ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -1

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 1

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

УДК 543.062:635.1/.8

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ВОДНЫХ И ЭТАНОЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ ЯГОД И ОВОЩЕЙ: СРАВНИТЕЛЬНАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Рустамова Ч.И.
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, кафедра органического синтеза и прикладной химии, Ташкент, Узбекистан
Хаитбаев А.Х.
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, кафедра органического синтеза и прикладной химии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: polyphenol-10@yandex.ru
Абдуллажанова Н.Г.
Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан
Акбаров А.Х.
Ташкентский государственный медицинский университет, кафедра медицинской и биологической химии №1, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Провести сравнительную спектрофотометрическую оценку антиоксидантной активности (АОА) водных и 70%-этанольных экстрактов ягодного и овощного сырья и выявить влияние природы растворителя и механизма теста на величину аналитического ответа. Материалы и методы. Объектами исследования служили ягоды смородины (Ribes nigrum L.), облепихи (Hippophae rhamnoides L.), калины (Viburnum opulus L.) и черники (Vaccinium myrtillus L.), а также пять видов капусты (белокочанная — Brassica oleracea var. capitata; цветная — var. botrytis; брокколи — var. italica; корейская — B. rapa subsp. pekinensis; фиолетовая — B. oleracea var. capitata f. rubra). Экстракцию проводили по унифицированной схеме: навеска 10,0 г, объём растворителя 100 мл, соотношение 1:10 м/об, измельчение 1–2 мм, кипячение 2 ч с обратным холодильником. АОА определяли методом H_2O_2-скавенджинга (230 нм) и FRAP-модификацией / reducing power assay (700 нм); дополнительно применяли OH-FRSA и NO-FRSA. Результаты выражали как среднее ± SD при n = 5; статистику рассчитывали методом ANOVA. Среди ягодных объектов наибольшую АОА показали водные экстракты смородины, облепихи и калины, что объясняется высоким содержанием аскорбиновой кислоты, антоцианов и фенольных соединений. Сравнение видов капусты выявило существенную методзависимость: по H_2O_2-тесту лидировала белокочанная капуста (68,7 ± 1,0%), тогда как по

ISSN 3030-3907

FRAP-модификации — брокколи (44,2 ± 0,7%), фиолетовая (34,0 ± 0,8%) и корейская (29,4 ± 0,7%) капуста. Расхождение объясняется различными доминирующими механизмами: аскорбат-опосредованный H_2O_2-скавенджинг и полифенол-опосредованный электронный перенос в FRAP-модификации. Установлено, что АОА ягодных и овощных экстрактов является методзависимым показателем. Для корректной характеристики рекомендуется комбинированная схема: H_2O_2 + FRAP-модификация + DPPH. Водные экстракты смородины, облепихи и калины, а также брокколи и фиолетовая капуста выделены как перспективные объекты для дальнейшего углублённого фитохимического анализа.

Ключевые слова: антиоксидантная активность; ягоды; капуста; водные экстракты; спектрофотометрия; H_2O_2; FRAP-модификация; методзависимость; природные антиоксиданты.

Annotatsiya. Rezavor mevalar va sabzavot xomashyolarining suvli hamda 70% etanolli ekstraktlarida antioksidant faollikni (AOF) spektrofotometrik usulda qiyosiy baholash va erituvchi tabiati hamda test mexanizmining analitik javob kattaligiga ta’sirini aniqlash. Tadqiqot obyektlari sifatida qora smorodina (Ribes nigrum L.), chakanda (Hippophae rhamnoides L.), kalina (Viburnum opulus L.) va qora mersini (Vaccinium myrtillus L.) rezavorlari, shuningdek karamning besh turi — oq boshli karam (Brassica oleracea var. capitata), gulkaram (var. botrytis), brokkoli (var. italica), koreys karami (B. rapa subsp. pekinensis) va binafsha karam (B. oleracea var. capitata f. rubra) ishlatilgan. Ekstraksiya yagona sxema asosida amalga oshirildi: 10,0 g namuna, 100 ml erituvchi, 1:10 massa/hajm nisbatida, 1–2 mm gacha maydalash, qaytarma sovutgich ostida 2 soat qaynatish. AOF H_2O_2-skavenging usuli (230 nm) va FRAP-modifikatsiyasi / reducing power assay (700 nm) yordamida aniqlangan; qo‘shimcha ravishda OH-FRSA va NO-FRSA usullari qo‘llanilgan. Natijalar n = 5 holatda o‘rtacha qiymat ± SD ko‘rinishida ifodalangan, statistik tahlil esa ANOVA usuli orqali bajarilgan. Rezavor mevalar orasida qora smorodina, chakanda va kalinaning suvli ekstraktlari eng yuqori AOF ko‘rsatkichlarini namoyon etdi, bu askorbin kislotasi, antotsianlar va fenol birikmalarining yuqori miqdori bilan izohlanadi. Karam turlarini taqqoslash sezilarli metodga bog‘liqlikni ko‘rsatdi: H_2O_2-test bo‘yicha oq boshli karam yetakchi bo‘ldi (68,7 ± 1,0%), FRAP-modifikatsiyasi bo‘yicha esa brokkoli (44,2 ± 0,7%), binafsha karam (34,0 ± 0,8%) va koreys karami (29,4 ± 0,7%) yuqori natija ko‘rsatdi. Ushbu farq turli dominant mexanizmlar — askorbat vositasidagi H_2O_2-skavenging va FRAP-modifikatsiyasidagi polifenollar vositasidagi elektron uzatilishi bilan izohlanadi. Rezavor va sabzavot ekstraktlarining AOF ko‘rsatkichi metodga bog‘liq ekani aniqlandi. To‘g‘ri tavsiflash uchun kombinatsiyalangan sxema — H_2O_2 + FRAP-modifikatsiyasi +

ISSN 3030-3907

DPPH — tavsiya etiladi. Qora smorodina, chakanda va kalinaning suvli ekstraktlari, shuningdek brokkoli va binafsha karam keyingi chuqurlashtirilgan fitokimyoviy tahlil uchun istiqbolli obyektlar sifatida ajratib ko‘rsatildi.

