенный для решения целого ряда задач: определения белизны порошков, определения цветности порошков и инъекционных растворов, определения цветности дистиллированной воды, определения суммарной флуоресценции. Стоимость приборов такого класса соответствует уровню его возможностей.

Белизна – обязательная интегральная характеристика большинства таблетированных фармпрепаратов, лекарственных субстанций, муки, сахара и т. п. Оценка качества и подлинности продукции методом ЦЦМ производится путем сравнения интегральной

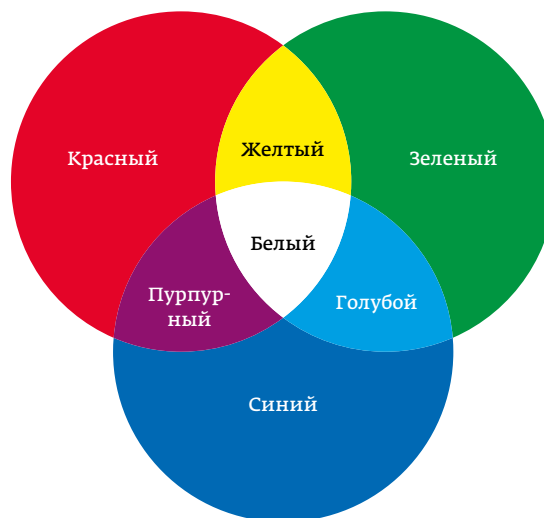


Рис. 2. Плоская диаграмма цветового пространства аддитивной системы RGB

характеристики цвета с эталонными образцами, так называемыми образцами сравнения (ОС). Имея электронную базу данных по цвету ОС, полученную в стандартизованных условиях, можно исключить субъективность оценки цвета, характерную для визуальных экспертиз.

Интенсивностям компонент цветности F_R , F_G и F_B присвоены значения от 0 до 255 [4]. Любой цвет в системе RGB равен сумме F_i трех независимых цветов: красного (R), зеленого (G) и синего (B); чем больше эта сумма, тем выше степень белизны. Черному цвету соответствует триплет значений F_R , F_G и F_B (0; 0; 0), а белому – триплет (255; 255; 255). Модель RGB является самой распространенной, она хорошо соотносится с человеческим зрением (сетчатка глаза имеет красно-, зелено- и синечувствительные волокна). При смешивании 3 базовых цветов в различных пропорциях, можно получить более 16 млн цветовых оттенков.

На рис. 3 приведена диаграмма относительной белизны некоторых лекарственных средств. В качестве ОС использован сульфат бария, применяемый как эталон белизны при измерении этого показателя сортов муки.

Для количественного выражения белизны, то есть степени приближения к белому цвету ОС, использовали значение относительной белизны W , которое определяется как отношение суммы параметров яркости по каналам R, G и B для пробы и ОС (сульфата бария):

$$W = (F_R + F_G + F_B) / (F'_R + F'_G + F'_B) = \sum F_i / F'_i,$$

где F_i – интенсивности цветов в системе RGB анализируемой пробы; F'_i – интенсивности цветов в системе RGB образца сравнения.

Показано, что препараты, оцениваемые человеческим глазом как белые, аппаратно регистрируются как объекты, обладающие разной степенью белизны (рис. 3). Таким образом, появляется возможность перейти от субъективной визуальной характеристики лекарственных препаратов к объективной количественной оценке степени их белизны и соответствию критериям качества.

Нормированные диапазоны возможных значений параметра относительной белизны могут быть использованы для экспресс-анализа в процессе производства, в контроле качества готовой продукции, для изучения динамики старения продукции.

При хорошей воспроизводимости методики ЦЦМ отличаются несколько большей погрешностью измерений, чем другие оптические приборы (например, белизномеры), но вполне подходят для экспресс-тестов.

Следует отметить, что образцы лекарственных средств перед регистрацией видеосигнала измельчают до порошка. Муку и сахар методом ЦЦМ анализируют аналогично [1, 5].

Потеря белизны при хранении лекарственных препаратов может быть обусловлена процессами химического превращения, разложения или окисления. Следовательно, по изменению цветности в ряде случаев можно судить о содержании действующего вещества в лекарственной форме. В [6] были проведены испытания по, так называемому, ускоренному старению при воздействии повышенной температуры для определения сроков годности препаратов. Параллельно с цветометрическими измерениями осуществляли стандартную методику количественного определения действующего вещества, прописанную в соответствующей фармакопейной статье. Сходимость результатов позволила сделать вывод о пригодности цветометрической методики для тест-оценки качества и годности ряда лекарственных препаратов.

