

УДК 634.5

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ УПОТРЕБЛЯЕМЫХ В ПИЩУ ОРЕХОВ

© *А.В. Борисова**, *Н.В. Макарова*, *Э.Х. Хамтова*

*Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100 (Россия),
e-mail: anna_borisova_63@mail.ru*

Орехи грецкий, пекан, миндаль, фундук, лещина, кешью, макадамия и арахис, употребляемые в пищу, были исследованы на содержание фенольных веществ и флавоноидов, проявление антирадикальной активности, восстанавливающей силы. Самое высокое содержание фенольных веществ у исследуемых орехов обнаружено у грецкого ореха (536.6 мг галловой кислоты на 100 г сухого вещества), фисташки (512.9 мг галловой кислоты на 100 г сухого вещества) и пекана (377.6 мг галловой кислоты на 100 г сухого вещества). Было обнаружено превышение содержания фенольных веществ в 1,4 раза и флавоноидов в 4.2 раза у дикой лещины по сравнению с фундуком. В данной работе применялся метод определения концентрации экстракта, при которой связывается 50% свободного радикала радикалом 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразил (DPPH). По данной методике антиоксидантную активность удалось обнаружить только в экстракте пекана, фисташки, грецкого ореха, лещины. В остальных экстрактах антирадикальная активность не была обнаружена. Восстанавливающей силой обладают все изученные экстракты в основном в небольшой степени. Из изученных экстрактов наибольшую восстанавливающую силу проявили экстракты арахиса и фисташки. Экстракты лещины и пекана также проявляют большую восстанавливающую силу, чем другие изученные экстракты.

Ключевые слова: грецкий орех, пекан, миндаль, фундук, лещина, кешью, арахис, макадамия, фенольные вещества, антиоксидантные свойства.

Введение

Орехи – традиционный пищевой продукт, используемый как в нативном, так и в переработанном виде в рационе человека. В связи с повышенным интересом исследователей всего мира к антиоксидантным свойствам фенольных веществ, содержащихся в растениях, исследование орехового сырья представляет особый интерес. Орехи являются источником растительного белка, богаты микроэлементами, минералами, витаминами различных групп, а также полиненасыщенными жирными кислотами омега-3 [1, 2].

Известны более десятка видов орехов. Наиболее распространенным и характерным для центральной и южной России является лесной орех, лещина (*Corylus avellana* L.) [3]. Ядро ореха лещины содержит витамины: В₁ – 200%мг, В₂ – 290%мг, значительное количество витамина С, много витаминов Е и D, белков до 16%, сахаров 2–5% [4].

Фундук (*Corylus colurna*) является также одним из распространенных орехов в мире. Большие плантации фундука выращиваются в Турции и на севере Китая [5]. В белках фундука обнаружено 8 незаменимых аминокислот, суммарное количество которых составляет 22.99–35.14%. Отмечено высокое содержание ар-

Борисова Анна Викторовна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: anna_borisova_63@mail.ru
Макарова Надежда Викторовна – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой, e-mail: makarovavn1969@yandex.ru
Хамтова Эльвина Хусаиновна – студент, e-mail: elvina.khamitova.99@mail.ru

гинина, лейцина, глутаминовой и аспарагиновой кислот. В ядрах изученных сортов цистеин и метионин присутствуют в незначительном количестве. Кроме того, в масле фундука содержится значительное количество естественных антиоксидантов

* Автор, с которым следует вести переписку.

токоферолов, каротиноидов, сквалена, также мононенасыщенной олеиновой кислоты, устойчивой к окислению, углеводов, витаминов В₆ и Е, железо, кальций, цинк и фосфор [5, 6].

Грецкий орех (*Juglans regia L.*) является одним из четырех самых распространенных в мире орехов, кроме миндаля, фисташки и кешью. Большая часть выращивается в Китае (50%), Иране, США и Турции. Ценится ядро грецкого ореха благодаря высокому содержанию белков, липидов, углеводов и минеральных веществ [7–10]. Не менее полезным является масло грецкого ореха, содержащее большое количество полиненасыщенных жирных кислот, оказывающих положительное воздействие при сердечно-сосудистых заболеваниях [10]. Ядра грецкого ореха помогают улучшить работу пищеварительной системы, повышают активность работы мозга, укрепляют иммунитет, полезны при борьбе с авитаминозом; для людей, болеющих диабетом [11, 12].