Kalit so‘zlar: antioksidant faollik; rezavor mevalar; karam; suvli ekstraktlar; spektrofotometriya; H_2O_2; FRAP-modifikatsiyasi; metodga bog‘liqlik; tabiiy antioksidantlar.

Abstract. To perform a comparative spectrophotometric evaluation of the antioxidant activity (AOA) of aqueous and 70% ethanolic extracts of berry and vegetable raw materials and to assess the influence of solvent polarity and assay mechanism on the analytical response. Test objects included berries of black currant (Ribes nigrum L.), sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.), viburnum (Viburnum opulus L.) and bilberry (Vaccinium myrtillus L.), and five cabbage types (white cabbage — Brassica oleracea var. capitata; cauliflower — var. botrytis; broccoli — var. italica; Korean cabbage — B. rapa subsp. pekinensis; purple cabbage — B. oleracea var. capitata f. rubra). Extracts were prepared by a unified method (10.0 g / 100 mL, 1:10 w/v, 1–2 mm particle size, 2 h reflux). AOA was determined by H_2O_2 scavenging (230 nm) and a FRAP-modified reducing power assay (700 nm); OH-FRSA and NO-FRSA were applied as supplementary tests. Results are expressed as mean ± SD, n = 5; one-way ANOVA was used for statistical analysis. Among berry samples, aqueous extracts of black currant, sea buckthorn and viburnum showed the highest AOA, consistent with their high content of ascorbic acid, anthocyanins and phenolic compounds. Comparison of cabbage types revealed pronounced assay dependence: in the H_2O_2 assay, white cabbage ranked first (68.7 ± 1.0%), whereas in the FRAP-modified reducing power assay broccoli (44.2 ± 0.7%), purple cabbage (34.0 ± 0.8%) and Korean cabbage (29.4 ± 0.7%) ranked higher. The divergence reflects different dominant mechanisms: ascorbate-mediated H_2O_2 scavenging and polyphenol-mediated electron transfer. AOA of berry and vegetable extracts is an assay-dependent parameter. A combined scheme (H_2O_2 + FRAP-modified assay + DPPH) is recommended for reliable characterization. Aqueous extracts of black currant, sea buckthorn and viburnum, as well as broccoli and purple cabbage, are identified as priority objects for further phytochemical and nutritional analysis.

Keywords: antioxidant activity; berries; cabbage; aqueous extracts; spectrophotometry; H_2O_2; FRAP-modified assay; assay dependence; natural antioxidants.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Ягоды и овощи являются важнейшими пищевыми источниками биологически активных соединений, включая фенольные кислоты, флавоноиды, антоцианы, аскорбиновую кислоту, каротиноиды и

ISSN 3030-3907

глюкозинолаты [1, 2]. Систематическое потребление этих продуктов ассоциировано со снижением риска сердечно-сосудистых заболеваний, диабета 2-го типа, нейродегенеративных расстройств и ряда онкологических патологий — эффекты, в значительной мере объясняемые антиоксидантным и противовоспалительным действием фитохимических компонентов [3, 4].

Для аналитической и прикладной химии задача состоит не только в установлении факта антиоксидантной активности (АОА), но и в корректном выборе метода её определения. В литературе широко применяются DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC, ORAC и H_2O_2-скавенджинг [5–7]; каждый метод регистрирует *отдельный* химический аспект антиоксидантного поведения. Поэтому результаты разных тестов для одного образца могут существенно различаться, и это различие является информативным, а не ошибочным [6, 7].

Принципиально значим выбор растворителя. Вода преимущественно извлекает гидрофильные компоненты — аскорбиновую кислоту, водорастворимые антоцианы и часть фенольных соединений. 70% этанол расширяет спектр извлекаемых соединений за счёт веществ средней полярности: агликонов флавоноидов, фенольных кислот, некоторых гликозидов. Сравнение водных и этанольных экстрактов, таким образом, несёт самостоятельную аналитическую ценность [8].

Растительное сырьё Узбекистана — ягоды и капустные овощи — отличается доступностью, пищевой значимостью и разнообразием биохимического состава. Тем не менее систематических спектрофотометрических исследований АОА местных сортов с применением нескольких параллельных методов в литературе практически нет. Данная работа восполняет этот пробел.

Цель исследования — провести сравнительную спектрофотометрическую оценку АОА водных и 70%-этанольных экстрактов ягод смородины, облепихи, калины и черники, а также пяти видов капусты с применением H_2O_2-скавенджинга и FRAP-модификации, определить влияние растворителя и механизма метода на аналитический ответ и выявить наиболее перспективные объекты для дальнейшего фитохимического анализа.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

2.1. Объекты исследования

В исследование включены четыре вида ягодного сырья и пять видов капусты (таблица 1). Все образцы приобретались на рынках г. Ташкент в период плодоношения/урожая, сортировались вручную (удаление

ISSN 3030-3907

повреждённых плодов и посторонних примесей), промывались дистиллированной водой, высушивались при 40 °C до постоянной массы и хранились в тёмном месте при 4–8 °C до анализа. Латинские названия видов: смородина — Ribes nigrum L.; облепиха — Hippophae rhamnoides L.; калина — Viburnum opulus L.; черника — Vaccinium myrtillus L.; белокочанная капуста — Brassica oleracea var. capitata; цветная капуста — var. botrytis; брокколи — var. italica; корейская капуста — Brassica rapa subsp. pekinensis; фиолетовая капуста — Brassica oleracea var. capitata f. rubra.

Таблица 1.

