

Методология определения антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических жидкостей

А. Я. Яшин, к. х. н.¹

УДК 543.07

В настоящем обзоре систематизированы сведения о методах и средствах измерения антиоксидантной активности (АА) и суммарного содержания антиоксидантов в пищевых продуктах, напитках и биологических жидкостях. Показатель антиоксидантной активности пищевых продуктов нужен для создания баз (банков) данных и последующего применения в антиоксидантной терапии. При различных патологиях определение антиоксидантной активности биологических жидкостей (плазма, сыворотка крови, слюна, моча и др.) необходимы для оценки окислительно-восстановительного баланса или антиоксидантного статуса, редокс-баланса – основного показателя здоровья человека и окислительного стресса.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, база данных, амперометрический метод, жирорастворимые антиоксиданты, пищевые продукты, биологические жидкости, хроматография

Статья получена 15.08.2021

Принята к публикации 8.10.2021

Введение

За прошедшие десятилетия интерес к исследованиям антиоксидантной активности растет, постоянно разрабатываются новые методы измерений параметров антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических жидкостей. Цель этих измерений – это составление баз (банков) данных содержания антиоксидантной активности основных пищевых продуктов. Данная информация необходима для составления лечебного питания при антиоксидантной терапии. Основные опубликованные базы данных приведены в обзорах [1–6]. В самой крупной базе (3100 пунктов) [1] содержатся данные практически всех популярных продуктов из многих стран мира. Определение антиоксидантной активности проводили методом FRAP. К сожалению, не все результаты достоверны, некоторые завышены, а другие занижены, в частности, для жирорастворимых антиоксидантов

из-за неоптимального растворителя для экстракции [1]. В следующую базу [2, 3] включены сведения о суммарном содержании антиоксидантов в 1400 пищевых продуктах. Измерения проводили амперометрическим методом, который напрямую определяет в продуктах только антиоксиданты. Методики определения водорастворимых и жирорастворимых антиоксидантов аттестованы [4, 5], по определению антиоксидантов этим методом выпущены ГОСТы [6, 7]. Это единственный метод, который стандартизован. В базе данных USDA [8] приведена информация о содержании 26 флавоноидов в 231 пищевом продукте, определенных методом ВЭЖХ. В базу Phenol-Explorer включены данные о содержании 502 полифенолов в 452 пищевых продуктах, которые определяли также методом ВЭЖХ [9]. В базе данных Fir-Basis [10] содержатся сведения о 256 полифенолах в 199 пищевых продуктах. На основе данных, представленных в этих базах, можно составлять лечебное или профилактическое питание и проводить антиоксидантную терапию [11–15].

¹ Группа компаний «Сайтегра», Москва, yashin@scietegra.com.

Цель определений антиоксидантной активности (емкости) биологических проб – оценка окислительно-восстановительного баланса, редокс-баланса, антиоксидантного статуса. Это один из основных показателей здоровья человека, так как при всех патологиях он смещается в сторону окисленных форм вплоть до окислительного стресса – предшественника многих опасных болезней и преждевременного старения [16–20]. У здорового человека трехуровневая надежная антиоксидантная защита от свободных радикалов, однако, под воздействием неблагоприятных факторов (облучения, загрязнения пищевых продуктов и окружающей среды, эмоциональные стрессы, вредные привычки, физические перегрузки и другие факторы) и болезней антиоксидантный статус резко снижается. В этом случае применяют антиоксидантную терапию, рекомендуют употребление в пищу продуктов и напитков с содержанием антиоксидантов [21]: кверцетин, катехины, особенно эпигаллокатехингаллат, ресвератрол, куркумин, дигидротирозол, антоцианины, ликопин, астаксантин, дигидрокверцетин, изофлавоны, лигнаны и др. Нужно отметить, что эти сильные антиоксиданты обладают антиканцерогенным [22] и противовирусным действием [23]. Антиоксиданты зеленого чая, красного вина и клюквы подавляют бактерии хеликобактер пилори, которые вызывают рак и язву желудка.

Антиоксидантный статус оценивает суммарную антиоксидантную активность как эндогенных, так и экзогенных антиоксидантов в организме человека.

Эндогенные антиоксиданты постоянно присутствуют в биологических жидкостях человека: цистеин, восстановленный глутатион, убихинол, липоевая кислота, мочева кислота, трансферрин, ферритин, церулоплазмин, супероксиддисмутаза, глутатионтрансфераза, каталаза и др.

Экзогенные антиоксиданты попадают в организм человека с пищей: витамин А, С, Е, бета-каротин и другие каротиноиды, флавоноиды, фенольные кислоты, лигнаны и др.

Цели определения антиоксидантного статуса:

- общая оценка интегральной антиоксидантной активности организма человека для проведения антиоксидантной или иной целенаправленной терапии;
- новый критерий оценки состояния здоровья человека, так как при всех патологиях антиоксидантный статус снижается;
- установление факта дефицита антиоксидантов (как эндогенных, так и экзогенных) в организме человека;

- оценка возможного риска возникновения опасных болезней, связанных с недостатком антиоксидантов, так как окислительный стресс (или слабый антиоксидантный статус) – предшественник опасных заболеваний.

Таким образом, общий антиоксидантный статус – это комплексный показатель для оценки уровня антиоксидантной защиты организма человека от вредного воздействия свободных радикалов и реакционных кислородных и азотных соединений на жизненно важные молекулы ДНК, белки, углеводы.

При следующих патологиях антиоксидантный статус уменьшается (растет окислительный стресс): онкологические, сердечно-сосудистые, СПИД, поражения печени, сахарный диабет, ревматоидный артрит, нарушения мозгового кровообращения, нейродегенеративные заболевания (болезни Альцгеймера и Паркинсона, шизофрения, аутизм, синдром Дауна), инфекционные и воспалительные заболевания, болезни почек, пародонтоз, рассеянный склероз, волчанка, астма, бесплодие мужчин, алкоголизм, ускоренное старение и многие другие.

В литературе имеются публикации, подтверждающие наличие окислительного стресса при всех вышеперечисленных патологиях.

Таким образом, природные антиоксиданты можно считать неотъемлемой частью здорового и полноценного питания и защитой от опасных болезней и преждевременного старения [24]. В последнее время разработано много лекарств с антиоксидантными свойствами. Наша научная группа провела измерения антиоксидантной активности лекарств, экстрактов лекарственных трав и БАДов. Самая большая антиоксидантная активность была обнаружена у полиоксидония [25].

Методы измерения антиоксидантной активности

За последние десятилетия предложено много методов определения антиоксидантной активности, подобраны новые реагенты, модельные системы и приборы, опубликовано много обзоров по способам ее определения [26–44].

Для определения антиоксидантной активности используют разные химические и физико-химические методы, в основе которых чаще всего применяют косвенное измерение скорости или полноты реакции.

Описаны три типа методов, основанных на измерениях: потребления кислорода; образования продуктов окисления; поглощения (или связывания) свободных радикалов.

Сокращения основных методов

TRAP – total radical trapping antioxidant parameter (параметр общего улавливаемого радикалами антиоксиданта);

FRAP – ferric reducing antioxidant power (антиоксидантная способность снижать активность ионов трехвалентного железа);

TEAC (Randox) – trolox equivalent antioxidant capacity (антиоксидантная способность эквивалентная тролоксу);

ABTS – [2,2'-azinobis (3-ethylbenzthiazoline)-6-sulfonic acid (2,2'-азино-бис – (этилбензтиазолин – 6 сульфоновая кислота);

TBARS – thiobarbituric acid reactive substance (реакционное вещество тиобарбитуровая кислота);

DPPH (diphenyl picrylhydrazil radical) (радикал дифенил пикрилгидразил);

ORAC – oxygen radical absorbance capacity (способность поглощения радикалов кислорода).

В первом и втором случаях АА определяется на основе ингибирования степени или скорости потребления реактивов или образования продуктов.

В этих методах АА – функция многих параметров, в частности, времени, температуры, природы вещества, концентрации антиоксиданта и других соединений.

Антиоксидантная активность не может измеряться напрямую, обычно определяют влияние антиоксидантов на степень окисления исследуемых молекул. Предложенные методы обычно приводят к противоречивым результатам.

Недостаток многих методов измерения антиоксидантной активности – отсутствие истинных субстратов в процессе измерения. Чаще всего измеряется антиоксидантная активность к свободным синтетическим долгоживущим радикалам (ABTS, DPPH, AAPH и др.). В литературе предложено много терминов-синонимов: antioxidant ability, antioxidant power, antioxidant activity, antioxidant capacity [45]. Все они связаны с концентрацией антиоксиданта (активностью веществ или группы веществ).

Многие известные методы (TEAC, TRAP, AOS и др.) основаны на реакциях восстановления долгоживущих свободных радикалов или восстановления комплекса Fe (III).

Очевидно, что эти методы имеют недостатки, так как используются синтетические свободные радикалы, ничего общего не имеющие со свободными радикалами в организме человека.

Ниже рассмотрены механизмы работы основных методов.

Метод **FRAP** основан на восстановлении Fe(III) – трипиридил триазинового комплекса в Fe(II) комплекс при низких pH [46]. Это восстановление контролируется измерением поглощения в области 593 нм. Процесс измерения состоит в следующем: готовят 3 мл рабочего раствора реагента, в него добавляют 100–150 мкл разбавленного раствора анализируемой пробы, поглощение при длине волны 593 нм регистрируется через 30 мин термостатирования при 37 °С.

Этот метод используется для определения антиоксидантной активности биологических жидкостей, пищевых продуктов, растительных экстрактов [47]. Однако он не подходит для антиоксидантов с тиольными группами.

Метод **TEAC** основан на измерении изменения степени окраски долгоживущего катион-радикала голубого цвета при воздействии антиоксиданта [48]. Стабильный раствор ABTS⁺ получается при воздействии на водный раствор ABTS (2,2'-азино-бис 3-этилбензтиазолино-6-сульфоновая кислота) (рис. 1) персульфата калия определенной концентрации. Эта смесь выдерживается в темноте при комнатной температуре на протяжении 12–16 ч.

Перед анализом рабочий раствор ABTS⁺ разбавляется этанолом с плотностью поглощения 0,7 е.о.п. при 734 нм, что подтверждается спектрофотометром на диодной матрице. Результаты, измеренные методом TEAC, выражаются относительно тролокса (стандарт) в ммоль/кг или ммоль/л. Для анализа твердых пищевых продуктов используют водные, ацетоновые или хлороформные экстракты.