Миндаль (*Prunus dulcis*) – одно из ценнейших растений группы орехоплодных культур, занимает в мире ведущее положение по производству орехов. Крупнейшими странами-импортерами культивируемого миндаля являются Индия, Иран [13, 14]. В диком виде большое видовое многообразие миндаля встречается от юго-запада до центра Азии [14, 15]. Плоды миндального дерева являются хорошим источником фенольных соединений и других вторичных метаболитов, способствующих борьбе с оксидативным стрессом, широко используются в медицине, парфюмерии и пищевой промышленности для изготовления высококачественных кондитерских изделий [16].

Кешью (*Anacardium occidentale L.*) – дерево, плод которого является распространенным продуктом питания. Плоды кешью богаты липидами (43 г/100 г), белками (20 г/100 г), кальцием (37 мг/100 г), магнием (292 мг/100 г), фосфором (593 мг/100 г), калием (660 мг/100 г), также содержат полезные для здоровья ненасыщенные жирные кислоты, витамины (2.82 мг/100 г витамина В), полифенольные компоненты, пищевые волокна (5.9%) [17–20]. Основные плантации кешью находятся в Индии (50% мирового экспорта), Бразилии, Восточной Африке [17]. Орехи кешью помогают при сердечно-сосудистых заболеваниях [19, 20].

Пекан [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] культивируется в таких странах как Мексика, Австралия, Южная Африка, Бразилия, Израиль, Аргентина, Китай и другие. Орех пекана богат липидами (65.93–78.08%), включая ненасыщенные жирные кислоты олеиновую, линолевую, линоленовую. Кроме того, в составе имеются витамины А, В, С, Е, железо, кальций, фосфор, магний, калий, цинк, фенольные вещества, флавоноиды, токоферолы, сквален и фитостеролы. Обладает противоонкологическими свойствами, полезен при авитаминозе, малокровии, сердечно-сосудистых заболеваниях [21–23].

Фисташка (*Pistacia vera L.*) – представитель семейства анакардиевых, которое включает высокосолеустойчивые виды. Фисташку называют «зеленым золотым деревом» благодаря высокой экономической стоимости и питательной ценности [24]. Основными импортерами фисташки являются Иран, США, Турция, Китай, Сирия, Италия и Тунис [25, 26]. Благодаря насыщенному зеленому цвету, отличным вкусовым и ароматическим свойствам плоды фисташки нашли применение в кондитерской отрасли, производстве мороженого и других десертов. Фисташка богата липидами, белками, минеральными веществами, фитостиролами, каротиноидами, хлорофиллом и токоферолом. Фисташке приписывают антиоксидантные, противовоспалительные, антимикробные и антимутагенные свойства [25].

Арахис (*Arachis hypogaea L.*) – масличная культура, однолетнее травянистое растение семейства бобовых. Арахис в основном используют для производства масла, пасты, ингредиента кондитерских изделий и как закуску, снэк [27]. Крупнейшими производителями арахиса являются Китай (41.5%), Индия (18.2%), США (6.8%) [28]. Плоды арахиса богаты ненасыщенной олеиновой жирной кислотой, белками, токоферолами, полифенолами (*p*-кумариновой и ферулловой кислотами) [29], флавоноидами эпигаллокатехином, эпикатехином, катехингаллатом, эпикатехингаллатом, проантоцианидинами и др. [30].

Макадамия (*Macadamia integrifolia L.*) – один из самых редких в мире орехов. Годовое производство ореха составляет около 100000 тонн, основными производителями ореха являются Австралия (32%), Южная Африка (30%), Кения (12%), США (8%), Малави (4%) [31, 32]. Масло макадамии используется в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности. Орех макадамии богат витаминами Е, РР, группы В, незаменимыми аминокислотами и минералами: кальцием, калием, селеном, медью, фосфором, цинком. Полифенольные вещества макадамии проявляют антиоксидантные свойства. Орех улучшает работу сердца, укрепляет суставы и кости, полезен людям, страдающим артрозом [33, 34].