Объекты исследования, семейство и основные антиоксидантные компоненты

Объект	Семейство/вид	Доминирующие антиоксидантные компоненты	Литература
Смородина чёрная (Ribes nigrum L.)	*Grossulariaceae*	Антоцианы (цианидин-3-рутинозид, дельфинидин-3-рутинозид), аскорбиновая кислота, кверцетин, хлорогеновая кислота	[9, 10]
Облепиха (*Hippophae Rhamnoides L.*)	*Elaeagnaceae*	Аскорбиновая кислота, рутин, изорамнетин, каротиноиды (β-каротин, ликопин), токоферолы	[11]
Калина (*Viburnum Opulus L.*)	*Adoxaceae*	Хлорогеновые кислоты, процианидины, антоцианы, аскорбиновая кислота	[9]
Черника (*Vaccinium Myrtillus L.*)	*Ericaceae*	Антоцианы (цианидин, дельфинидин, мальвидин-гликозиды), птеростильбен, хлорогеновая кислота	[9, 10]
Белокочанная капуста (*B. Oleracea Var. Capitata*)	*Brassicaceae*	Аскорбиновая кислота, глюкозинолаты, синапиновая кислота	[12]

ISSN 3030-3907

Цветная капуста (*Var. Botrytis*)	*Brassicaceae*	Аскорбиновая кислота, глюкозинолаты, каемпферол-гликозиды	[12]
Брокколи (*Var. Italica*)	*Brassicaceae*	Фенольные кислоты (кофейная, феруловая), кверцетин, каемпферол, сульфорафан, аскорбиновая кислота	[12, 13]
Корейская капуста (*B. Rapa Subsp. Pekinensis*)	*Brassicaceae*	Аскорбиновая кислота, индол-3-карбинол, гидроксикоричные кислоты	[12]
Фиолетовая капуста (*Var. Capitata F. Rubra*)	*Brassicaceae*	Антоцианы (цианидин-3-дигликозиды), аскорбиновая кислота, синапиновая кислота	[12, 14]

2.2. Приготовление экстрактов

Экстракты готовили по унифицированному протоколу. Навеска воздушно-сухого сырья — 10,0 г; объём растворителя (дистиллированная вода или 70%-ный этиловый спирт) — 100 мл; соотношение сырьё : экстрагент = 1 : 10 (м/об). Степень измельчения сырья — 1–2 мм. Экстракцию проводили при температуре кипения соответствующего растворителя в течение 2 ч с обратным холодильником. После охлаждения экстракты фильтровали через складчатый бумажный фильтр (диаметр пор ≈ 10 мкм); при наличии взвеси проводили повторную фильтрацию через мембранный фильтр (0,45 мкм). Фильтраты хранили при 4–8 °C в тёмной посуде и использовали в течение 48 ч. Рабочая концентрация во всех аналитических процедурах — 0,1% (м/об) по исходному сырью.

2.3. Методы определения АОА

H_2O_2-скавенджинг. К 3,4 мл исследуемого раствора (фосфатный буфер, 0,1 М, pH 7,4) добавляли 0,6 мл раствора H_2O_2 (40 мМ). Через 10 мин регистрировали оптическую плотность при 230 нм относительно холостой пробы (без H_2O_2). Метод выполняли по протоколу Ruch et al. [15].

FRAP-модификация. Восстановительную активность определяли в модифицированном варианте теста восстановительной способности с регистрацией оптической плотности при 700 нм. В тексте далее этот подход обозначен как FRAP-модификация, поскольку он отражает электрон-трансферный восстановительный потенциал образцов, но отличается от классического TPTZ-FRAP по длине волны регистрации (адаптировано из

ISSN 3030-3907

Benzie & Strain [16]). К 3,0 мл рабочего реагента добавляли 0,1 мл исследуемого экстракта; смесь инкубировали 10 мин при 37 °C, после чего измеряли оптическую плотность при 700 нм относительно контрольной системы.

OH-FRSA и NO-FRSA применяли как дополнительные методы для оценки способности экстрактов взаимодействовать с гидроксильными радикалами (система Фентона, $FeSO_4/H_2O_2$, салицилат натрия, 562 нм) и радикалами оксида азота (нитропруссид натрия, реагент Грисса, 517 нм) [17, 18].

2.4. Расчёт АОА и статистика

АОА рассчитывали по формуле: АОА, % = $[(D_1 - D_2) / D_1] \times 100$, где D_1 — оптическая плотность контрольного раствора, D_2 — оптическая плотность системы с добавлением образца.

Все определения выполнялись в пяти параллельных повторностях (n = 5). Результаты представлены как M ± SD. Статистическую значимость различий оценивали однофакторным ANOVA с последующим тестом Тьюки; $p < 0,05$ считали статистически значимым. Обработку проводили в Microsoft Excel 2019 и STATISTICA 12.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ.

3.1. АОА ягодных экстрактов

Среди ягодных объектов наиболее высокую АОА по H_2O_2-тесту показали водные экстракты смородины, облепихи и калины (таблица 2). Этот результат согласуется с литературными данными о высоком содержании в указанных ягодах гидрофильных антиоксидантов: аскорбиновой кислоты, антоцианов и фенольных кислот [9–11]. Особо значим именно высокий ответ водных (а не этанольных) экстрактов — это подтверждает доминирующий вклад водорастворимых компонентов в АОА данных объектов и повышает их практическую ценность для пищевых и нутрицевтических применений без использования органических растворителей.

Таблица 2.