Метод **TBARS** применяется для оценки липидного окисления и основан на определении малонового диальдегида, который образуется при окислении жирных кислот с тремя двойными связями. При взаимодействии малонового диальдегида с тиобарбитуровой

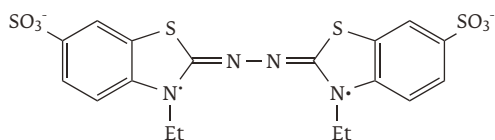


Рис. 1. Структурная формула 2,2'-азино-бис – этилбензтиазолин – 6 сульфоновой кислоты

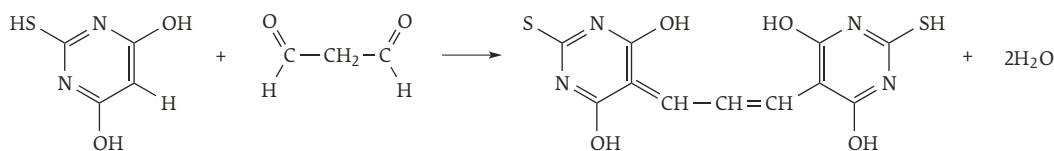


Рис. 2. Схема реакции малонового диальдегида с тиобарбитуровой кислотой

кислотой (рис. 2) раствор окрашивается в розовый цвет (532–535 нм).

Процесс измерения проходит в два этапа: сначала субстрат окисляется раствором ААРН или раствором, содержащим переходные металлы (Cu, Fe), затем добавляется раствор тиобарбитуровой кислоты и спектрофотометром измеряется поглощение. При добавлении антиоксиданта процесс окисления замедляется и поглощение снижается.

Этот метод – один из самых известных [49], он широко используется [50]. Селективность метода TBARS значительно повышается в сочетании с ВЭЖХ [51, 52].

Метод на основе DPPH (рис. 3). DPPH-радикал имеет область поглощения при 517 нм. В этом методе измеряется количество антиоксиданта, необходимого для 50%-ного уменьшения первоначальной концентрации DPPH [53]. При этом рассчитывается время, необходимое для достижения вышеуказанного состояния.

Оба параметра характеризуют антирадикальную емкость или эффективность (antiradical capacity, antiradical efficiency) [54].

Действие долго- и короткоживущих радикалов *in vivo* совершенно разное.

ORAC – один из распространенных методов определения антиоксидантной активности, особенно в США, был предложен Г. Као, который позднее совместно с Р. Прайером автоматизировал метод.

ORAC основан на измерении зависимости интенсивности флуоресценции от времени протекания реакции. Количественная оценка антиоксидантной активности проводится по определению площади между двумя кривыми показаний реакций – без антиоксиданта и в его присутствии.

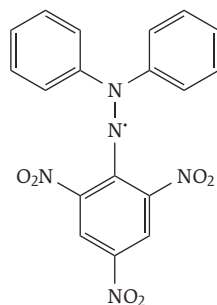


Рис. 3. DPPH-радикал

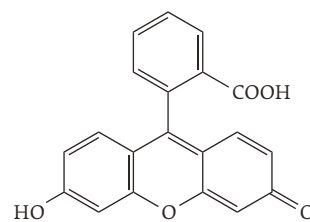


Рис. 4. Флуоресцеин

В качестве флуоресцирующего вещества в первые годы применялся белок В-фикоэритрин. С ним получались несколько заниженные результаты, так как этот белок вступал в реакцию с полифенолами. Поэтому позднее был предложен флуоресцеин – более стабильное флуоресцирующее соединение (рис. 4).

В этом методе в качестве источника перекисных радикалов используется 2,2'-азо-бис-(2-амидинопропан) дигидрохлорид (ААРН). На рис. 5 приведена реакция его распада на свободные радикалы при температуре 37 °С. В качестве стандарта в методе ORAC используется тролокс, водорастворимый аналог витамина Е (рис. 6).

Измерение флуоресценции проводят при 515 нм, длина волны возбуждения 485 нм.

Измерение интенсивности флуоресценции проводят через каждую минуту в течение 35 мин как с антиоксидантом, так и без него. Таким образом, общее измерение длится 70 мин. Результаты, полученные для каждого анализа, рассчитываются

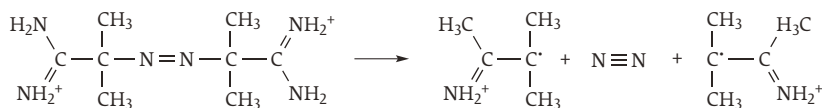


Рис. 5. Реакция распада ААРН на свободные радикалы

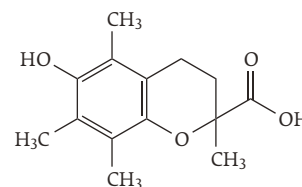


Рис. 6. Тролокс

по градуировочным графикам и представляются в мкмоль/1 г сухого вещества.

Общий механизм работы метода ORAC заключается в следующем. В растворе реактив AAPH разлагается при 37 °С с выделением пероксида свободного радикала. При добавлении антиоксиданта (или смеси антиоксидантов) гашение свечения уменьшается за счет того, что антиоксиданты нейтрализуют воздействие свободных радикалов на флуоресцеин. Сходимость метода в виде СКО в пределах $\pm 15\%$.

Метод ORAC широко используется для определения антиоксидантной активности пищевых продуктов: чая, фруктов, овощей, смеси экстрактов растений, а также тканей животных, некоторых биологически активных соединений – мелатонина, дофамина и разных флавоноидов.

Разработан вариант ORAC для измерения липофильных антиоксидантов. Для повышения растворимости использовали метилированный β -циклодекстрин. Такой вариант применили для определения общей антиоксидантной емкости 28 наиболее распространенных пищевых продуктов из четырех регионов США, собранных в течение двух сезонов. Исследуемые продукты включали фрукты, овощи, орехи, сухие фрукты.

Нужно отметить, что банк данных, содержащих значения антиоксидантной активности пищевых продуктов в США, создается с использованием метода ORAC.

ORAC официально номинирован и принят в 2013 году Международной ассоциацией AOAC в качестве теста первого уровня на определение антиоксидантной активности, однако через пять лет это решение было отменено в связи с его плохой воспроизводимостью.

Причина отказа состоит также в продолжительности процедуры, которая включает несколько стадий, сигналы регистрируются с помощью сложной и дорогостоящей аппаратуры: спектрофотометров и флуориметров.

Электрохимические методы оценки антиоксидантной активности

Более перспективны электрохимические методы оценки интегральной антиоксидантной способности, так как взаимодействие активных кислородных соединений в водных средах сопровождается передачей электрона, то есть они имеют электрохимическую природу.

В работах [55, 56] предложено использовать для определения антиоксидантной способности электрогенерированные окислители: хлор, бром и йод.

Электрогенерацию галогенов в методе кулонометрического титрования проводили при постоянной силе тока 5,0 мА из 0,2 М водных растворов KCl и KBr в 0,1 МН₂SO₄ с определением конца титрования амперометрической индикацией с двумя поляризованными платиновыми электродами. Авторами этого метода впервые введена характеристика «бромная антиоксидантная способность», которая выражается в единицах количества электричества (кулонах), затраченного на титрование 100 г (или 100 мл) исследуемого объекта электрогенерированным бромом.

Значение бромной антиоксидантной способности отражает суммарное содержание антиоксидантов в пищевых продуктах и экстрактах лекарственного растительного сырья [55, 56]. Однако следует отметить, что бром, йод могут взаимодействовать не только с антиоксидантами, но и с другими соединениями.

В работах [45, 57] предложен потенциометрический метод определения антиоксидантной активности с использованием медиаторной системы гексацианферрата калия K₃[Fe(CN)₆]/K₄[Fe(CN)₆].

Метод был успешно применен для определения антиоксидантной активности, как чистых химических соединений, так и продуктов питания, БАДов и экстрактов лекарственных растений [45, 57].

Следующий электрохимический метод – катодная вольтамперометрия [58, 59], в которой используется реакция электровосстановления кислорода в качестве модельной.

Для определения антиоксидантов в исследуемых веществах рассматривали зависимости предельного тока первой волны электровосстановленного кислорода от концентрации их в объеме раствора и от времени протекания процесса.

В этом методе в качестве индикаторного использовали ртутно-пленочный электрод, который запрещен во многих странах.

Этим методом измерены величины антиоксидантной активности многих пищевых продуктов и биологических проб [58–60].

В работе [61] предложен метод одновременного определения общего полифенольного индекса и общего антоцианового индекса с использованием инжекционно-проточной установки и спектрофотометрического детектирования на двух длинах волн 280 и 520 нм.

Для определения антиоксидантов использован жидкостный хроматограф с двумя детекторами: спектрофотометрическим на диодной матрице и хемилюминесцентным [62]. Возможности определения антиоксидантной активности фенольных

соединений (оксикислот, флавоноидов, токоферолов) методом ВЭЖХ с кулонометрическим детектором приведены в работе [63]. Показано: чем меньше потенциал окисления фенольных соединений, тем больше его антиоксидантная активность.

Амперометрический метод и прибор для суммарного определения антиоксидантов

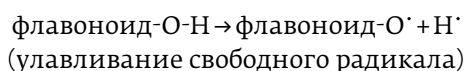
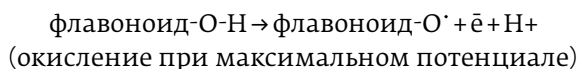
Механизм амперометрического определения

Амперометрическое детектирование (АД) основано на измерении электрического тока в ячейке, возникающего при окислении анализируемого вещества на поверхности рабочего электрода при определенном потенциале. Таким образом, при амперометрическом детектировании регистрируется зависимость тока, протекающего через ячейку, от концентрации анализируемого вещества. Время нахождения молекул вещества на поверхности электрода составляет всего лишь миллисекунды, намного меньше, чем требуется для их полного превращения (окисления, восстановления) на поверхности, поэтому степень превращения колеблется в пределах от 1 до 10%. Однако при этом чувствительность амперометрического детектора остается очень высокой из-за очень малых величин шумов, порядка 10^{-12} А [64–69].

В случае кулонометрических детекторов с использованием пористых электродов создаются условия полного окисления или восстановления всех молекул пробы. Чувствительность при этом может повышаться, но возрастают и шумы, поэтому реальный предел детектирования не растет. Кроме того, при кулонометрическом детектировании нет возможности очищать электрод.

Большое преимущество кулонометрического детектора заключается в том, что сигнал не зависит от скорости элюента, температуры, геометрии ячейки и других параметров.

В работе [63] было указано, что электрохимическое окисление может быть использовано как модельное при измерении активности поглощения свободных радикалов, в соответствии со следующими уравнениями:



Обе реакции включают разрыв одной и той же связи O-H[•], H[•] состоит из $\dot{\text{e}} + \text{H}^+$. Таким образом,

способность к захвату свободных радикалов флавоноидами или другими полифенолами (т. е. их антиоксидантная активность) [63] может измеряться величиной окисляемости этих соединений на рабочем электроде амперометрического детектора. Антиоксидантная активность флавоноидов и оксикислот в этом случае зависит от структуры молекул. В частности, от степени экранировки гидроксильных групп в бензольном кольце, от ортоэффекта двух гидроксильных групп, или гидроксильной и карбоксильной групп. В ортоположении имеет место внутримолекулярная водородная связь, изменяющая антиоксидантную активность.