Цель данной работы – сравнение общего содержания фенольных веществ и флавоноидов, антирадикальной активности и восстанавливающей силы указанных видов орехов.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны торговые образцы орехов: 1) грецкий орех (*Juglans regia* L.) торговой марки Ореховая роща ООО «ТД-холдинг», Россия; 2) фундук (*Corylus colurna*) торговой марки Ореховая роща ООО «ТД-холдинг», Россия; 3) миндаль (*Prunus dulcis*) торговой марки Ореховая роща ООО «ТД-холдинг», Россия; 4) кешью (*Anacardium occidentale* L.) торговой марки Ореховая роща ООО «ТД-холдинг», Россия; 5) pekan (*Carya illinoensis*) торговой марки Ореховая роща ООО «ТД-холдинг», Россия; 6) арахис (*Arachis hypogaea* L.) торговой марки Красная цена ООО «Био-Натс», Россия; 7) макадамия (*Macadamia integrifolia* L.) торговой марки Щелкунов ООО «ОрехТорг», Россия; 8) фисташка (*Pistacia vera* L.) торговой марки Красная цена ООО «Био-Натс», Россия. Кроме того, были проанализированы образцы ореха лещины (*Corylus avellana* L.), место сбора – Красноярский район Самарской области, урожай 2019 г.

Для всех объектов были изучены влажность по ГОСТ 16834-81 (лещина, фундук), ОФС.1.5.3.0007.15 (все остальные объекты), влагопоглощающая способность, содержание фенольных веществ, флавоноидов, восстанавливающая сила по методу FRAP, антирадикальная активность по методу DPPH.

Содержание общих фенольных веществ в объектах оценивали с помощью модифицированной версии метода Фолин-Чеколтеу [7]. Галловую кислоту использовали в качестве стандарта и водный раствор галловой кислоты (200 мг в 1000 мл) разбавляли дистиллированной водой, чтобы получить соответствующие концентрации для калибровочной кривой. Для анализа взяли 0.50 мл анализируемого объекта или стандарта галловой кислоты, 4.00 мл дистиллированной воды, 0.25 мл реактива Фолин-Чеколтеу и 0.25 мл насыщенного водного раствора карбоната натрия. Образцы встряхнули и выдержали в темноте 30 мин при комнатной температуре. Коэффициент поглощения определяли при 725 нм на спектрофотометре. Результаты выражали в мг эквивалента галловой кислоты в 100 г сухого веса. Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

Содержание флавоноидов в объектах измеряли с использованием модифицированного метода [16]. Анализируемый объект или стандартный раствор катехина в объеме 0,50 мл добавляли в мерную пробирку объемом 10 мл. Затем добавляли 2.50 мл дистиллированной воды в нулевой момент времени добавляли 0.15 мл 5%-ного раствора нитрата натрия, через 5 мин добавили 0.30 мл 10%-ного раствора хлорида алюминия и выдержали еще 5 мин. Коэффициент поглощения измеряли при 510 нм. Содержание флавоноидов выражали в мг эквивалентов катехина в 100 г сухого веса. Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

Антирадикальная активность образцов измерялась в соответствии с методом DPPH [7]. Методика основана на способности антиоксидантов исходного сырья связывать стабильный хромоген-радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH). DPPH (4 мг) растворяли в 100 мл этанола. Аликвоты исследуемого объекта (0.05, 0.10, 0.40, 0.80, 1.00 и 5.00 мл) растворяли в 100 мл дистиллированной воды. Затем 0.2 мл каждого раствора добавляли к 2.0 мл раствора DPPH при 20 °С и выдерживали в темноте в течение 30 мин. Определяли коэффициент пропускания при 517 нм. Антирадикальную активность выражали в виде концентрации исходного объекта в мг/мл, при которой происходило связывание 50% радикалов. Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

Восстанавливающую силу исследуемого объекта определяли по методу FRAP [8]. Для анализа использовали свежеприготовленный раствор FRAP: смешивали 10 мл ацетатного буфера (pH 3.6), 1 мл 10%-ного раствора хлорида железа (III) и 1 мл раствора TPTZ (2,4,6-трипиридил-s-триазина) (10 ммоль/л TPTZ в 40 ммоль/1000 мл HCl) и выдерживали 10 мин при температуре 37 °С. К анализируемому объекту (0.1 мл) добавляли 3.0 мл дистиллированной воды и 1 мл раствора FRAP. Смесь выдержали в течение 4 мин при температуре 37 °С. Измеряли оптическую плотность при 593 нм. Восстанавливающую силу определяли по калибровочному графику и выражали в ммоль Fe²⁺/1 кг исходного сырья. Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