Сравнительная АОА ягодных экстрактов по H_2O_2-тесту (M ± SD, n = 5)

Объект	Водный экстракт, %	Этанольный экстракт, %	Вероятные ключевые компоненты	p вод. vs этан.
Смородина чёрная	72,4 ± 1,1	66,8 ± 1,0	Аскорбиновая кислота, антоцианы, кверцетин [9, 10]	< 0,05

ISSN 3030-3907

Облепиха	70,1 ± 0,9	63,5 ± 1,2	Аскорбиновая кислота, рутин, изорамнетин [11]	< 0,05
Калина	67,3 ± 1,3	54,6 ± 1,0	Хлорогеновые кислоты, процианидины, антоцианы [9]	< 0,05
Черника	56,2 ± 0,8	69,4 ± 1,1	Антоцианы, хлорогеновая кислота [10]	< 0,05

Среди ягодных объектов максимальная антиоксидантная активность в H_2O_2-тесте установлена для водного экстракта чёрной смородины — 72,4 ± 1,1%, что, вероятно, связано с высоким содержанием аскорбиновой кислоты, антоцианов и флавоноидов. Близкие значения показал водный экстракт облепихи — 70,1 ± 0,9%, что согласуется с наличием аскорбиновой кислоты, рутина и изорамнетина. Водный экстракт калины также проявил высокую активность — 67,3 ± 1,3%, тогда как её этанольный экстракт был ниже — 54,6 ± 1,0%. Для черники наблюдалась обратная закономерность: этанольный экстракт обладал более высокой активностью — 69,4 ± 1,1%, чем водный — 56,2 ± 0,8%, что может быть связано с лучшим извлечением антоцианов и фенольных кислот в 70%-ном этаноле.

Черника показала более высокую активность в этанольном экстракте, что объясняется лучшим извлечением антоцианов и фенольных кислот в среде 70% этанола. Это согласуется с данными Moyer et al. [9]: плоды рода *Vaccinium* характеризуются высоким уровнем антоцианов (в Ribes — более 200 мг/100 г), которые при экстракции водой могут извлекаться неполностью из-за их частичной связи с клеточными матриксными компонентами.

3.2. АОА видов капусты по H_2O_2-методу

При анализе пяти видов капусты методом H_2O_2 все объекты показали значения выше 50%, а белокочанная капуста лидировала с показателем 68,7 ± 1,0% (таблица 3). Это объясняется высоким содержанием аскорбиновой кислоты в белокочанной капусте: аскорбат является высокоэффективным H_2O_2-скавенджером в водных фосфатно-буферных условиях. Согласно Podsędek [12], содержание аскорбиновой кислоты в белокочанной капусте составляет 36–50 мг/100 г сырой массы, что обеспечивает значительный аналитический ответ именно в данном тесте.

ISSN 3030-3907

Таблица 3.

АОА видов капусты по H_2O_2-тесту (M ± SD, n = 5)

Вид капусты	АОА, %	Ранг	Вероятный ключевой компонент
Белокочанная (*B. Oleracea Var. Capitata*)	68,7 ± 1,0	1	Аскорбиновая кислота
Брокколи (*Var. Italica*)	64,3 ± 0,9	2	Аскорбиновая кислота, фенольные кислоты
Фиолетовая (*Var. Capitata F. Rubra*)	61,8 ± 1,1	3	Антоцианы, аскорбиновая кислота
Корейская (*B. Rapa Subsp. Pekinensis*)	57,4 ± 0,8	4	Аскорбиновая кислота, гидроксикоричные кислоты
Цветная (*Var. Botrytis*)	53,6 ± 0,9	5	Аскорбиновая кислота, глюкозинолаты

По данным H_2O_2-теста все исследованные виды капусты проявили выраженную антиоксидантную активность выше 50%. Максимальное значение установлено для белокочанной капусты — 68,7 ± 1,0%, что, вероятно, связано с высоким вкладом аскорбиновой кислоты в нейтрализацию перекиси водорода. Брокколи и фиолетовая капуста также показали высокие значения АОА, что может быть обусловлено сочетанным действием аскорбиновой кислоты, фенольных кислот, флавоноидов и антоцианов. Более низкие, но статистически значимые показатели корейской и цветной капусты подтверждают наличие антиоксидантного потенциала у всех представителей исследованной группы.

3.3. АОА видов капусты по FRAP-модификации

FRAP-модификация дала принципиально иную картину распределения активности (таблица 4). Лидером стала брокколи (44,2 ± 0,7%), далее — фиолетовая (34,0 ± 0,8%), корейская (29,4 ± 0,7%) и цветная (18,6 ± 0,6%) капуста. Белокочанная капуста, демонстрировавшая максимальный ответ по H_2O_2, заняла последнее место по FRAP-модификации (8,61 ± 0,4%). Различия между образцами статистически значимы (ANOVA, $p < 0,001$).

ISSN 3030-3907

Таблица 4.

АОА видов капусты по FRAP-модификации (M ± SD, n = 5)

Вид капусты	D_1 (контроль)	D_2 (образец)	АОА, %	Ранг	p
Брокколи (*Var. Italica*)	1,461 ± 0,012	0,815 ± 0,009	44,2 ± 0,7	1	< 0,001
Фиолетовая (*Var. Capitata F. Rubra*)	1,461 ± 0,012	0,964 ± 0,011	34,0 ± 0,8	2	< 0,001
Корейская (*B. Rapa Subsp. Pekinensis*)	1,461 ± 0,012	1,032 ± 0,010	29,4 ± 0,7	3	< 0,001
Цветная (*Var. Botrytis*)	1,461 ± 0,012	1,189 ± 0,010	18,6 ± 0,6	4	< 0,01
Белокочанная (*Var. Capitata*)	1,461 ± 0,012	1,335 ± 0,008	8,61 ± 0,4	5	< 0,05

Показатель FRAP-модификации у брокколи был наиболее высоким, что связано с богатым фенольным составом: согласно Podsędek [12], содержание суммарных фенолов в брокколи достигает 34,5–337 мг ГКЭ/100 г. Фенольные кислоты (кофейная, феруловая) и флавоноиды (кверцетин, каемпферол) легко отдают электроны в условиях FRAP-модификации (pH 3,6, ET-механизм). Высокое значение для фиолетовой капусты согласуется с данными Gao et al. [14]: антоцианы на основе цианидина являются активными восстановителями в ET-тестах. Напротив, низкий показатель FRAP-модификации у белокочанной капусты указывает на то, что аскорбат — её доминирующий антиоксидант — менее эффективен в условиях данной восстановительной системы по сравнению с катехольными полифенолами, поскольку его редокс-ответ в кислой среде ниже.