Амперометрический метод – единственный, при котором непосредственно измеряется содержание всех антиоксидантов в пробе. Другие методы – непрямые, в них измеряется ингибирование реакционных смесей (в частности, свободных радикалов), генерированных определенными реакциями. Метод восстановления Fe^{3+} до Fe^{2+} (FRAP) также определяет суммарно антиоксиданты, но не все антиоксиданты, в частности, тиолы, так как их восстановительный потенциал значительно ниже потенциала превращения Fe^{3+} в Fe^{2+} [70]. Амперометрический метод успешно был применен ранее для определения антиоксидантной способности разных вин [71]. В работе было отмечено, что метод прямой, точный, объективный и быстрый. В работе [72] этот метод был применен для определения антиоксидантной способности оливкового масла из разных стран (Италия, Греция, Франция, Испания, Марокко, Тунис), то есть жирорастворимых проб. Метод позволяет оценить качество, подлинность оливкового масла. В работе [73] определена антиоксидантная активность присутствующих в овощах липофильных соединений, таких как каротиноиды, хлорофилл, токоферолы и капсаицин. По чистым соединениям оценена их антиоксидантная активность (в порядке уменьшения) ликопен > бета-каротин > зеаксантин > альфа-каротин > бета-криптоксантин > лютеин > альфа-токоферол > капсаицин > хлорофилла > хлорофилл > астаксантин > сантаксантин. Результаты измерения антиоксидантной активности для экстрактов пяти овощей и двух фруктов сравнивались с методом ABTS. Получена хорошая корреляция между методами для экстрактов всех овощей и фруктов, за исключением шпината. Авторы работы делают заключение, что амперометрический метод может успешно использоваться для прямого, быстрого и надежного мониторинга антиоксидантной способности липофильных экстрактов пищевых продуктов. Амперометрический (электрохимический) метод применяется также для определения антиокислительного статуса человека [74].

Общие принципы электрохимического определения природных антиоксидантов рассмотрены в обзоре [75]. Амперометрический детектор в комбинации с высокоэффективной жидкостной хроматографией широко применяется для определения полифенолов в пищевых продуктах и напитках [73], катехина в плазме человека после употребления зеленого чая, аскорбиновой и дигидроаскорбиновой кислот в плазме и спинномозговой жидкости [74].

Сопоставление различных методов определения антиоксидантов с амперометрическим

Для измерения антиоксидантной активности или суммарного содержания антиоксидантов в растительных и биологических объектах предложены десятки методов (см. обзоры [26–44]). К сожалению, результаты, полученные при использовании различных методов, не коррелируют между собой. Это относится к измерениям как на растительных [76], так и на биологических объектах [77].

В работе [76] проведены измерения содержания антиоксидантов в ягодах, фруктах, овощах тремя самыми распространенными методами: TEAC, TRAP и FRAP. Для большинства продуктов корреляции между измерениями этими методами нет.

В настоящее время наиболее актуальной задачей является разработка методов, которые непосредственно связали бы значения антиоксидантной активности с количественным содержанием антиоксидантов.

Амперометрический метод хорошо коррелируется с методом ABTS при измерении антиоксидантов в овощах, за исключением шпината.

Сопоставление наших измерений антиоксидантов в ягодах, фруктах и овощах с аналогичными измерениями методом FRAP показало, что корреляция имеет место, по крайней мере, последовательность в порядке уменьшения антиоксидантов в пищевых продуктах совпадает.

Ранее проведено сравнение методов ORAC, Randox-TEAC и FRAP при определении антиоксидантной емкости сыворотки человека.

Корреляции между методами FRAP и ORAC $r^2=0,349$, между методами TEAC и ORAC, TEAC и FRAP очень низкие и стремятся к нулю.

Слабая корреляция между FRAP и ORAC и отсутствие корреляции между ORAC-TEAC и FRAP-TEAC объясняется авторами статьи разными механизмами этих методов.

Проведено сопоставление методов ORAC и FRAP при определении антиоксидантной активности овощей (белая капуста, морковь, белый и красный лук, томаты, свекла, шпинат, красный и зеленый перец и др.).

Наилучшая корреляция была определена для свеклы ($r^2 \approx 0,96$), моркови ($r^2 \approx 0,78$). Для остальных овощей корреляция низкая в пределах 0,005–0,15.

Слабая корреляция в этой работе также объясняется разными механизмами методов. Метод ORAC измеряет способность антиоксидантов овощей гасить активность пероксидных радикалов, а в методе FRAP определяется способность антиоксидантов овощей восстанавливать Fe (III) до Fe (II).

При определении антиоксидантной активности овощей одновременно методами FRAP, TRAP и TEAC также не было корреляции [76]. Наблюдалась небольшая корреляция при определении этими методами антиоксидантной активности фруктов, ягод, напитков.

Нами проведено сопоставление измерений содержания антиоксидантов в сублимированных пищевых продуктах фирмы NatureCeuntical методом ORAC и амперометрическим методом (23 продукта).

Как видно из табл. 1 и графической зависимости (рис. 7), получена хорошая корреляция для этих продуктов. Такая корреляция (0,96) впервые получена на большом числе продуктов разной природы (фрукты, ягоды и пр.). Возможно, корреляция будет лучше, если в обоих методах использовать в качестве

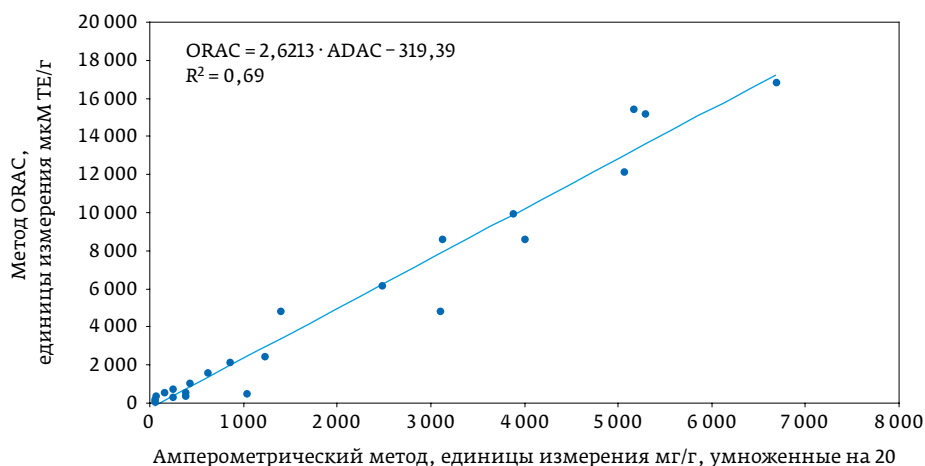


Рис. 7. Корреляция методов ORAC и амперометрического при определении общего содержания антиоксидантов

стандарта одно и то же вещество, например тролокс.

Далее планируется проведение сопоставления этих методов измерения по индивидуальным флавоноидам и полифенолам, имеющим разную геометрическую структуру.

В случае положительных результатов при сопоставлении этих методов на большом числе данных амперометрический метод может использоваться параллельно с методом ORAC.

Таблица 1. Сравнение измерений суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в сублимированных порошках и экстрактах фруктов и ягод амперометрическим методом (АД) и методом ORAC

Сублимированные порошки и экстракты фруктов и ягод	(АД)ССА × 20, мг/г (стандарт-кверцетин)	ORAC, мкмоль ТЕ/г (стандарт-тролокс)
Виноград	51	82
Фрукт нони	58	175
Клюква	70	340
Лесная голубика	162	520
Малина (зерна)	244	310
Жидкий экстракт ягод кофе	252	733
Малина	378	387
Ежевика	380	520
Бузина	432	1 054
Экстракт малины	626	1 583
Экстракт граната	858	2 120
Клубника	1 038	510
Концентрат порошка ягод кофе	1 230	2 409
Ягоды кофе форте	1 400	4 800
Черника	2 480	6 153
Смесь тропических фруктов «Витаберри»	3 104	4 800
Экстракт яблока	3 120	8 600
Смесь фруктов «Витаберри»	3 880	9 910
25%-ный экстракт лесной черники	4 008	8 617
Экстракт косточек винограда	5 062	12 108
Форте концентрат ягод кофе	5 168	15 446
«Витаберри Плюс»	5 296	15 197
Экстракт ягод кофе форте	6 688	16 819

Перечень приборов и установок для определения антиоксидантной активности (емкости)

- Вольтамперометрический анализатор «ТА-2» (ООО «Томьяналит», Томск);
- иммуноферментный анализатор с открытой системой. Фотометрические измерения на микропланшете АИФ-Ц-01С. Тест система OxyStat;
- прибор «Близар» (ООО «Интерлаб») с использованием амперометрического метода;
- наборы реагентов для количественного определения общего антиоксидантного статуса методом иммуноферментного анализа (NKC5200 Биохиммак. Упаковка 96 тестов фирмы InstrumentationLaboratoryWerfen);
- прибор Randox (Великобритания) – тест-система для определения общей антиоксидантной активности сыворотки крови человека (метгемоглобин – H₂O₂ – ABTS – Trolox);
- Agilent Cary Eclipse for the ORAC assay (флуоресцентный спектрофотометр);
- прибор Photochem на основе фотохемилюминисценции (Аналитик Йена);
- ESP spectroscopy Bruker ESP 300 L-bond (1.09 GHz);
- MetrohmSwisserband 892 Professional Rancimat;
- Pharmanex Bio Photonic Scanner (skin carotenoid score);
- Biotek – EL – 800 Instrument, WinoskiVermount;
- The Cayman chemical Antioxidant Assay Kit

Особенно амперометрический метод выгоден для быстрого исследования большого массива продукта, так как время одного определения (без пробоподготовки) 1–3 мин.

Амперометрический метод удобен для экспрессного определения биопроницаемости (биодоступности) антиоксидантов разной природы из разных продуктов.

Немаловажна невысокая стоимость амперометрического метода.

Были неудачные попытки стандартизации методов [76, 77]. В работах [78–84] проведено сравнение

разных методов, в большинстве случаев были большие расхождения.

В последние годы для определения антиоксидантной активности использовались разные спектрометрические методы: ИКС [85–87], флуориметрический [88], спектрофотометрический [89], хемилюминесцентный [90, 91]. Весьма информативными оказались методы ВЭЖХ с разными детекторами: общие обзоры измерения АА методами ВЭЖХ [92–94], ВЭЖХ с амперометрическим детектором [95, 96], флуориметрическим детектором [97].