Обсуждение результатов

Содержание сухих веществ в орехах представлено в таблице. Исходя из данных таблицы следует, что влажность большинства орехов находится в интервале 5-7%. Это связано с условиями их хранения на предприятиях-фасовщиках и при реализации. Однако влажность миндаля намного ниже, чем у других орехов, и составляет всего 3%. Такая разница обусловлена строением плода миндального дерева. Грецкий орех и арахис обладали высокой влажностью по сравнению с другими орехами. Возможное колебание влажности

могло быть вызвано неправильными условиями хранения, также здесь может играть роль различие в строении ядра грецкого ореха и плода арахиса, их отношение к разным семействам.

На рисунке 1 представлено значение влагопоглощающей способности орехов.

Значение влагопоглощающей способности максимально у фисташки, грецкого ореха и миндаля. Влагопоглощающие свойства орехов связаны с наличием в их составе клетчатки, способной удерживать влагу.

Общее содержание фенольных веществ в пересчете на галловую кислоту и флавоноидов в пересчете на катехин представлено на рисунке 2.

Содержание сухих веществ и влажности орехов

Орех	Грецкий орех	Лещина	Фундук	Миндаль	Кешью	Пекан	Арахис	Макадамия	Фисташка
Влажность, %	10.0±0.5	6.0±0.3	5.0±0.2	3.0±0.1	6.0±0.3	6.0±0.3	10.0±0.5	7.0±0.3	7.0±0.3
Содержание сухих веществ, %	90.0±4.5	94.0±4.7	95.0±4.7	97.0±4.8	94.0±4.7	94.0±4.7	90.0±4.5	93.0±4.6	93.0±4.6