3.4. Сопоставление методов H_2O_2 и FRAP-модификации

Таблица 5.

Сравнение H_2O_2- и FRAP-модифицированных ответов для видов капусты

Вид капусты	H_2O_2, %	FRAP-модификация, %	Соотношение H_2O_2:FRAP-мод.	Интерпретация
Белокочанная	68,7	8,61	7,98	Аскорбат-доминируемый H_2O_2-скавенджинг;

ISSN 3030-3907

				слабый ответ в ET-системе FRAP-модификации
Брокколи	64,3	44,2	1,45	Наиболее сбалансированный профиль: аскорбиновая кислота + фенольные кислоты активны в обоих тестах
Фиолетовая	61,8	34,0	1,82	Антоцианы и фенольные соединения хорошо проявляются в FRAP-модификации; H_2O_2-ответ также высокий
Корейская	57,4	29,4	1,95	Смешанный профиль; заметный вклад аскорбиновой кислоты и гидроксикоричных кислот
Цветная	53,6	18,6	2,88	Умеренный антиоксидантный профиль; вероятный вклад аскорбиновой кислоты, глюкозинолатов и флавонол-гликозидов

Сравнение H_2O_2- и FRAP-модифицированных ответов показало выраженную методзависимость антиоксидантной активности видов

ISSN 3030-3907

капусты. Максимальное соотношение H_2O_2:FRAP-мод. установлено для белокочанной капусты — 7,98, что указывает на преобладание аскорбат-опосредованного скавенджинга перекиси водорода при относительно слабом ответе в системе электронного переноса. Напротив, брокколи характеризовалась наиболее сбалансированным профилем с соотношением 1,45, что отражает совместный вклад аскорбиновой кислоты, фенольных кислот и флавоноидов. Фиолетовая и корейская капуста занимали промежуточное положение, тогда как цветная капуста демонстрировала умеренный антиоксидантный профиль.

3.5. Графическая визуализация результатов

Для наглядного сопоставления результатов построены графики, отражающие влияние растворителя на АОА ягодных экстрактов, распределение активности видов капусты по H_2O_2- и FRAP-модификации, а также соотношение между двумя методами.



Рисунок 1. Сравнение АОА водных и 70%-этанольных экстрактов ягод по H_2O_2-тесту.

ISSN 3030-3907

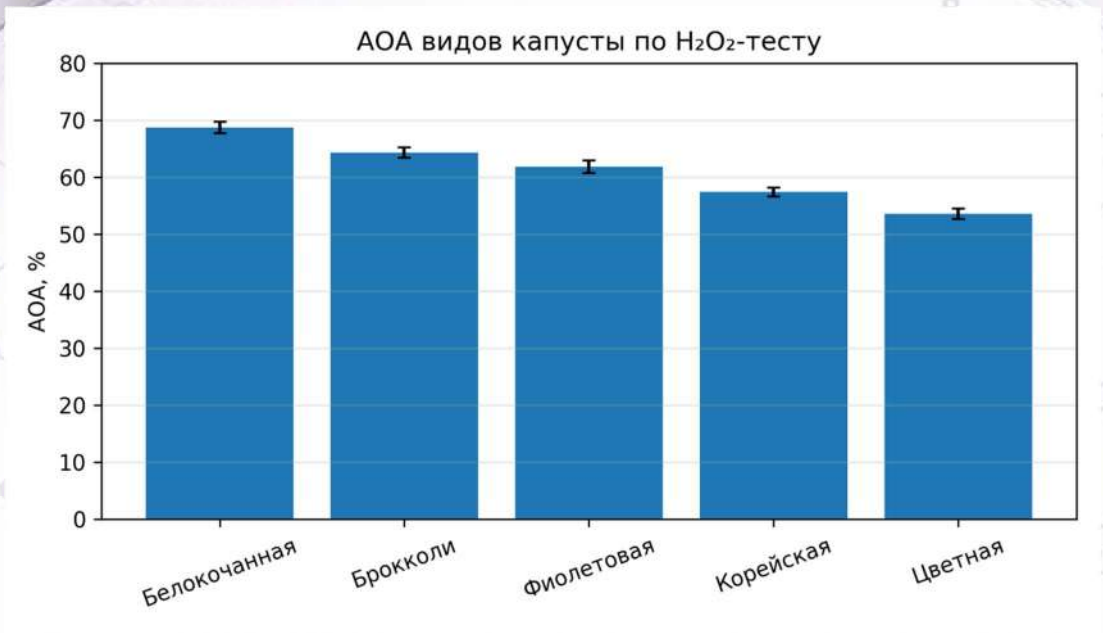


Рисунок 2. Антиоксидантная активность видов капусты по H_2O_2-тесту.