Что касается пищевой продукции, цвет сырья и готовых продуктов, как правило, является одной из важнейших характеристик, включаемых в перечень контролируемых показателей в ГОСТ, ТУ, ТИ и другие нормативные документы, поскольку он служит четким индикатором малейших изменений технологии получения и условий хранения продукции.



Рис. 3. Относительная белизна разных лекарственных средств

Например, контроль белизны молока по компонентам цветности RGB показывает заметные различия качественного и некачественного молока [7]. Установлено, что белизна образцов молока может значительно отличаться от эталонной, особенно низкими были значения интенсивности синей компоненты, в меньшей степени это относится к интенсивности красной и зеленой компоненты (см. рис. 4).

Цветометрические методики позволяют оценивать цветность мазей, суспензий, эмульсий, масел. Возможность работать в цифровом формате выгодно отличает метод ЦЦМ от классической спектрофотометрии, делает его более информативным, доступным, экспрессным и мобильным (в случае применения смартфонов в качестве цветорегистрирующего устройства). Кроме того, что он отличается простотой исполнения, доступностью аппаратуры и программного обеспечения, метод ЦЦМ имеет удовлетворительные метрологические характеристики (относительная погрешность определения не превышает 8%) [1-3].

Разработаны методики ЦЦМ для оценки цветности масел, применяемых в пищевой промышленности и в фармацевтике [8-10]. Масла растительного и природного происхождения используются не только в производстве пищевых продуктов, но и в качестве основы для приготовления мазей, эмульсий, суспензий, масляных растворов и применяются как системы, содержащие БАД. При определении качества масел в первую очередь оценивается их цветность, которая зависит от природы масла и степени его очистки. Интенсивность окраски характеризуется цветным числом Z (безразмерная величина в диапазоне от 0 до 100), определяется путем сравнения интенсивности окраски исследуемого масла с окраской стандартных растворов йода согласно ГОСТ 5477-2015 визуально.

Цветное число растительных масел является обобщенной (интегральной) характеристикой, обусловленной наличием в них липоидных компонентов – каротина, ксантофиллов, хлорофиллов, фосфолипидов, госсипола и других липофильных веществ. Интенсивность окраски (цветное число) масла, как правило, обратно пропорционально степени их очистки методами рафинации, отбеливания и др. Рафинированные, дезодорированные масла высшего сорта, используемые в пищевой отрасли, должны иметь значение цветного числа меньше 6, ординарные сорта – до 10, нерафинированные – от 15 до 35. Для некоторых нерафинированных масел, применяемых в качестве БАД, показатели цветности не нормированы, так как эти масла не подвергаются очистке от природных компонентов,

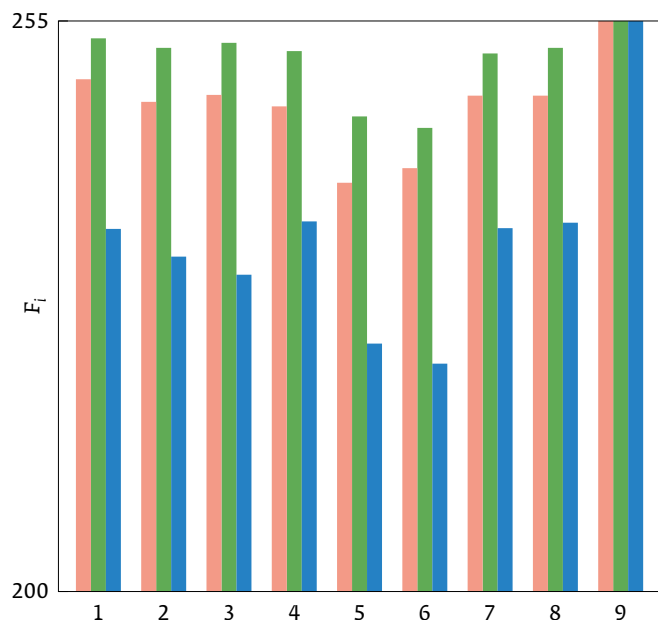


Рис. 4. Изменчивость компонент цветности молока по шкале RGB для 7 испытуемых проб молока (1-7), образца «стандартного молока» (8) и значения красной, зеленой и синей компонент цветности идеально белого цвета (9)

являющихся биологически активными веществами. Для них цветность определяется качественно. Часто они могут иметь большие цветные числа. В фармакопейных статьях рекомендуют сравнивать цвет масел со стандартными образцами растительных масел [10].