Представляют интерес измерения АА отдельных классов природных антиоксидантов: полифенолов [98, 99], лигнанов [100], флавоноидов [101], антоцианинов [102], хлорогенных кислот [103], фенольных кислот [104], каротиноидов [105], процианидинов [106], изофлавонов [1–7]; а также отдельных сильных антиоксидантов: куркумин [108], астаксантин [109], рутин [110] ресвератрол [111].

Описаны измерения АА белков, пептидов, аминокислот, мелатонина, серотонина.

С помощью прибора Близар и его предшественника ЦветЯуза-01-АА измерена АА ежедневно употребляемых пищевых продуктов (табл. 2) и безалкогольных и алкогольных напитков. В ней содержатся ссылки на литературу с ценной информацией для составления профилактического антиоксидантного питания.

АА или суммарное содержание антиоксидантов, измеренных в основных безалкогольных и алкогольных напитках: чай [125], кофе [126, 127], какао [128], красное вино [129, 130], другие вина [131], балзамы [132], пиво [133], соки, нектары ягодные и фруктовые, соки овощные, квас и напитки [3].

Заключение

В обзоре приведены и описаны основные методы измерения антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических жидкостей человека. Впервые приведена классификация типов приборов и установок для измерения АА. Перечислены исследованные значения АА различных классов полифенолов, ежедневно употребляемых продуктов питания и напитков.

Это полезная информация для диетологов и врачей. Измерение антиоксидантного статуса относится к направлениям исследований, которые признаются наиболее актуальными в современной медицине. Контроль антиоксидантного статуса можно проводить в медицинских центрах разного профиля, центрах здоровья, в пансионатах, санаториях. Эти анализы могут установить болезнь на ранней стадии и приостановить ее в самом начале, не допуская развитие.

Таблица 2. Антиоксидантная активность ежедневно употребляемых пищевых продуктов, измеренных амперометрическим методом

Продукты	Ссылки
Злаки, крупы и хлебобулочные изделия	113
Злаки и бобовые культуры	114
Проросшие зерна	116
Картофель	117, 118
Молочные, мясные и рыбные продукты	119
Красная икра	119
Растительные масла	119
Фрукты и овощи	120
Ягоды	121
Специи	122
Зелень	2
Семена фруктов, ягод и овощей	123
Мед и медопродукты	124
Орехи	2
Шоколад	116

Литература

1. Carlsen M. N., Halvorsen B. L., Holte K., Bohn S. K. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide *Nutr. J.* 2010;9:1–11.
2. Яшин Я. И., Рыжнев В. Ю., Яшин А. Я., Черноусова Н. И. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и их влияние на здоровье и старение человека // Транслит. М., 2009. 212 с.
3. Yashin Ya. I., Nemzer B. V., Ryzhnev V. Yu., Yashin A. Ya., Chernousova N. I. and Fedina P. A. Creation of a Databank for Content of antioxidants in food products by an amperometric method *Molecules* 2010;15:7450–7466.
4. МВИ 31-07. Методика выполнения измерений содержания антиоксидантов в напитках и пищевых продуктах, биологически активных добавках, экстрактах лекарственных растений амперометрическим методом.
5. МВИ 120-08. Методика выполнения измерений суммарного содержания жирорастворимых антиоксидантов в пищевых продуктах амперометрическим методом.
6. ГОСТ Р 54037-2010. Продукты пищевые. Определение содержания водорастворимых антиоксидантов амперометрическим методом в овощах, фруктах, продуктах их переработки, алкогольных и безалкогольных напитках.
7. ГОСТ Р 54036-2010. Продукты пищевые. Определение содержания водорастворимых антиоксидантов в клубнях картофеля амперометрическим методом.
8. USDA Database for the flavonoid content of selected foods 2009.
9. Perez-Jimenez J., Neveu V., Vos F., Scalbert A. Systematic analysis of the content of 502 polyphenols in 452 food and beverages – an application of the Phenol-Explorer database *J. Agric. Food Chem.* 2010;58:4959–4969.
10. Gry J., Black L., Eriksen F. D. et al. EuroFIR-BASIS – a combined composition and biological activity database for bioactive compounds in plant-based foods *Trends Food Sci. Technol.* 2007;18:434–444.

11. Nemzer B. V., Yashin Ya. I., Yashin A. Ya. The issues of antioxidant therapy. *American J. Biomed. Sci.* 2013;5:80–108.
12. Шанин Ю. Н., Шанин В. Ю., Зиновьев Е. В. Антиоксидантная терапия в клинической практике. М.: Изд-во «Эллон», 2009. 128 с.
13. Firuzi O., Miri R., Tavakkoli M., Saso L. Antioxidant therapy-current status and future prospects. *Current Med. Chem.* 2011;18:3871–3888.
14. Nutritional Antioxidant Therapy. Treatment and Perspectives. Eds K. H. Al-Gubory, I. Laher. Springer Intern. Publishing AG. 2017.
15. Dasgupta A., Klein K. (Eds). Antioxidants in food, vitamins and supplements. Prevention and treatment of disease. Elsevier. 2014.
16. Oxidative stress – diagnostics, prevention and therapy. Eds M. Hepel, S. Anderson. ACS. Washington. 2015.
17. Preedy V. R. Aging. *Oxidative stress and dietary antioxidants*. Academic Press. San Diego. 2014.
18. Bjorklund G., Chirumbolo S. Role of oxidative stress and antioxidants in daily nutrition and human health. *Nutrition*. 2016;32:311–321.
19. Pisoschi A. M., Pop A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress- a review. *Eur. J. Med. Chem.* 2015;97:55–74.
20. Брайнина Х. З., Герасимова Е. Н., Казаков Я. Е., Ходос М. Я. Окислительный стресс: природа, вклад в патогенез, защита и диагностика. Химический анализ в медицинской диагностике. Под ред. Будникова Г. К. Наука. 2010;11:132–163.
21. Nemzer B. V., Yashin A. Ya., Vedenin A. N., Yashin Ya. I., Yashunsky D. V., Nifantiev N. E., Kalita D. Selected powerful natural antioxidants – structure, food sources, important health benefits. *J. Food Research*. 2019;8:60–70.
22. Яшин А. Я., Веденин А. Н., Яшин Я. И., Василевич Н. И. Профилактика онкологических заболеваний пищевыми продуктами, содержащими противоканцерогенные природные антиоксиданты. Лаб. и Пр-во. 2019;6:52–62.
23. Яшин А. Я., Веденин А. Н., Яшин Я. И. Антивирусное действие природных полифенолов-антиоксидантов: их структура, пищевые источники и определения. Лаб. и пр-во. 2020;5:76–87.
24. Яшин А. Я., Веденин А. Н., Яшин Я. И. Природные антиоксиданты – неотъемлемая часть здорового и полноценного питания и защита человека от опасных болезней. Обзор. Сборник «Питание и обмен веществ» вып. 4. Научный редактор член-корр. АН РФ Мойсенок А. Г. 2016. С. 378–394.
25. Яшин Я. И., Веденин А. Н., Яшин А. Я. Лекарственные препараты, лекарственные растения БАДы с антиоксидантной активностью. Сорбц. и хромат. процессы. 2017;17:916–925.
26. Gupta D. Methods for determination of antioxidant capacity: a review. *Intern. J. Pharm. Sci. Research*. 2015;6:546–566.
27. Shahidi F., Zhong Y. Measurement of antioxidant activity. *J. Funct. Foods*. 2015;18:757–781.
28. Pisoschi A. M., Negulescu G. P. Methods for total antioxidant activity determination. A review. *Biochem. and Anal. Biochem.* 2011;1:1–10.
29. Apak R., Gorinstein, Bohm V., Schaich K. M., Ozyuren M., Guelu K. Methods of measurements and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC Technical Report) *Pure Appl. Chem.* 2013;85:957–998.
30. Magalhass L. M. et al. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties *Analytica Chimica Acta*. 2008;813:1–19.
31. Prieto M. A., Vazquez J. A., Murado M. A. A critical point – The problems associated with the variety of criteria to quantitation the antioxidant capacity *J. A. F. C.* 2014;62:5472–5484.
32. Niki E. Antioxidant capacity- which capacity and how to assess. Review. *J. Berry Res.* 2012;2:169–176.
33. Наумова Н. Л. Современный взгляд на проблему исследования антиоксидантной активности пищевых продуктов. Вестник ЮУрГУ, серия «Пищевые технологии». 2014;1:1–9.
34. Karaday A., Ozelic B., Saner S. Review of methods to determine antioxidant capacities *Food Anal. Methods*. 2009;2:41–60.
35. Lopez-Alarcon C., Denicoda A. L. Evaluating of antioxidant capacity of natural products- a review on chemical and cellular-based assays. *Anal. Chim. Acta* 2013;763:1–10.
36. Bunaciu A. A., Danet A. F., Flescher S., Aboul-Enein H. Y. Recent application for in vitro antioxidant activity assay. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 2016;46:389–399.
37. Amorati R., Valgimigli L. Methods to measure the antioxidant activity of phytochemicals and plant extracts. *J. Agric. Food Chem.* 2018;4:3324–3329.
38. Alam M. N., Bristi N. J., Rafiquzzaman M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharm. J.* 2013;21:143–152.
39. MacDonald-Wicks K. L., Wood L. G., Garg M. L. Methodology for the determination of biological antioxidant capacity in vitro – a review. *J. Sci. Food Agric.* 2006;86:2046–2056.
40. Antolovich M., Prenzler P. D., Potsalides E., McDonald S. and Robards K. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst* 2002;127:183–198.
41. Perez D., Leighton F., Aspee A., Aliaga C. and Lissi E. A comparison of methods employed to evaluate antioxidant capabilities. *Biological Research* 2000;33:1–10.
42. Llesuy S., Evelson P., Campos A. M. and Lissi E. Methodologies for evaluation of total antioxidant activities in complex mixtures. A critical review. *Biological Research* 2001;34:1–22.
43. Хасанов В. В., Рыжова Г. Л., Мальцева Е. В. Методы исследования антиоксидантов. Химия растительного сырья 2004;3:63–95.
44. Roginsky V., Lissi E. A. Review of methods to determinate chain-breaking antioxidant activity in food. *Food chemistry* 2005;92:235–254.
45. Brainina Kh. Z., Ivanova A. V., Sharafutdinova E. N., Lozovskaya E. L., Shkarina E. I. Potentiometry as a method of antioxidant activity investigation. *Talanta* 2007;71:13–18.
46. Benzie I. F. F., Strain J. J. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods Enzymol.* 1999;299:15–27.
47. Gardner P. T., White T. A. C., McPhail D. B., Duthie G. G. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chem.* 2000;68:471–474.
48. Rice-Evance C., Miller N. J. Total antioxidant status in plasma and body fluids *Methods Enzymol.* 1994;234:279–293.
49. Kishida E., Tokumaru S., Ishitani Y., Yamamoto M., Oribe M., Iguchi H., Kojo S. Comparison of the formation of malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactive substances from autoxidized fatty acids based on oxygen consumption *J. Agric. Food Chem.* 1993;41:1598–1600.
50. Fernandez J., Perez-Alvarez J. A., Fernandez-Lopez J. A. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chem.* 1997;59:345–353.
51. Chirico S., Smith C., Marchant C., Mitchinson M. J., Halliwell B. Lipid peroxidation in hyperlipidaemic patients. A study of plasma using an HPLC-based thiobarbituric acid test. *Free Radical Research Communications*. 1993;19:51–57.
52. Shih M. K., Hu M. L. UVA-induced oxidative damage to rat liver nuclei: reduction of iron ions and the relationship between lipid peroxidation and DNA damage *Mutat. Res.* 1999;438:125–132.
53. Krings U., Berger R. G. Antioxidant activity of some roasted foods. *Food Chem.* 2001;72:223–229.
54. Sanchez-Moreno C., Larrauri J. A., Saura-Calixto F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J. Sci. Food Agric.* 1998;76:270–276.
55. Абдуллин И. Ф., Турова Е. Н., Будников Г. К. Кулонометрическая оценка антиоксидантной способности экстрактов чая электрогенерированным бромом. Журнал аналит. химии. 2001;56:627–629.
56. Абдуллин И. Ф., Турова Е. Н., Будников Г. К., Зиятдинова Г. К., Гайсина Г. Х. Электрогенерированный бром – реагент для определения антиоксидантной способности соков и экстрактов. Заводская лаборатория. 2006;62:13–15.
57. Брайнина Х. З., Иванова А. В., Шарафутдинова Е. Н. Известия высших учебных заведений. Оценка антиоксидантной активности пищевых продуктов методом потенциометрии. Пищевая технология. 2004;4:73–75.
58. Короткова Е. И. Новый способ определения активности антиоксидантов. Журнал физической химии. 2000;74:1544–1546.
59. Korotkova E. I., Karbainov Y. A., Shevchuk A. V. Study of antioxidant properties by voltammetry. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2002;518:56–60.