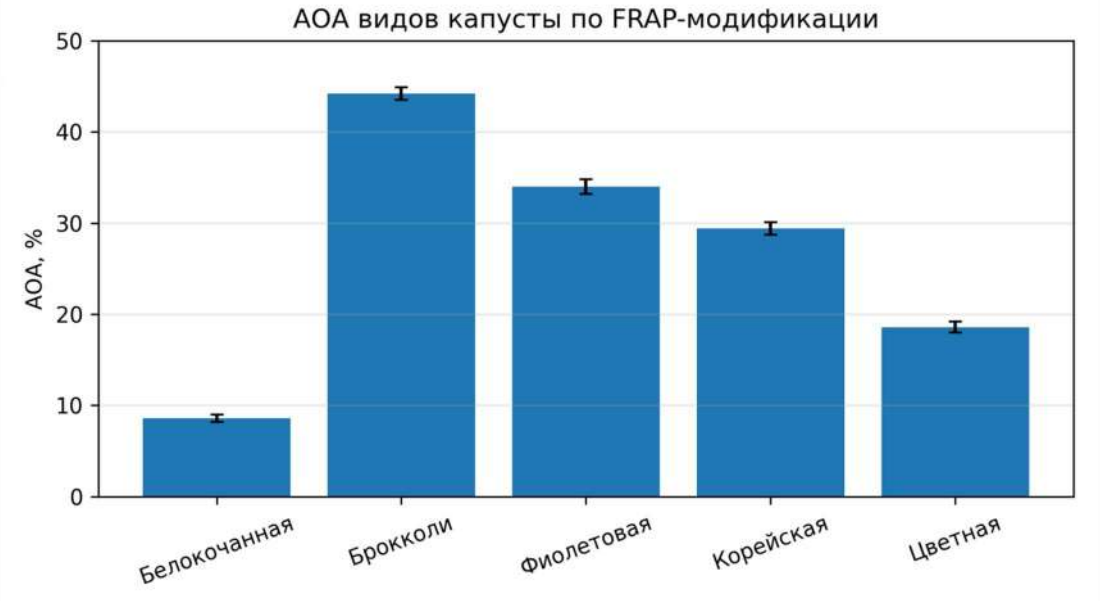


Рисунок 3. Антиоксидантная активность видов капусты по FRAP-модификации.

ISSN 3030-3907

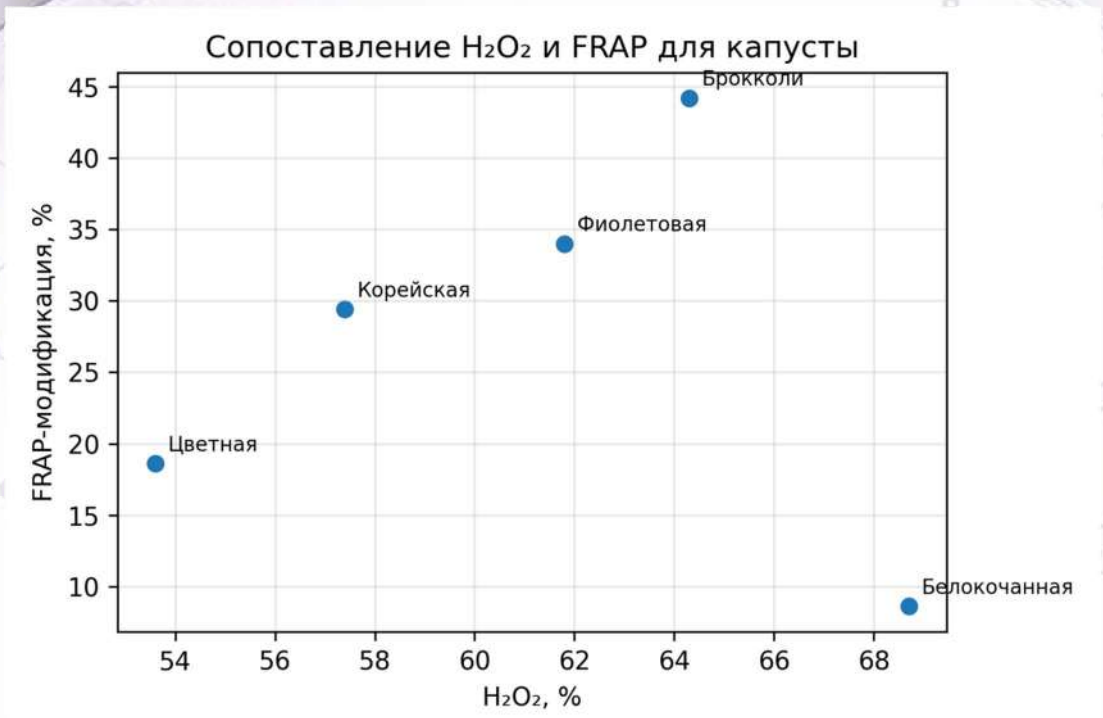


Рисунок 4. Сопоставление H_2O_2- и FRAP-ответов для видов капусты.