Так, в работе [10] цветометрически исследовали масло абрикосовой косточки, касторовое масло, репейное масло с добавкой касторового, масло расторопши и масло облепихи. Фотоизображения калибровочных растворов йода и образцов анализируемых масел получали с использованием смартфона в режиме фотовспышки. Для сравнения, цветное число регистрировали по стандартной визуальной методике [8], а также спектрофотометрически при 450 нм на спектрофотометре в кюветах с $l=10$ мм. Интенсивности компонент цветности в цветовой системе RGB, а также их сумм $\sum F_i$ от цветного числа (Z) в йодной шкале носили нелинейный характер, для линеаризации градуировки использовали полулогарифмические анаморфозы. В качестве образца сравнения взяли практически бесцветное вазелиновое масло медицинского назначения (ГОСТ 3164-78), а именно, брали относительные значения сумм компонент цветности $\sum F_i / \sum F'_i$. В табл. 1 приведены результаты определения цветных чисел масел, определенных методом ЦЦМ, визуально и спектрофотометрически (СФ).

Таблица 1. Параметры цветности и цветные числа различных растительных масел

Масло	$\Sigma F_i / \Sigma F'_i$	Цветное число Z		
		ЦЦМ	Визуально	СФ
Абрикосовой косточки	0,93	1,7	2–3	1,9
Касторовое	0,95	1,4	2	1,7
Облепиховое	0,48	70,8	>30	>30
Репейное с добавкой касторового	0,92	1,8	2–3	2,1
Расторопши	0,76	7,1	5–10	7,5
Вазелиновое (образец сравнения)	1,00	1	1	1,1

В целом можно отметить хорошее совпадение результатов определения цветного числа тремя методами. Однако определить Z интенсивно окрашенного в красно-коричневый цвет облепихового масла с помощью визуального и, особенно, спектрофотометрического способа затруднительно.

Применимы также методики ЦЦМ, основанные на измерении не суммы, а интенсивности какой-либо одной из трех цветовых компонент. Например,

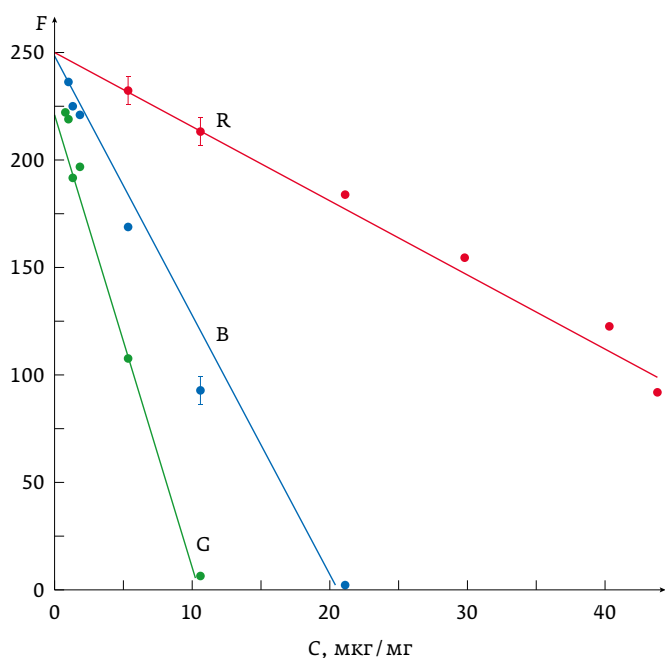


Рис. 5. Зависимость параметров цветности от концентрации цианкобаламина в растворе

используют зависимости одной из компонент цветности от содержания окрашенного вещества в растворе для градуировки (рис. 5). Если вещество не поглощает в видимой области спектра, тогда подбирают хромофорную реакцию на это вещество и находят корреляцию между компонентами цветности раствора и концентрацией аналита. В табл. 2 приведены градуировочные уравнения, найденные после проведения реакций, рекомендованных в фармакопейных статьях для идентификации ряда препаратов [6]. Анализ растворов проводится в кюветах для спектрофотометров, соблюдая единые условия регистрации файлов, например, в специальных боксах, оснащенных кюветодержателем, подсветкой диодными лампами и белым экраном [6].