60. Короткова Е. И., Аврамчик О. А., Юсубов М. С., Белоусов М. В., Андреева Т. И. Определение антиоксидантной активности экстрактов растительного сырья методом катодной вольтамперометрии. *Хим.-фарм. журнал*. 2003;3763-65.
61. Gonzalez-Rodriguez J., Perez-Juan P., Luque de Castro M. D. Method for the simultaneous determination of total polyphenol and anthocyan indexes in red wines using a flow injection approach. *Talanta*. 2002;56:53-59.
62. Dapkevicius A., Van Beek T. A., Niederlander H. A. G. Evaluation and comparison of two improved techniques for the on-line detection of antioxidants in liquid chromatography eluates. *J. Chromatog.* 2001;912:73-82.
63. Peyrat-Maillard M. N., Bonnely S., Berset C. Determination of the antioxidant activity of phenolic compounds by coulometric detection. *Talanta* 2000;51:709-716.
64. Яшин А. Я. Новые возможности амперометрического детектирования (АД) в ВЭЖХ. *Ж. аналит. химия* 2000;55:1214-1217.
65. Яшин А. Я., Яшин Я. И. Аналитические возможности амперометрического детектирования в ВЭЖХ. *Журнал хроматографического товарищества (г. Киев)* 2002;2:19-39.
66. Яшин Я. И., Яшин А. Я. Анализ с ЭХД. *Ж. аналит. химия* 2004;59:1237-1243.
67. Яшин А. Я. Определение содержания антиоксидантов в пище. *Мир измерений* 2008;2:14-17.
68. Яшин А. Я. Инжекционно-проточная система с АД для селективного определения антиоксидантов в пищевых продуктах и напитках. *Рос. хим. журнал* 2008;52:130-135.
69. Яшин А. Я. Применение ВЭЖХ с АД в жизненно важных областях: медицине, анализе пищевых продуктов, экологии. В книге «Хроматография на благо России», М.: Изд. «Граница», 2007, с. 390-420.
70. Halvorsen B. L., Holte K., Myhrstad M. C. W. et al. A systematic screening of Total Antioxidants in dietary plants. *J. Nutr.* 2002;132:461-471.
71. Mannino S., Brenna O., Buratti S., Cosio M. S. A new method for the evaluation of the «antioxidant power» of wines. *Electroanalysis* 1998;10:908-912.
72. Mannino S., Buratti S., Cosio M. S., Pellegrini N. Evaluation of the «antioxidant power» of olive oils based on a FiA system with amperometric detection. *Analyst*. 1999;124:1115-1118.
73. Buratti S., Pellegrini N., Brenna O. V., Mannino S. Rapid electrochemical method for the evaluation of the antioxidant power of some lipophilic food extracts. *J. Agric. Food Chem.* 2001;49:5136-5141.
74. Hansley K. Определение окислительного стресса ВЭЖХ с электрохимическим детектором. *J. High Resolut. Chromat.* 1999;22:429-437.
75. Kilmartin P. A. Electrochemical detection of natural antioxidant: principles and protocols. *Antioxidants and Redox Signaling*. 2001;3:941-955.
76. Prior R. L., Wu X., Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in food and dietary supplement. *J. Agric. Food Chem.* 2005;53:4290-4302.
77. Frankel E. N., Finley J. W. How standardize the multiplicity of methods to evaluate natural antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 2008;52:4901-4908.
78. Schaich K. M., Tian X., Xie J. Reprint of Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy- a critical evaluation of ABTS, DPPH and ORAC assays. *J. Funct. Foods*. 2012;14:111-125.
79. Zielinska D., Szawara-Nowak D., Zielinski H. Comparison of spectrophotometric and electrochemical methods for evaluation of the antioxidant capacity of buckwheat products after hydrothermal treatments. *J. Agric. Food Chem.* 2007;55:6124-6136.
80. Tabart J. K., Pincemail C., Defraigne J., Dommès J. G. Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chem.* 2009;113:1221-1233.
81. Bodarin TH A. V., Mallikarjuna K. et al. A review on in vitro antioxidant methods- comparison, correlation and considerations. *Intern J. Pharm. Techn. Research*. 2010;2:1276-1285.
82. Pisoshi A. M., Cheragi M. C., Danet A. F. Total antioxidant capacity of some commercial fruit juices electrochemical and spectrophotometrical approaches. *Molecules*. 2009;14:480-493.
83. Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K. et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J. Food Composition Analysis*. 2006;19:669-675.
84. Zulueta A., Esteve M. J., Frigola A. ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chem.* 2009;114:310-316.
85. Xu X., Rasco B. A. Determination of antioxidant content and antioxidant activity in foods using infrared spectroscopy and chemometrics. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2012;52:853-875.
86. Wu D., Chen G., Lu B. et al. Application of near infrared spectroscopy for the rapid determination of antioxidant activity of bamboo leaf extract. *Food Chem.* 2012;135:2147-2156.
87. Bunaciu A. A., Aboul-Enein H. Y., Fleschin S. FTIR spectrophotometric methods used for antioxidant activity in medicinal plants. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2012;47:245-255.
88. Tubaro F., Pizzuto R., Raimo G., Paventi G. A novel fluorimetric method to evaluate red wine antioxidant activity. *Periodica Polytechnica chemical engineering*. 2019;69:57-64.
89. Buguktuncel E., Porgali E., Colak C. Comparison of total phenolic content and total antioxidant activity in local red wines determined by spectrophotometric methods. *Food Nutr. Sci.* 2014;5:1660-1667.
90. Popa C. V., Farcasanu I. C., Jipa S. et al. Chemiluminescence determination of the total antioxidant capacity of Rosemary extract. *Revista de chimie*. 2012;63:715-719.
91. Pogacnic L., Ulrich N. P. Application of optimized chemiluminescence assay for determination of the antioxidant capacity of herbal extracts. *Luminescence*. 2012;27:505-510.
92. Niederlander H. A. M., van Beek T. A., Bartasiute A., Koleva I. Antioxidant activity assays on-line with liquid chromatography. *J. Chromat. A*. 2008;1210:121-134.
93. Ульянова Е. В., Ларионов О. Г., Ревина А. А. ВЭЖХ в исследовании антиоксидантных свойств вин. *Сорбц. и хромат. Процессы*. 2010;10:522-532.
94. Яшин А. Я. Определение теафлавинов в черных чаях разных стран методом ВЭЖХ с амперометрическим детектором. *Сорбц. и хромат. процессы*. 2020;20:8-21.
95. Glod B. K. et al. Determination of catecholamines and total antioxidant potential plasma of blood by RP HPLC-ECD. *Acta Chromatographica*. 2004;14:142-148.
96. Glod B. K., Piszcz P., Beta A., Zarzycki P. K. RP-HPLC with fluorescence detection assay for the determination of total antioxidant potential (TAP). *J. Liq. Chrom. Relat. Techn.* 2012;35:1194-1201.
97. Celic S. E., Ozyurek M., Guclu K., Apak R. Determination of antioxidants by a novel on-line HPLC-CUPRIC reducing antioxidant capacity (CUPRAC) assay with post-column detection. *Anal. Chim. Acta*. 2010;674:79-88.
98. Chaillou L. L., Nazareno M. A. New method to determine antioxidant activity of polyphenols. *J. Agric. Food Chem.* 2006;54:8397-8402.
99. Fernandez-Panchon M. S., Villano D., Troncoso A. M., Garcia-Parrilla M. C. Antioxidant activity of phenolic compounds: from in vitro results to in vivo evidence. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2008;48:649-671.
100. Faure M., Lissi E., Torres R., Videla L. A. Antioxidant activities of lignans and flavonoids. *Phytochemistry*. 1990;29:3773-3775.
101. Chen Z. Y., Chan P. T., Ho K. Y., Fung K. P., Wang J. Antioxidant activity of natural flavonoids is governed by number and location of their aromatic hydroxyl groups. *Chem. Phys. Lipids*. 1996;79:157-163.
102. Kahkonen M. P., Heinonen M. Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. *J. Agric. Food Chem.* 2003;51:628-633.
103. Sato Y., Itagaki S., Kurokawa T. et al. In vitro and in vivo antioxidant properties of chlorogenic acids and caffeic acid. *Int. J. Pharm.* 2011;403:136-138.
104. Parks A. Antioxidant and pharmacological properties of phenolic acids. *Adv. Phytother.* 2013;1:48-53.
105. Stahl W., Sies H. Antioxidant activity of carotenoids. *Mol. Asp. Med.* 2003;24:345-351.
106. Ak T., Gulcin I. Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin. *Chem. Biol. Interact.* 2008;174:27-37.
107. Naguib Y. M. Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids. *J. Agric. Food Chem.* 2000;48:1150-1154.