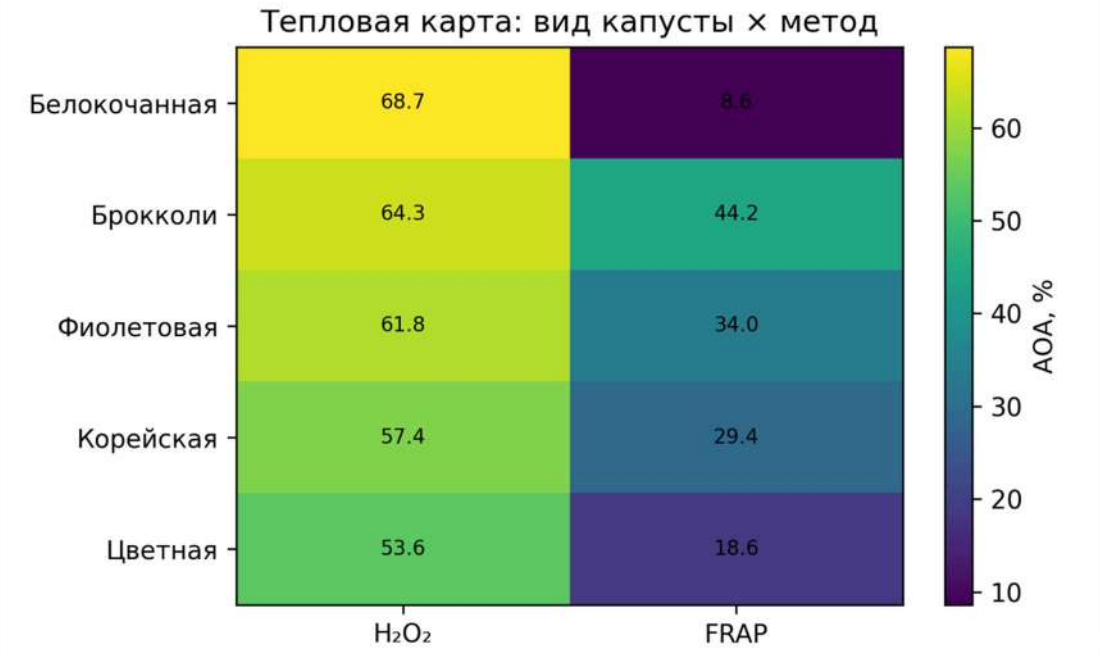


Рисунок 5. Тепловая карта «вид капусты × метод».

4. ОБСУЖДЕНИЕ.

Ключевой вывод из полученных данных состоит в следующем: антиоксидантная активность ягодных и овощных экстрактов является принципиально методзависимым показателем. Расхождение между H_2O_2-тестом и FRAP-модификацией для видов капусты — частный случай универсального феномена, описанного Huang et al. [5] и Thaipong et al. [6]: методы, основанные на электронном переносе (FRAP, CUPRAC), и методы,

ISSN 3030-3907

моделирующие взаимодействие с конкретными окислителями (H_2O_2, OH-FRSA), отражают разные фрагменты антиоксидантного потенциала образца.

Высокий H_2O_2-результат белокочанной капусты (68,7%) при низком ответе во FRAP-модификации (8,61%) объясняется разницей в редокс-химии доминирующего антиоксиданта. Аскорбиновая кислота обладает высокой реакционной способностью по отношению к H_2O_2 в нейтральной среде (pH 7,4), однако в кислой электрон-трансферной системе её аналитический ответ может уступать полифенолам с ортодиоловыми группами — кофейной кислоте, эпикатехину, цианидин-гликозидам. Это согласуется с наблюдениями Isabelle et al. [13] и данными по составу Brassica у Podsędek [12].

Высокая активность водных экстрактов смородины, облепихи и калины по H_2O_2-тесту подтверждает их потенциал как источников гидрофильных антиоксидантов для пищевых технологий. Для смородины это согласуется с работой Moyer et al. [9]: *Ribes nigrum* характеризуется одним из наиболее высоких значений FRAP и ORAC среди изученных ягод родов *Vaccinium*, *Rubus* и *Ribes*. Облепиха содержит уникальный комплекс гидрофильных (аскорбиновая кислота до 200–400 мг/100 г, рутин, изорамнетин) и липофильных (β-каротин, токоферолы) антиоксидантов [11], причём высокий ответ именно водного экстракта указывает на доминирующий вклад гидрофильной фракции в условиях данного исследования.

Черника показала нестандартную картину — более высокую активность этанольного экстракта, что согласуется с биохимией рода *Vaccinium*: антоцианы (мальвидин-, дельфинидин-, цианидин-гликозиды) лучше экстрагируются в среде этанола, и именно они определяют высокий антирадикальный потенциал черники [9, 10].

Брокколи сформировала наиболее сбалансированный профиль: высокие значения в обоих тестах. Это объясняется тем, что в брокколи сочетаются как аскорбат (эффективный в H_2O_2-тесте), так и фенольные соединения — кофейная и феруловая кислоты, флавоноиды с катехольными группами (эффективные в FRAP) [12, 13]. Аналогичный паттерн обнаружен Isabelle et al. [13] для сингапурских сортов брокколи. Фиолетовая капуста занимает промежуточное положение: антоцианы цианидинового ряда обладают как ET-, так и HAT-активностью, что обусловливает сопоставимые ответы по обоим методам [14].

С практической точки зрения рекомендуется следующая стратегия анализа природных экстрактов: (1) H_2O_2-тест — первичный скрининг, оценка гидрофильных восстановителей; (2) FRAP-модификация —

ISSN 3030-3907

подтверждение редокс-потенциала, оценка фенольного комплекса; (3) DPPH/ABTS — международно сопоставимый радикал-связывающий тест; (4) TPC по Folin–Ciocalteu [19] и TFC по $AlCl_3$-методу [20] — химическое обоснование наблюдаемых различий. Только совокупность этих данных позволяет строго утверждать о механизме антиоксидантного действия.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Проведена сравнительная спектрофотометрическая оценка АОА водных и 70%-этанольных экстрактов четырёх видов ягод и пяти видов капусты с применением H_2O_2-скавенджинга и FRAP-модификации.

2. Среди ягодных объектов наибольшая АОА в H_2O_2-тесте установлена для водных экстрактов смородины, облепихи и калины, что обусловлено высоким содержанием гидрофильных антиоксидантов — аскорбиновой кислоты, антоцианов и фенольных кислот.

3. Сравнение видов капусты показало выраженную методзависимость: белокочанная капуста лидирует по H_2O_2-тесту (68,7 ± 1,0%), тогда как по FRAP-модификации наибольшие значения получены для брокколи (44,2 ± 0,7%), фиолетовой (34,0 ± 0,8%) и корейской (29,4 ± 0,7%) капусты.

4. Расхождение между методами объясняется различием доминирующих антиоксидантных компонентов: аскорбат-опосредованный H_2O_2-скавенджинг и полифенол/антоциан-опосредованный перенос электрона в FRAP-модификации. Это подтверждает, что низкий показатель FRAP-модификации не означает низкой общей АОА образца.

5. Брокколи характеризуется наиболее сбалансированным антиоксидантным профилем — высокими значениями в обоих тестах, что делает её приоритетным объектом для дальнейшего фитохимического анализа.