Таким образом, можно использовать не только собственную окраску веществ, но и продукты хромофорной реакции для неокрашенных веществ. Проведенные эксперименты для серии лекарственных препаратов [6], растворы которых были окрашены с помощью хромофорных реакций, показали возможность использовать типовые цветные фармакопейные тесты для количественного определения аналитов. Зависимости интенсивности компонент цвета от концентрации аналита имеют более широкие линейные диапазоны, чем оптические плотности в спектроскопии. ЦЦМ применим и для фармакопейных реакций с образованием флуоресцирующих продуктов [11]. Если использовать для анализа

Таблица 2. Примеры градуировочных уравнений для методик ЦЦМ аналитов по отдельным компонентам цветности хромофорных реакций

Препарат	Градуировочные уравнения	Коэффициент детерминации R ²
Анальгин	$F_B = -3,89C + 296,05$	0,973
Ампициллин	$F_R = -332,26C + 245,06$	0,998
Парацетамол	$F_R = -551,69C + 251,88$	0,995
Салициловая кислота	$F_R = -459,04C + 238,23$	0,956
Доксициклина гидрохлорид	$F_C = -35,81C + 42,28$	0,972
Бензилпенициллина натриевая соль	$F_B = -3964C + 254$	0,992
Эуфиллин	$F_R = -236,89C + 226,42$	0,969