108. Yang J., Guo J., Yuan J. In vitro antioxidant properties of rutin. *LWT* 2008;41:1060–1066.
109. Murcia M.A., Martinez-Tome M. Antioxidant activity of resveratrol compared with common food additives. *J. Food Protect.* 2001;64:379–384.
110. Gulcin I. Antioxidant properties of resveratrol. A structure-activity insight. *Innov. Food Sci. Emerg.* 2010;11:210–218.
111. Ursini F., Rapuzzi I., Toniolo R. et al. Characterization of antioxidant effect of procyanidins. *Med. Enzymol.* 2001;335:338–350.
112. Ruiz-Larrea M.B., Mohan A.R., Paganga C. et al. Antioxidant activity of phytoestrogenic isoflavones. *Free Radic. Res.* 1997;26:63–70.
113. Яшин А.Я., Яшин Я.И., Ечкалова П.А., Черноусова Н.И., Шаскольская Н.Д. Определение природных антиоксидантов в злаках, крупах и хлебобулочных изделиях. Кондитерское и хлебопекарное производство. 2012;7:36–38.
114. Яшин А.Я., Яшин Я.И., Федина П., Черноусова Н. Определение природных антиоксидантов в пищевых злаках и бобовых культурах. *АНАЛИТИКА*. 2012;1:32–36.
115. Cammann K. Flow injection analysis with electrochemical detection. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 1988;329:691–697.
116. Shaskolsky N., Shaskolsky B., Yashin A., Yashin Ya., Chernousova N., Nemzer B. Comparison of antioxidants content in seeds and their sprouts by amperometric method. C&E Spring Meeting 2009 — Whole Grain Global Summit, Newcastle upon Tyne, United Kingdom, march 25–27, 2009, p. OS23.
117. Яшин Я.И., Черноусова Н.И., Яшин А.Я., Воловик Е.А., Босинзон Ю.М., Старовойтов В.И., Смирнов В.А. Новый метод определения качества картофеля. В сборнике «Диетический картофель – основа здоровья человека» Издание СГМП Правительства Москвы «Моссельхоз». М., 2007, с. 44–47.
118. Яшин Я.И., Яшин А.Я. Природные антиоксиданты – защита человека от опасных болезней. М.: Транслит, 2020. С. 25–29.
119. Яшин А., Черноусова Н., Яшин Я. Определение жирорастворимых антиоксидантов в молочных, рыбных, мясных продуктах и растительных маслах. *АНАЛИТИКА*. 2012;5:16–21.
120. Nemzer B.V., Yashin A.Ya., Yashin Ya.I., Chernousova N.I. Comparison of the study of the antioxidant activities of fruits and vegetables by oxygen radical absorbance capacity and amperometric methods. 4-th International Conference on Polyphenols Application. From Source to optimal industrial uses: State-of-the-art and future trends. Malta, 2007. P. 87.
121. Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Немзер Б.В. Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность. Влияние потребления ягод на здоровье человека. *АНАЛИТИКА*. 2019;9:222–230.
122. Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Немзер Б.В. Антиоксидантная активность специй и их влияние на здоровье человека. Сорбционные и хроматографические процессы. 2017;17:954–969.
123. Черноусова Н.И., Яшин Я.И. Определение суммарного содержания антиоксидантов в семенах фруктов, ягод, овощей амперометрическим методом // В сборнике научных статей 10 Международного симпозиума «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты». Отв. Ред. Н.В. Заголкина. М., 2018. С. 550–555.
124. Бутов А.Г., Яшин А.Я., Яшин Я.И., Черноусова Н.И. Содержание антиоксидантов в меде и медопродуктах. Пчелы плюс. 2008;1:1–5.
125. Yashin Ya.I., Yashin A.Ya., Nemzer B.V. Determination of antioxidant activity in tea extracts and their total antioxidant content. *American Journal of Biomedical Sciences*. 2011;3:322–335.
126. Yashin A., Yashin Ya., Wang J.Y., Nemzer B. Antioxidant and anti-radical activity of coffee. *Antioxidants (Basel)*. 2013;2:230–245.
127. Яшин А.Я., Черноусова Н.И., Федина П.А., Левин Д.А., Миронов С.А. Определение содержания антиоксидантов в кофе амперометрическим методом. Пиво и напитки. 2009;2:45–47.
128. Яшин А., Яшин Я., Черноусова Н., Федина П., Немзер Б. Определение антиоксидантов в какао и шоколаде. *АНАЛИТИКА*. 2012;2:46–53.
129. Яшин А.Я., Яшин Я.И., Черноусова Н.И. Антиоксиданты в красном вине и их определение амперометрическим методом. Виноделие и виноградарство. 2007;6:22–23.
130. Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И. Красное вино – химический состав, антиоксидантная активность, влияние на здоровье человека. Лаборатория и производство. 2020;10: С. 52–66.
131. Бикбулатов И.И., Панюгин А.Н., Яшин А.Я., Яшин Я.И., Черноусова Н.И. Определение антиоксидантной активности настоек, наливок, бальзамов и особых водок. Партнеры и конкуренты. 2004;12:25–28.
132. Пахомов В.П., Яшин Я.И., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Антиоксидантные свойства бальзамов. Перспективы традиционной медицины. 2004;2:53–57.
133. Стрижаков И.И., Румянцев С.В., Яшин А.Я., Яшин Я.И., Черноусова Н.И. Определение природных антиоксидантов в пиве. Пиво и напитки. 2006;1:20–25.

References

1. Carlsen M.N., Halvorsen B.L., Holte K., Bohn S.K. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutr. J.* 2010;9:1–11.
2. Jashin Ja.I., Ryzhnev V.Ju., Jashin A.Ja., Chernousova N.I. *Natural antioxidants. Food content and effects on human health and aging*. Moscow, TransLit Publ., 2009, 212.
3. Yashin Ya.I., Nemzer B.V., Ryzhnev V.Yu., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. and Fedina P.A. Creation of a Databank for Content of antioxidants in food products by an amperometric method. *Molecules*. 2010;15:7450–7466.
4. MVI 31-07. Procedure for measurement of antioxidant content in beverages and food products, biologically active additives, extracts of medicinal plants by amperometric method.
5. MVI 120-08. Procedure for measurement of total content of fat-soluble antioxidants in food products by amperometric method.
6. GOST R 54037-2010 Food products. Determination of water-soluble antioxidant content by amperometric method in vegetables, fruits, products of their processing, alcoholic and soft drinks.
7. GOST R 54036-2010 Food products. Determination of water-soluble antioxidant content in potato tubers by amperometric method.
8. USDA Database for the flavonoid content of selected foods 2009.
9. Perez-Jimenez J., Neveu V., Vos F., Scalbert A. Systematic analysis of the content of 502 polyphenols in 452 food and beverages – an application of the Phenol-Explorer database. *J. Agric. Food Chem.* 2010;58:4959–4969.
10. Gry J., Black L., Eriksen F.D. et al. EuroFIR-BASIS – a combined composition and biological activity database for bioactive compounds in plant-based foods. *Trends Food Sci. Technol.* 2007;18:434–444.
11. Nemzer B.V., Yashin Ya.I., Yashin A. Ya. The issues of antioxidant therapy. *American J. Biomed. Sci.* 2013;5:80–108.
12. Shanin Ju.N., Shanin V.Ju., Zinov'ev E.V. *Antioxidant therapy in clinical practice*. Moscow, Jelon Publ., 2009, 128.
13. Firuzi O., Miri R., Tavakkoli M., Saso L. Antioxidant therapy – current status and future prospects. *Current Med. Chem.* 2011;18:3871–3888.
14. Nutritional Antioxidant Therapy. *Treatment and Perspectives*. Eds K. H. Al-Gubory, I. Laher. Springer Intern. Publishing AG. 2017.
15. Dasgupta A., Klein K. (Eds). *Antioxidants in food, vitamins and supplements. Prevention and treatment of disease*. Elsevier. 2014.
16. *Oxidative stress – diagnostics, prevention and therapy*. Eds M. Hepel, S. Anderson. ACS. Washington. 2015.
17. Preedy V.R. *Aging, Oxidative stress and dietary antioxidants*. Academic Press. San Diego. 2014.
18. Bjoklund G., Chirumbolo S. Role of oxidative stress and antioxidants in daily nutrition and human health. *Nutrition*. 2016;32:311–321.
19. Pisoschi A.M., Pop A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress – a review. *Eur. J. Med. Chem.* 2015;97:55–74.
20. Brajnina H.Z., Gerasimova E.N., Kazakov Ja.E., Hodos M. Ja. *Oxidative stress: nature, contribution to pathogenesis, protection and diagnosis. Chemical analysis in medical diagnosis*. Ed. Budnikova G. K. Nauka Publ., 2010. V. 11. PP.132–163 (in Russ).
21. Nemzer B.V., Yashin A.Ya., Vedennin A.N., Yashin Ya. I., Yashunsky D.V., Nifantiev N.E., Kalita D. Selected powerful natural