6. Для достоверной характеристики АОА природных экстрактов рекомендуется комбинированная схема: H_2O_2 + FRAP-модификация + DPPH с определением TPC и TFC. Только многометодовый подход позволяет корректно интерпретировать профиль активности и избежать ошибочных выводов о «лучшем» или «худшем» антиоксиданте.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА.

Впервые проведено систематическое сопоставление H_2O_2- и FRAP-модифицированных профилей для пяти видов капусты в единых условиях экстракции и дана механистическая интерпретация расхождения результатов. Показано, что соотношение H_2O_2:FRAP-мод. является диагностическим параметром: значение > 5 (как у белокочанной капусты) указывает на аскорбат-доминируемый профиль; значение 1–2 (как у

ISSN 3030-3907

брокколи и фиолетовой капусты) — на более сбалансированный полифенольно-аскорбатный профиль.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Halliwell B., Gutteridge J.M.C. Free Radicals in Biology and Medicine. — 5th ed. — Oxford : Oxford University Press, 2015. — 944 p. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198717478.001.0001

2. Nile S.H., Park S.W. Edible berries: bioactive components and their effect on human health // Nutrition. — 2014. — Vol. 30, No. 2. — P. 134–144. doi: 10.1016/j.nut.2013.04.007

3. Pisoschi A.M., Pop A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: a review // European Journal of Medicinal Chemistry. — 2015. — Vol. 97. — P. 55–74. doi: 10.1016/j.ejmech.2015.04.040

4. Shahidi F., Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects — a review // Journal of Functional Foods. — 2015. — Vol. 18. — P. 820–897. doi: 10.1016/j.jff.2015.06.018

5. Huang D., Ou B., Prior R.L. The chemistry behind antioxidant capacity assays // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2005. — Vol. 53, No. 6. — P. 1841–1856. doi: 10.1021/jf030723c

6. Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K. et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts // Journal of Food Composition and Analysis. — 2006. — Vol. 19, No. 6–7. — P. 669–675. doi: 10.1016/j.jfca.2006.01.003

7. Prior R.L., Wu X., Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2005. — Vol. 53, No. 10. — P. 4290–4302. doi: 10.1021/jf0502698

8. Naczk M., Shahidi F. Extraction and analysis of phenolics in food // Journal of Chromatography A. — 2004. — Vol. 1054, No. 1–2. — P. 95–111. doi: 10.1016/j.chroma.2004.08.059

9. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E. et al. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: Vaccinium, Rubus, and Ribes // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2002. — Vol. 50, No. 3. — P. 519–525. doi: 10.1021/jf011062r

10. Mikulic-Petkovsek M., Schmitzer V., Slatnar A. et al. Composition of sugars, organic acids, and total phenolics in 25 wild or cultivated berry species // Journal

ISSN 3030-3907

of Food Science. — 2012. — Vol. 77, No. 10. — P. C1064–C1070. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02896.x
11. Zeb A. Important therapeutic uses of sea buckthorn (Hippophae): a review // Journal of Biological Sciences. — 2004. — Vol. 4, No. 5. — P. 687–693. doi: 10.3923/jbs.2004.687.693
12. Podsędek A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review // LWT — Food Science and Technology. — 2007. — Vol. 40, No. 1. — P. 1–11. doi: 10.1016/j.lwt.2005.07.023
13. Isabelle M., Lee B.L., Lim M.T. et al. Antioxidant activity and profiles of common vegetables in Singapore // Food Chemistry. — 2010. — Vol. 120, No. 4. — P. 993–1003. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.11.038
14. Gao Q., Li Y., Li Y. et al. Profile of anthocyanins in purple vegetables commonly consumed in China and their relationship with antioxidant abilities // Journal of Food Measurement and Characterization. — 2022. — Vol. 16. — P. 1659–1673. doi: 10.1007/s11694-021-01267-0
15. Ruch R.J., Cheng S.J., Klaunig J.E. Prevention of cytotoxicity and inhibition of intercellular communication by antioxidant catechins isolated from Chinese green tea // Carcinogenesis. — 1989. — Vol. 10, No. 6. — P. 1003–1008. doi: 10.1093/carcin/10.6.1003
16. Benzie I.F.F., Strain J.J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay // Analytical Biochemistry. — 1996. — Vol. 239, No. 1. — P. 70–76. doi: 10.1006/abio.1996.0292
17. Smirnoff N., Cumbes Q.J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes // Phytochemistry. — 1989. — Vol. 28, No. 4. — P. 1057–1060. doi: 10.1016/0031-9422(89)80182-7
18. Marcocci L., Maguire J.J., Droy-Lefaix M.T., Packer L. The nitric oxide-scavenging properties of Ginkgo biloba extract EGb 761 // Biochemical and Biophysical Research Communications. — 1994. — Vol. 201, No. 2. — P. 748–755. doi: 10.1006/bbrc.1994.1764
19. Singleton V.L., Rossi J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents // American Journal of Enology and Viticulture. — 1965. — Vol. 16, No. 3. — P. 144–158.
20. Chang C.C., Yang M.H., Wen H.M., Chern J.C. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods // Journal of Food and Drug Analysis. — 2002. — Vol. 10, No. 3. — P. 178–182. doi: 10.38212/2224-6614.2748
21. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity // LWT — Food Science and Technology. — 1995. — Vol. 28, No. 1. — P. 25–30. doi: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5

ISSN 3030-3907

22. Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids // Free Radical Biology and Medicine. — 1996. — Vol. 20, No. 7. — P. 933–956. doi: 10.1016/0891-5849(95)02227-9

23. Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships // Journal of Nutritional Biochemistry. — 2002. — Vol. 13, No. 10. — P. 572–584. doi: 10.1016/S0955-2863(02)00208-5

24. Apak R., Güçlü K., Demirata B. et al. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay // Molecules. — 2007. — Vol. 12, No. 7. — P. 1496–1547. doi: 10.3390/12071496