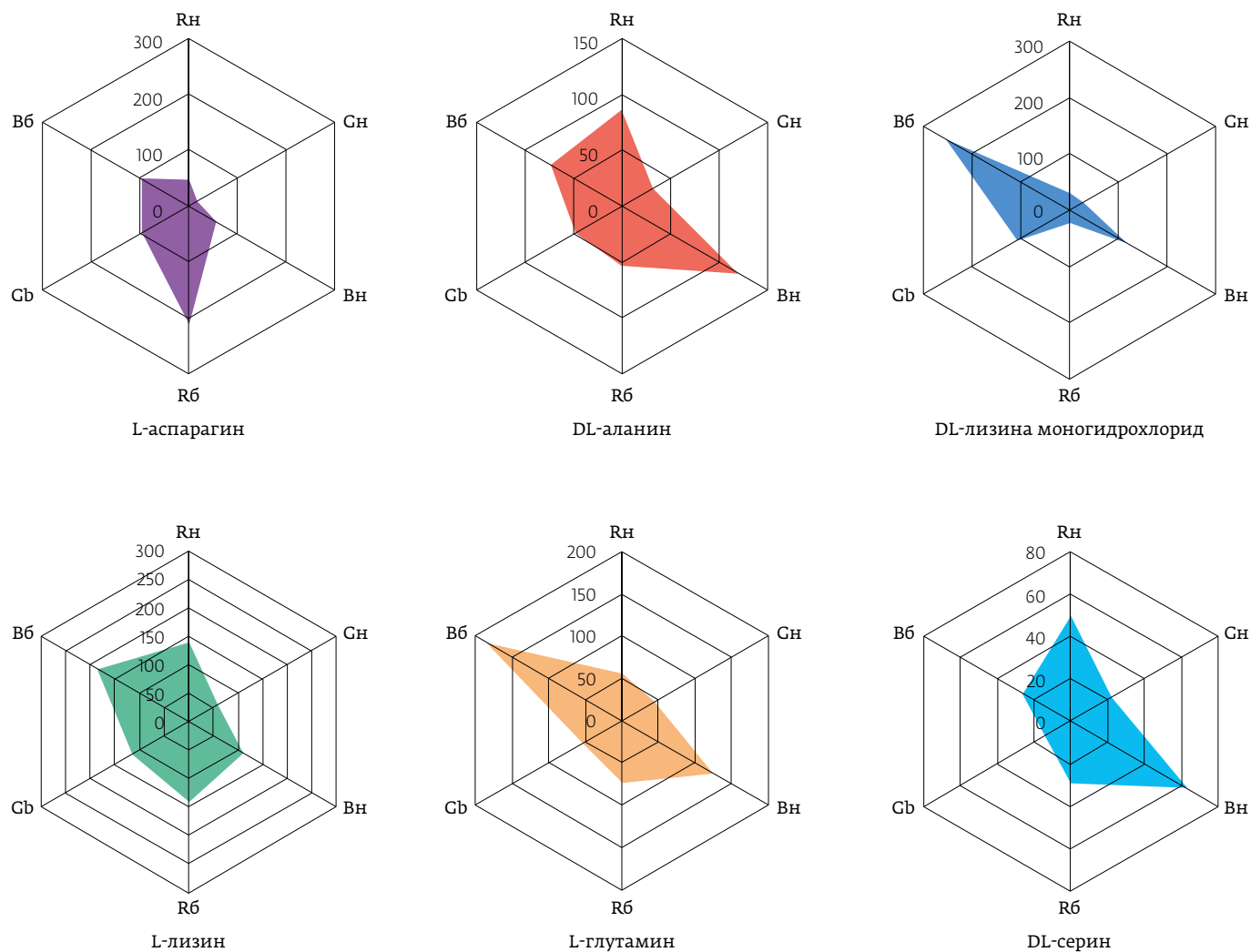


Рис. 6. Примеры лепестковых диаграмм для разных аминокислот

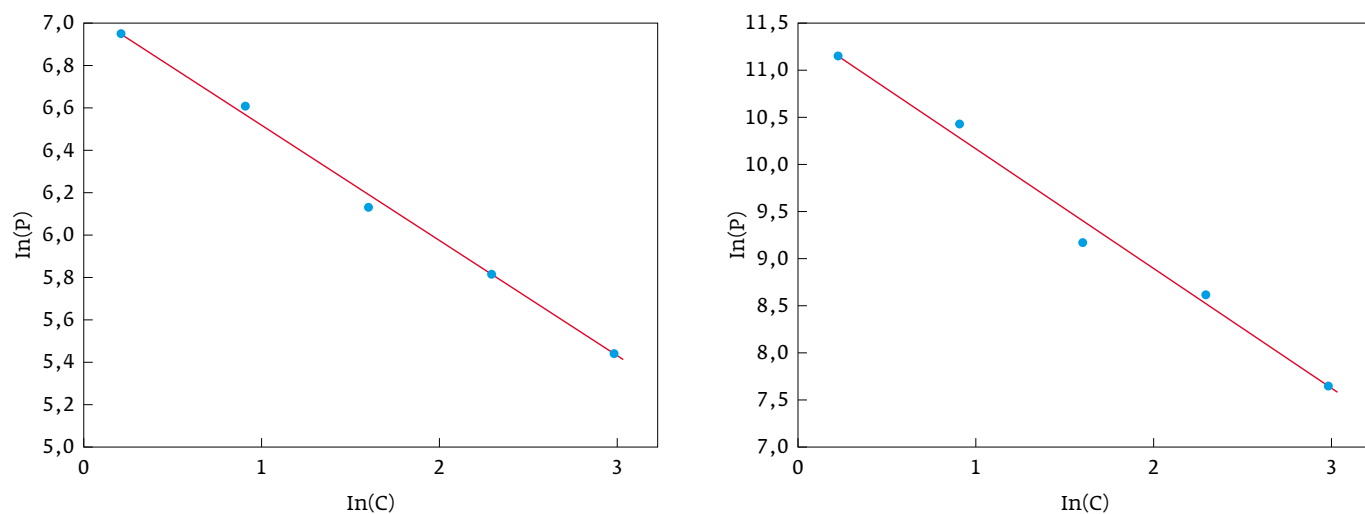


Рис. 7. Градуировочные графики на основе геометрических параметров для растворов DL-аланина

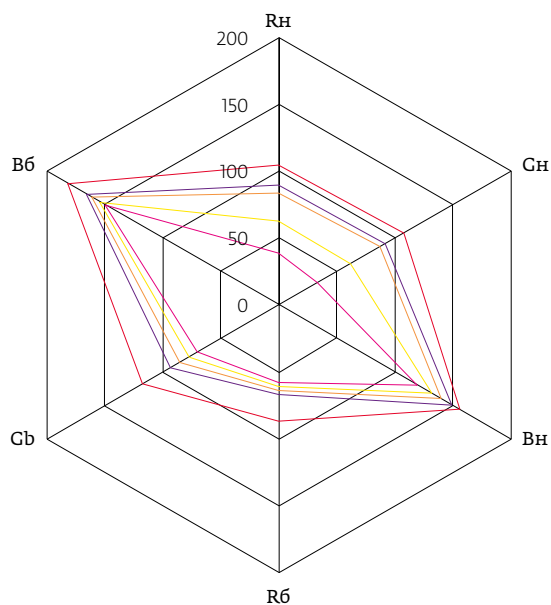


Рис. 8. Лепестковая диаграмма для инсулина (продукты биуретовой и нингидриновой реакций, $C=1,7-3,5 \text{ г/л}$)