- antioxidants – structure, food sources, important health benefits. *J. Food Research*. 2019;8:60–70.
22. Jashin A. Ja., Vedenin A. N., Jashin Ja. I., Vasilevich N. I. Prevention of oncological diseases with food products containing anticarcinogenic natural antioxidants. *Laboratorija i proizvodstvo – Laboratory and production*. 2019;6:52–62 (in Russ).
23. Jashin A. Ja., Vedenin A. N., Jashin Ja. I. Antiviral effect of natural polyphenols-antioxidants: their structure, food sources and determinations. *Laboratorija i proizvodstvo – Laboratory and production*. 2020;5:76–87 (in Russ).
24. Jashin A. Ja., Vedenin A. N., Jashin Ja. I. Natural antioxidants are an integral part of healthy and nutritious nutrition and protecting a person from dangerous diseases. Overview. Collection «Food and Metabolism». Issue 4. Scientific editor A. N. Moissenok A. G. 2016. PP. 378–394.
25. Jashin Ja. I., Vedenin A. N., Jashin A. Ja. Drugs, medicinal plants dietary supplements with antioxidant activity. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy – Sorption and chromatographic processes*. 2017;17:916–925 (in Russ).
26. Gupta D. Methods for determination of antioxidant capacity: a review. *Intern. J. Pharm. Sci. Research*. 2015;6:546–566.
27. Shahidi F., Zhong Y. Measurement of antioxidant activity. *J. Funct. Foods*. 2015;18:757–781.
28. Pisoschi A. M., Negulescu G. P. Methods for total antioxidant activity determination. A review. *Biochem. and Anal. Biochem*. 2011;1:1–10.
29. Apak R., Gorinstein, Bohm V., Schaich K. M., Ozyuren M., Guelu K. Methods of measurements and evaluation of natural antioxidant capacity/ activity (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem*. 2013;85:957–998.
30. Magalhass L. M. et al. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytica chimica Acta*. 2008;813:1–19.
31. Prieto M. A., Vazquez J. A., Murado M. A. A critical point-The problems associated with the variety of criteria to quantitation the antioxidant capacity. *J. A. F. C.* 2014;62:5472–5484.
32. Niki E. Antioxidant capacity- which capacity and how to assess. Review. *J. Berry Res*. 2012;2:169–176.
33. Naumova N. L. A modern view of the problem of investigating the antioxidant activity of food products. *Bulletin of YUURGU, series food technologies*. 2014;1:1–9.
34. Karaday A., Ozcelic B., Saner S. Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Anal. Methods*. 2009;2:41–60.
35. Lopez-Alarcon C., Denicoda A. L. Evaluating of antioxidant capacity of natural products- a review on chemical and cellular-based assays. *Anal. Chim. Acta* 2013;763:1–10.
36. Bunaciu A. A., Danet A. F., Flescher S., Aboul-Enein H. Y. Recent application for in vitro antioxidant activity assay. *Crit. Rev. Anal. Chem*. 2016;46:389–399.
37. Amorati R., Valgimigli L. Methods to measure the antioxidant activity of phytochemicals and plant extracts. *J. Agric. Food Chem*. 2018;4:3324–3329.
38. Alam M. N., Bristi N. J., Rafiquzzaman M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharm. J*. 2013;21:143–152.
39. MacDonald-Wicks K. L., Wood L. G., Garg M. L. Methodology for the determination of biological antioxidant capacity in vitro – a review. *J. Sci. Food Agric*. 2006;86:2046–2056.
40. Antolovich M., Prenzler P. D., Potsalides E., McDonald S. and Robards K. Methods for testing antioxidant activity. *Analys.t* 2002;127:183–198.
41. Perez D., Leighton F., Aspee A., Aliaga C. and Lissi E. A comparison of methods employed to evaluate antioxidant capabilities. *Biological Research*. 2000;33:1–10.
42. Llesuy S., Evelson P., Campos A. M. and Lissi E. Methodologies for evaluation of total antioxidant activities in complex mixtures. A critical review. *Biological Research*. 2001;34:1–22.
43. Hasanov V. V., Ryzhova G. L., Mal'ceva E. V. Antioxidant research methods. *Himija rastitel'nogo syr'ja – Chemistry of plant raw materials*. 2004;3:63–95. (in Russ).
44. Roginsky V., Lissi E. A. Review of methods to determinate chain-breaking antioxidant activity in food. *Food chemistry*. 2005;92:235–254.
45. Brainina Kh. Z., Ivanova A. V., Sharafutdinova E. N., Lozovskaya E. L., Shkarina E. I. Potentiometry as a method of antioxidant activity investigation. *Talanta* 2007;71:13–18.
46. Benzie I. F. F., Strain J. J. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods Enzymol*. 1999;299:15–27.
47. Gardner P. T., White T. A. C., McPhail D. B., Duthie G. G. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chem*. 2000;68:471–474.
48. Rice-Evance C., Miller N. J. Total antioxidant status in plasma and body fluids. *Methods Enzymol*. 1994;234:279–293.
49. Kishida E., Tokumaru S., Ishitani Y., Yamamoto M., Oribe M., Iguchi H., Kojo S. Comparison of the formation of malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactive substances from autoxidized fatty acids based on oxygen consumption *J. Agric. Food Chem*. 1993;41:1598–1600.
50. Fernandez J., Perez-Alvarez J. A., Fernandez-Lopez J. A. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chem*. 1997;59:345–353.
51. Chirico S., Smith C., Marchant C., Mitchinson M. J., Halliwell B. Lipid peroxidation in hyperlipidaemic patients. A study of plasma using an HPLC-based thiobarbituric acid test. *Free Radical Research Communications*. 1993;19:51–57.
52. Shih M. K., Hu M. L. UVA-induced oxidative damage to rat liver nuclei: reduction of iron ions and the relationship between lipid peroxidation and DNA damage. *Mutat. Res*. 1999;438:125–132.
53. Krings U., Berger R. G. Antioxidant activity of some roasted foods. *Food Chem*. 2001;72:223–229.
54. Sanchez-Moreno C., Larrauri J. A., Saura-Calixto F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J. Sci. Food Agric*. 1998;76:270–276.
55. Abdullin I. F., Turova E. N., Budnikov G. K. Culonometric assessment of antioxidant ability of tea extracts with electrogenerated bromine. *Zhurnal analiticheskoy himii – Journal of Analytical Chemistry*. 2001;56:627–629 (in Russ).
56. Abdullin I. F., Turova E. N., Budnikov G. K., Zijatdinova G. K., Gajnsina G. H. Electrogenerated bromine is a reagent for determining the antioxidant ability of juices and extracts. *Zavodskaja laboratorija – Factory laboratory*. 2006;62:13–15 (in Russ).
57. Brajina H. Z., Ivanova A. V., Sharafutdinova E. N. News of higher educational institutions. Assessment of food antioxidant activity by potentiometry. *Pishhevaja tehnologija – Food technology*. 2004;4:73–75 (in Russ).
58. Korotkova E. I. A novel method of determining antioxidant activity. *Zhurnal fizicheskoy himii – Journal of Physical Chemistry*. 2000;74:1544–1546 (in Russ).
59. Korotkova E. I., Karbainov Y. A., Shevchuk A. V. Study of antioxidant properties by voltammetry. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2002;518:56–60.
60. Korotkova E. I., Avramchik O. A., Jusubov M. S., Belousov M. V., Andreeva T. I. Determination of antioxidant activity of plant raw material extracts by method of cathode voltammetry. *Himiko-farmaceuticheskij zhurnal – Chemical-pharmaceutical journal*. 2003;3763–65 (in Russ).
61. Gonzalez-Rodriguez J., Perez-Juan P., Luque de Castro M. D. Method for the simultaneous determination of total polyphenol and anthocyan indexes in red wines using a flow injection approach. *Talanta*. 2002;56:53–59.
62. Dapkevicius A., Van Beek T. A., Niederlander H. A. G. Evaluation and comparison of two improved techniques for the on-line detection of antioxidants in liquid chromatography eluates. *J. Chromatog*. 2001;912:73–82.
63. Peyrat-Maillard M. N., Bonnely S., Berset C. Determination of the antioxidant activity of phenolic compounds by coulometric detection. *Talanta*. 2000;51:709–716.
64. Jashin A. Ja. New amperometric detection capabilities in HPLC. *Zhurnal analiticheskoy himii – Journal of Analytical Chemistry*. 2000;55:1214–1217 (in Russ).

65. **Jashin A. Ja., Jashin Ja. I.** Analytical capabilities of amperometric detection in HPLC *Zhurnal hromatograficheskogo tovarishhestva (g. Kiev) – Journal of Chromatographic Partnership (Kiev)*. 2002;2:19–39 (in Russ).
66. **Jashin Ja. I., Jashin A. Ja.** Analysis with ECD. *Zhurnal analiticheskoy himii – Journal of Analytical Chemistry*. 2004;59:1237–1243 (in Russ).
67. **Jashin A. Ja.** Determination of antioxidant content in food. *Mir izmerenij – Measurement World* 2008;2:14–17 (in Russ).
68. **Jashin A. Ja.** Flow-injection system with amperometric detection for selective determination of antioxidants in food and beverages. *Rossijskij himicheskij zhurnal – Russian Chemical Journal*. 2008;52:130–135 (in Russ).
69. **Jashin A. Ja.** Use of HPLC with amperometric detection in vital areas: medicine, food analysis, ecology. In the book *Chromatography for the benefit of Russia*, Moscow, Ed. Border publ., 2007, pp. 390–420.
70. **Halvorsen B. L., Holte K., Myhrstad M. C. W. et al.** A systematic screening of Total Antioxidants in dietary plants. *J. Nutr.* 2002;132:461–471.
71. **Mannino S., Brenna O., Buratti S., Cosio M. S.** A new method for the evaluation of the “antioxidant power” of wines. *Electroanalysis* 1998;10:908–912.
72. **Mannino S., Buratti S., Cosio M. S., Pellegrini N.** Evaluation of the “antioxidant power” of olive oils based on a FIA system with amperometric detection. *Analyst*. 1999;124:1115–1118.
73. **Buratti S., Pellegrini N., Brenna O. V., Mannino S.** Rapid electrochemical method for the evaluation of the antioxidant power of some lipophilic food extracts. *J. Agric Food Chem.* 2001;49:5136–5141.
74. **Hansley K.** Determination of oxidative stress by HPLC with electrochemical detector. *J. HighResolut. Chromat.* 1999;22:429–437.
75. **Kilmartin P. A.** Electrochemical detection of natural antioxidant: principles and protocols. *Antioxidants and Redox Signaling*. 2001;3:941–955.
76. **Prior R. L., Wu X., Schaich K.** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in food and dietary supplement *J. Agric. Food Chem.* 2005;53:4290–4302.
77. **Frankel E. N., Finley J. W.** How standardize the multiplicity of methods to evaluate natural antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 2008;52:4901–4908.
78. **Schaich K. M., Tian X., Xie J.** Reprint of Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy – a critical evaluation of ABTS, DPPH and ORAC assays *J. Funct. Foods*. 2012;14:111–125.
79. **Zielinska D., Szawara-Nowak D., Zielinski H.** Comparison of spectrophotometric and electrochemical methods for evaluation of the antioxidant capacity of buckwheat products after hydrothermal treatments *J. Agric. Food Chem.* 2007;55:6124–6136.
80. **Tabart J. K., Pincemail C., Defraigne J., Dommès J. G.** Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chem.* 2009;113:1221–1233.
81. **Bodarin T. A. V., Mallikarjuna K. et al.** A review on in vitro antioxidant methods- comparison, correlation and considerations. *Intern J. Pharm. Techn. Research*. 2010;2:1276–1285.
82. **Pisoshi A. M., Cheragi M. C., Danet A. F.** Total antioxidant capacity of some commercial fruit juices electrochemical and spectrophotometrical approaches. *Molecules*. 2009;14:480–493.
83. **Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K. et al.** Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts *J. Food Composition Analysis*. 2006;19:669–675.
84. **Zulueta A., Esteve M. J., Frigola A.** ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chem.* 2009;114:310–316.
85. **Xu X., Rasco B. A.** Determination of antioxidant content and antioxidant activity in foods using infrared spectroscopy and chemometrics. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2012;52:853–875.
86. **Wu D., Chen G., Lu B. et al.** Application of near infrared spectroscopy for the rapid determination of antioxidant activity of bamboo leaf extract. *Food Chem.* 2012;135:2147–2156.