неокрашенных веществ не одну, а две и более хромофорных реакций, то можно получить набор аналитических сигналов как для мультисенсорного устройства, которые обрабатываются хемометрически как многомерный массив данных.

Примером может служить ЦЦМ-определение аминокислот, инсулина по двум хромофорным реакциям: с нингидрином и щелочным раствором гидроксида меди (биуретовая реакция) [12]. Результаты параллельного определения F_i окрашенных растворов представляются в виде лепестковых диаграмм. Форма диаграмм служит для качественной идентификации, а периметр (P) и площадь (S) диаграмм – для количественных измерений концентраций аналитов (рис. 6 и 7). Увеличение периметра P и (или) площади S наблюдаются для более светлых растворов, то есть, обратно пропорционально концентрации аналита (рис. 7, 8).

Разработаны алгоритмы расчета геометрических параметров лепестковых диаграмм (P и S), полученных методом ЦЦМ, и распознавания по ним контролируемого аналита, а также количественного определения. Приведенные подходы применяются к контролю БАВ, контаминантов в пищевой продукции [1].

ЦЦМ перспективен в контроле качества мяса и продукции из него, оценке полноценности белкового состава, содержания аминокислот, нитритов, нитратов, пигментов, а также целого ряда контаминантов [13–17].

Заключение

Таким образом, можно отметить следующие аспекты применения цифровой цветометрии:

- доступность оборудования для анализа и средств для обработки аналитического сигнала;
- экспрессность анализа;
- высокая чувствительность;
- низкий расход реактивов и низкая стоимость единичного анализа;
- возможность анализа твердых и жидких образцов, концентрированных, разбавленных и непрозрачных растворов;
- метрологические характеристики, сопоставимые с оптическими методами анализа;
- удобство документирования и хранения электронных изображений в виде файлов, их статистической обработки и передачи по интернету в любую лабораторию или службу.

Литература

1. Рудаков О. Б., Рудакова Л. В. Информационные технологии в аналитическом контроле биологически активных веществ. СПб: Лань, 2022. 364 с.
2. Апяри В. В., Горбунова М. В., Исаченко А. И. [и др.] Использование бытовых цветорегистрирующих устройств в количественном химическом анализе. Журнал аналитической химии. 2017. 72(11): 963–977.
3. Черноусова О. В., Рудаков О. Б. Цифровые изображения в аналитической химии для количественного и качественного анализа. Химия, физика и механика материалов. 2019. 2: 55–125.
4. Лютов В. П., Четверкин П. А., Головастиков Г. Ю. Цветоведение и основы колориметрии. М.: Юрайт, 2023. 224 с.
5. Черноусова О. В., Рудаков О. Б., Рудаков Я. О. Цветометрическое определение цветности сахара с использованием мобильных устройств. Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы VI Международной научной конференции, Донецк, 26–27 октября 2021 года. Т. 1. Донецк: Донецкий национальный университет, 2021. С. 182–184.
6. Рудакова Л. В., Ветрова Е. Н., Никитина Т. Н., Алехина М. И. Возможности применения цифровой цветометрии в фармацевтическом анализе. Прикладные информационные аспекты медицины. 2019. 22(3): 104–109.
7. Рудаков О. Б., Рудакова Л. В. Цифровая цветометрия в контроле качества молочной продукции. Переработка молока. 2018. 7(225): 40–43.
8. Рудаков О. Б., Королькова Н. В., Полянский К. К. [и др.]. Технохимический контроль в технологии жиров и жирозамениителей. СПб: Лань, 2020. 576 с.
9. Хрипушин В. В., Рудакова Л. В., Рудаков О. Б., Байдицева О. В. Цветометрические методики определения цветного числа растительных масел. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. 74(5): 9–13.
10. Рудаков Я. О., Мохамед А., Рудаков О. Б. [и др.] Применение смартфона для контроля цветных чисел растительных масел во внелабораторных условиях. Химия, физика и механика материалов. 2022. 1(32): 120–128.
11. Рудакова Л. В., Ветрова Е. Н., Рудаков Я. О., Шевелев П. С. Цветометрическая альтернатива флуориметрии для определения фолиевой кислоты. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2021. 2: 14–19.

ШИНЫ, РТИ И КАУЧУКИ



26-я МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ,
ШИН, ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА,
СЫРЬЯ И ОБОРУДОВАНИЯ



15-18
АПРЕЛЯ 2024

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Реклама

www.rubber-expo.ru

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



РОССИЙСКИЙ
СОЮЗ
ХИМИКОВ

ЭКСПОЦЕНТР

Организатор: АО «ЭКСПОЦЕНТР»

При поддержке:

- Министерства промышленности и торговли РФ
- Российского Союза химиков
- ОАО «НИИТЭХИМ»

Под патронатом ТПП РФ

12+



12. Байдичева О. В., Хрипушин В. В., Рудакова Л. В., Рудаков О. Б. Цветометрическое количественное определение аминокислот и глицилглицина в водных растворах. *Пищевая промышленность*. 2011. 10: 26–28.
13. Алейников А. Ф., Пальчикова И. Г., Смирнов Е. С. Оценка качества мяса птицы по результатам анализа его цветовых характеристик. *Вычислительные технологии*. 2016. 21(S1): 27–40.
14. Семенова И. Н., Пелевина Г. А., Суркова Н. Е., Рудаков О. Б. Разработка методики контроля цвета животных жиров при комплексной оценке их физико-химических показателей. *Масла и жиры*. 2006. 2: 3–4.
15. Саката Р., Такеда С., Вага М. Исследование по снижению использования нитрита и нитрата в мясных продуктах при добавлении натуральной соли и монооксида углерода. *Теория и практика переработки мяса*. 2017. 4: 35–43.
16. Рудаков О. Б., Рудакова Л. В. Возможности цветометрического контроля качества мяса. *Мясные технологии*. 2018. 4(184): 46–48.
17. Пчелкина В. А. Возможности применения системы анализа изображения при исследовании мясного сырья и продуктов. *Техника и технология пищевых производств*. 2016. 43(4): 70–74.
- Amino Acids and Glycylglycine in Aqueous Solutions. *Pishhevaja Promyshlennost' = Food Industry*. 2011. 10: 26–28.
13. Alejnikov A. F., Pal'chikova I. G., Smirnov E. S. Assessment of the Quality of Poultry Meat Based on the Results of Analysis of Its Color Characteristics. *Vychislitel'nye tehnologii = Computing Technologies*. 2016. 21(S1): 27–40.
14. Semenova I. N., Pelevina G. A., Surkova N. E., Rudakov O. B. Development of a Method for Controlling the Color of Animal Fats During a Comprehensive Assessment of Their Physical and Chemical Parameters. *Masla i Zhiry = Oils and Fats*. 2006. 2: 3–4.
15. Sakata R., Takeda S., Vaga M. Research to Reduce Nitrite and Nitrate Use in Meat Products by Adding Natural Salt and Carbon Monoxide. *Teorija i Praktika Pererabotki Mjasa = Theory and Practice of Meat Processing*. 2017. 4: 35–43.
16. Rudakov O. B., Rudakova L. V. Possibilities of Colorimetric Meat Quality Control. *Mjasnye Tehnologii = Meat Technologies*. 2018. 4(184): 46–48.
17. Pchelkina V. A. Possibility of Using an Image Analysis System in the Study of Meat Raw Materials and Products. *Tehnika i Tehnologija Pishhevyyh Proizvodstv = EquipMent and Technology of Food Production*. 2016. 43(4): 70–74.