Зарождая вопросы / Обнаруживая ответы



ORCA-Quest - первая квантитативная КМОП (qCMOS) камера с функцией количественного определения числа детектируемых фотонов. Это скачек в эволюции развития научных камер, который трансформирует изображение в понимание.

Начните Ваше приключение

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS
www.hamamatsu.com

Представительство Hamamatsu Photonics в России и СНГ
Тел: +7 (495) 258-85-18, E-mail: info@hamamatsu.ru

87. Bunaciu A.A., Aboul-Enein H.Y., Fleschin S. FTIR spectrophotometric methods used for antioxidant activity in medicinal plants. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2012;47:245-255.
88. Tubaro F., Pizzuto R., Raimo G., Paventi G. A novel fluorimetric method to evaluate red wine antioxidant activity. *Periodica Polytechnica chemical engineering*. 2019;69:57-64.
89. Buguktuncel E., Porgali E., Colak C. Comparison of total phenolic content and total antioxidant activity in local red wines determined by spectrophotometric methods. *Food Nutr. Sci.* 2014;5:1660-1667.
90. Popa C.V., Farcasanu I.C., Jipa S. et al. Chemiluminescence determination of the total antioxidant capacity of Rosemary extract. *Revista de chimie*. 2012;63:715-719.
91. Pogacnic L., Ulrich N.P. Application of optimized chemiluminescence assay for determination of the antioxidant capacity of herbal extracts. *Luminescence*. 2012;27:505-510.
92. Niederlander H.A.M., van Beek T.A., Bartasiute A., Koleva I. Antioxidant activity assays on-line with liquid chromatography. *J. Chromat. A*. 2008;1210:121-134.
93. Ul'janova E.V., Larionov O.G., Revina A.A. HPLC in the study of the antioxidant properties of wines. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy – Sorption and chromatographic processes*. 2010;10:522-532 (in Russ).
94. Jashin A.Ja. Determination of tea flavins in black teas of different countries by HPLC with amperometric detector. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy – Sorption and chromatographic processes*. 2020;20:8-21 (in Russ).
95. Glod B.K. et al. Determination of catecholamines and total antioxidant potential plasma of blood by RP HPLC – ECD. *Acta Chromatographica*. 2004;14:142-148.
96. Glod B.K., Piszcz P., Beta A., Zarzycki P.K. RP-HPLC with fluorescence detection assay for the determination of total antioxidant potential (TAP). *J. Liq. Chrom. Relat. Techn.* 2012;35:1194-1201.
97. Celic S.E., Ozyurek M., Guclu K., Apak R. Determination of antioxidants by a novel on-line HPLC-CUPRIC reducing antioxidant capacity (CUPRAC) assay with post-column detection. *Anal. Chim. Acta*. 2010;674:79-88.
98. Chaillou L.L., Nazareno M.A. New method to determine antioxidant activity of polyphenols. *J. Agric. Food Chem.* 2006;54:8397-8402.
99. Fernandez-Pancho M.S., Villano D., Troncoso A.M., Garcia-Parrilla M.C. Antioxidant activity of phenolic compounds: from in vitro results to in vivo evidence. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2008;48:649-671.
100. Faure M., Lissi E., Torres R., Videla L.A. Antioxidant activities of lignans and flavonoids. *Phytochemistry*. 1990;29:3773-3775.
101. Chen Z.Y., Chan P.T., Ho K.Y., Fung K.P., Wang J. Antioxidant activity of natural flavonoids is governed by number and location of their aromatic hydroxyl groups. *Chem. Phys. Lipids*. 1996;79:157-163.
102. Kahkonen M.P., Heinonen M. Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. *J. Agric. Food Chem.* 2003;51:628-633.
103. Sato Y., Itagaki S., Kurokawa T. et al. In vitro and in vivo antioxidant properties of chlorogenic acids and caffeic acid. *Int. J. Pharm* 2011;403:136-138.
104. Parks A. Antioxidant and pharmacological properties of phenolic acids. *Adv. Phytother.* 2013;1:48-53.
105. Stahl W., Sies H. Antioxidant activity of carotenoids. *Mol. Asp. Med.* 2003;24:345-351.
106. Ak T., Gulcin I. Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin. *Chem. Biol. Interact.* 2008;174:27-37.
107. Naguib Y.M. Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids. *J. Agric. Food Chem.* 2000;48:1150-1154.
108. Yang J., Guo J., Yuan J. In vitro antioxidant properties of rutin. *LWT* 2008;41:1060-1066.
109. Murcia M.A., Martinez-Tome M. Antioxidant activity of resveratrol compared with common food additives. *J. Food Protect.* 2001;64:379-384.
110. Gulcin I. Antioxidant properties of resveratrol. A structure-activity insight. *Innov. Food Sci. Emerg.* 2010;11:210-218.
111. Ursini F., Rapuzzi I., Toniolo R. et al. Characterization of antioxidant effect of procyanidins. *Med. Enzymol.* 2001;335:338-350.
112. Ruiz-Larrea M.B., Mohan A.R., Paganga C. et al. Antioxidant activity of phytoestrogenic isoflavones. *Free Radic. Pec.* 1997;26:63-70.
113. Jashin A.Ja., Jashin Ja.I., Echkalova P.A., Chernousova N.I., Shaskol'skaja N.D. Determination of natural antioxidants in cereals, cereals and bakery products. *Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo – Confectionery and bakery production*. 2012;7:36-38 (in Russ).
114. Jashin A.Ja., Jashin Ja.I., Fedina P., Chernousova N.I. Definition of natural antioxidants in food cereals and legumes. *Analitika – Analytics*. 2012;1:32-36.
115. Cammann K. Flow injection analysis with electrochemical detection. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 1988;329:691-697.
116. Shaskolsky N., Shaskolsky B., Yashin A., Yashin Ya., Chernousova N., Nemzer B. Comparison of antioxidants content in seeds and their sprouts by amperometric method. C&E Spring Meeting 2009 – Whole Grain Global Summit, Newcastle upon Tyne, United Kingdom, march 25-27, 2009, p. OS23.
117. Jashin Ja.I., Chernousova N.I., Jashin A.Ja., Volovik E.A., Bosinzon Ju.M., Starovojtov V.I., Smirnov V.A. A new method for determining the quality of potatoes. In the collection "Dietary potatoes – the basis of human health" Publication of the SGMP of the Moscow Government "Mosselkhoz" Moscow, 2007, pp. 44-47.
118. Jashin Ja.I., Jashin A.Ja. Natural antioxidants – protecting a person from dangerous diseases. Moscow, TransLit Publ., 2020, pp. 25-29.
119. Jashin A., Chernousova N., Jashin Ja. Determination of fat-soluble antioxidants in dairy, fish, meat and vegetable oils. *Analytics*. 2012;5:16-21.
120. Nemzer B.V., Yashin A.Ya., Yashin Ya.I., Chernousova N.I. Comparison of the study of the antioxidant activities of fruits and vegetables by oxygen radical absorbance capacity and amperometric methods. Pittcon-2007.
121. Jashin A.Ja., Vedenin A.N., Jashin Ja.I., Nemzer B.V. Berries: chemical composition, antioxidant activity. Effects of berry consumption on human health. *Analytics*. 2019;9:222-230.
122. Jashin A.Ja., Vedenin A.N., Jashin Ja.I., Nemzer B.V. Antioxidant activity of spices and their impact on human health. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy – Sorption and chromatographic processes*. 2017;17:954-969 (in Russ).
123. Chernousova N.I., Jashin Ja.I. Determination of total antioxidant content in seeds of fruits, berries, vegetables by amperometric method. In the collection of scientific articles of the 10th International Symposium Phenolic Compounds: Fundamental and Applied Aspects. Moscow. Otv. Red. N.V. Zagorskina. 2018. pp.550-555.
124. Butov A.G., Jashin A.Ja., Jashin Ja.I., Chernousova N.I. Antioxidant content in honey and honey products. *Pchely pljus – Bees Plus*. 2008;1:1-5 (in Russ).
125. Yashin Ya.I., Yashin A.Ya., Nemzer B.V. Determination of antioxidant activity in tea extracts and their total antioxidant content. *American Journal of Biomedical Sciences*. 2011;3:322-335 (in Russ).
126. Yashin A., Yashin Ya., Wang J.Y., Nemzer B. Antioxidant and antiradical activity of coffee. *Antioxidants (Basel)*. 2013;2:230-245.
127. Jashin A.Ja., Chernousova N.I., Fedina P.A., Levin D.A., Mironov S.A. Determination of antioxidant content in coffee by amperometric methods. *Pivo i napitki – Beer and beverages*. 2009;2:45-47 (in Russ).
128. Jashin A., Jashin Ja., Chernousova N., Fedina P., Nemzer B. Determination of antioxidants in cocoa and chocolate. *Analytics* 2012;2:46-53 (in Russ).
129. Jashin A.Ja., Jashin Ja.I., Chernousova N.I. Antioxidants in red wine and their determination by an amperometric method. *Vinodelie i vinogradarstvo – Winemaking and viticulture*. 2007;6:22-23 (in Russ).
130. Jashin A.Ja., Vedenin A.N., Jashin Ja.I. Red wine – chemical composition, antioxidant activity, impact on human health. *Laboratorija i proizvodstvo – Laboratory and production*. 2020;10: C. 52-66 (in Russ).
131. Bikbulatov I.I., Panjugin A.N., Jashin A.Ja., Jashin Ja.I., Chernousova N.I. Determination of antioxidant activity of infusions, fillings, balms and special vodka. *Partnery i konkurenty – Partners and Competitors*. 2004;12:25-28 (in Russ).
132. Pahomov V.P., Jashin Ja.I., Jashin A.Ja. Chernousova N.I. Antioxidant properties of balsams. *Perspektivy traditsionnoj mediciny – Perspectives of traditional medicine*. 2004;2:53-57 (in Russ).
133. Strizhakov I.I., Rumjancev S.V., Jashin A.Ja., Jashin Ja.I., Chernousova N.I. Determination of natural antioxidants in beer. *Pivo i napitki – Beer and beverages*. 2006;1:20-25 (in Russ).



a Hyve event

**Международная
выставка оборудования,
сырья и технологий
для фармацевтического
производства**

**23-26
НОЯБРЯ
2021**

Россия, Москва
МВЦ «Крокус Экспо»

**ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ БИЛЕТ
НА САЙТЕ
ПО ПРОМО-КОДУ:**

pha21print

pharmtech-expo.ru
+7 (495) 799-55-85
pharmtech@hyve.group



Реклама