Статья поступила в редакцию 05.12.2023

Принята к публикации 18.01.2024

References

1. Rudakov O. B., Rudakova L. V. Information Technologies in Analytical Control of Biological Active Substances. St-Petersburg: *Lan' Publ.* 2022. 364 p.
2. Апыри В. В., Горбунова М. В., Исаченко А. И., et al. Use of Household Color Recording Devices in Quantitative Chemical Analysis. *Journal of Analytical Chemistry*. 2017. 72(11): 963–977.
3. Chernousova O. V., Rudakov O. B. Digital Images in Analytical Chemistry for Quantitative and Qualitative Analysis. *Himija, Fizika i Mehanika Materialov = Chemistry, Physics and Mechanics of Materials*. 2019. 2: 55–125.
4. Ljutov V. P., Chetverkin P. A., Golovastikov G. Ju. Color Science and Basics of Colorimetry. Moscow: *Jurajt Publ.* 2023. 224 c.
5. Chernousova O. V., Rudakov O. B., Rudakov Ja. O. Colorimetric Determination of Sugar Color Using Mobile Devices. *Doneckie Chtenija 2021: Obrazovanie, Nauka, Innovacii, Kul'tura i Vyzovy Sovremennosti: Materialy VI Mezhdunarodnoj Nauchnoj Konferencii, Donetsk, October 26–27, 2021. Vol. 1. Donetsk: Doneckij Nacional'nyj Universitet Publ.* 2021. P. 182–184.
6. Rudakova L. V., Vetrova E. N., Nikitina T. N., Alehina M. I. Opportunities of Digital Colorimetry in Pharmaceutical Analysis. *Prikladnye informacionnye aspekty mediciny = Applied Information Aspects of Medicine*. 2019. 22(3): 104–109.
7. Rudakov O. B., Rudakova L. V. Digital Colorimetry in Quality Control of Dairy Products. *Pererabotka Moloka = Milk Processing*. 2018. 7(225): 40–43.
8. Rudakov O. B., Korol'kova N. V., Poljanskij K. K., et al. Technochemical Control in the Technology of Fats and Fat Substitutes. St-Petersburg: *Lan' Publ.* 2020. 576 p.
9. Hripushin V. V., Rudakova L. V., Rudakov O. B., Bajdicheva O. V. Colorimetric Methods for Determining the Color Number of Vegetable Oils. *Zavodskaja Laboratorija. Diagnostika Materialov = Factory laboratory. Diagnostics of Materials*. 2008. 74(5): 9–13.
10. Rudakov Ja. O., Mohamed A., Rudakov O. B., et al. Using a Smartphone to Control the Color Numbers of Vegetable Oils in Non-laboratory Conditions. *Himija, Fizika i Mehanika Materialov = Chemistry, Physics and Mechanics of Materials*. 2022. 1(32): 120–128.
11. Rudakova L. V., Vetrova E. N., Rudakov Ja. O., Shevelev P. S. Colorimetric Alternative to Fluorimetry for Determination of Folic Acid. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Himija, Biologija, Farmacija = Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*. 2021. 2: 14–19.
12. Bajdicheva O. V., Hripushin V. V., Rudakova L. V., Rudakov O. B. Colorimetric Quantitative Determination of

Авторы / Authors

Рудаков Олег Борисович, д. х. н., заведующий кафедрой химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета, Воронеж. Область научных интересов: анализ качества пищевых продуктов. Rudakov Oleg Borisovich, Doctor of Chemical Sciences, Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Materials, Voronezh State Technical University, Voronezh. Research interests: food quality analysis. robi57@mail.ru ORCID 0000-0003-2527-2857

Рудакова Людмила Васильевна, д. х. н., заведующая кафедрой фармацевтической химии и фармацевтической технологии Воронежского государственного медицинского университета им. Н. Н. Бурденко, Воронеж. Область научных интересов: анализ биологически активных веществ. Rudakova Lyudmila Vasilyevna, Doctor of chemical sciences, Head of the Department of Pharma-ceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology of the Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko, Voronezh. Research interests: analysis of biologically active substances. Vodoley65@mail.ru ORCID 0000-0001-8510-4404

Аббуд Мохамед, аспирант кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета, Воронеж. Область научных интересов: цифровые технологии, хемометрика. Abboud Mohamed, Post-graduate student of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Materials of Voronezh State Technical University, Voronezh. Research interests: digital technologies, chemometrics. Mohamedabbod777@gmail.com ORCID 0009-0007-1829-3365

Конфликт интересов / Conflict of Interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.



РОССИЯ, МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

НЕФТЕГАЗ

23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

«ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА»

15–18.04.2024

Подробности на сайте
www.neftegaz-expo.ru

Реклама 12+



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Минпромторг
России