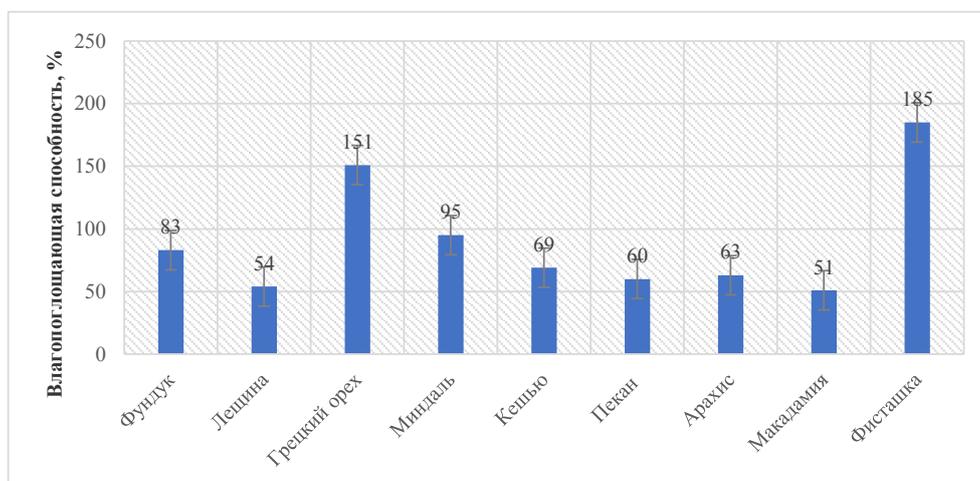


Рис. 1. Влагопоглощающая способность орехов

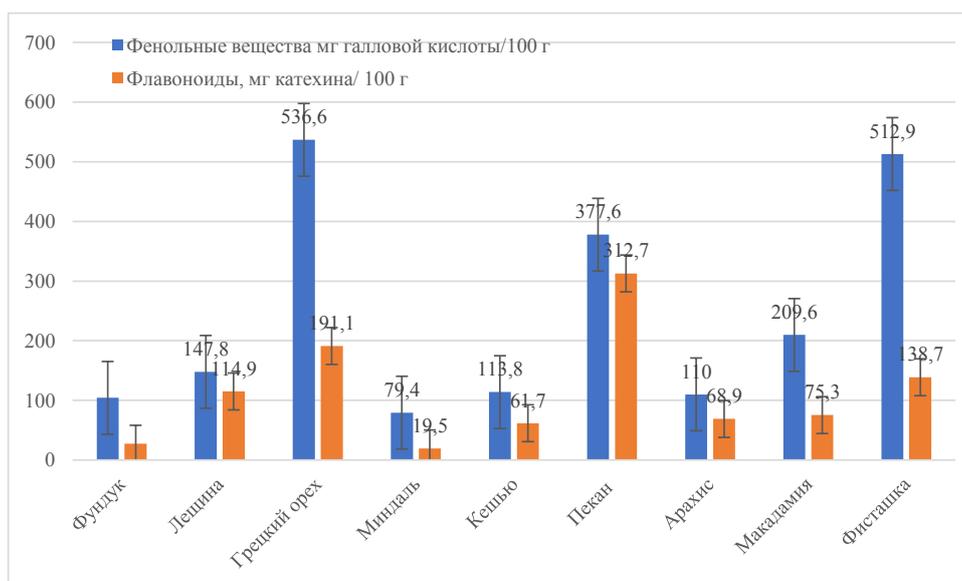


Рис. 2. Содержание фенольных веществ и флавоноидов в орехах

Фенольные вещества – это вторичные метаболиты растений, выполняющие весьма важные функции для их жизнедеятельности. Уникальное химическое строение, присущее классу фенольных веществ (в частности, большое количество гидроксильных групп), обуславливает их высокую антирадикальную, антиоксидантную активность. Флавоноиды, относящиеся к классу фенольных веществ, также известны как основные антиоксиданты.

Самое высокое содержание фенольных веществ у исследуемых орехов обнаружено у грецкого ореха (536.6 мг галловой кислоты на 100 г сухого вещества), фисташки (512.9 мг галловой кислоты на 100 г сухого вещества) и пекана (377.6 мг галловой кислоты на 100 г сухого вещества).

Содержание фенольных веществ в фундуке на относительно низком уровне по сравнению с другими орехами объясняется преобладанием в его составе таких биоактивных компонентов, как токоферолы, каротиноиды, сквален [5]. К сожалению, в литературе не имеется данных по определению фенольных веществ в фундуке и лещине с реактивом Фолина-Чеколтеу, поэтому сравнить полученные значения не представляется возможным. Интересно отметить превышение содержания фенольных веществ в 1.4 раза и флавоноидов в 4.2 раза у лещины по сравнению с фундуком. Орех лещины не подвергался шелушению, термической обработке (сушке), что положительно влияет на сохранность фенольных веществ. Кроме того, условия роста растений в дикой природе, как правило, способствуют высокому уровню накопления фенольных веществ как вторичных метаболитов, выполняющих важные защитные функции в растениях в условиях неблагоприятной экологической обстановки и засухи.

Что касается данных по грецкому ореху, то значения содержания фенольных веществ варьируются от 0.96–6.46 мг галловой кислоты /100 г [8, 9] до 182–222 мг галловой кислоты /100 г [7]. Различия в определении общего содержания фенольных веществ связаны с применением разных растворителей – метанола, метанола с уксусной кислотой, гексана в приведенных работах и этанола в данной работе. Также сообщается о различии в содержании фенольных веществ в зависимости от способа обжарки и сушки ореха [7]. Большое значение, безусловно, имеет различие стран произрастания исследуемых орехов, условий роста, сбора урожая и хранения.

Содержание фенольных веществ и флавоноидов в миндале, согласно литературным данным [16], находится в пределах 1830–7347 мг галловой кислоты / 100 г. Различие в содержании объясняется использованием растворителя для извлечения веществ из плода. Самое высокое содержание наблюдалось во фракции с этилацетатом, а самое низкое значение – в гексановой фракции. В нашем исследовании получены низкие значения – 79.4 мг галловой кислоты на 100 г сырья. Такие низкие значения могут быть обусловлены использованием более слабого растворителя (50% этанол), а также сортом, условиями произрастания, сбора и хранения миндаля.

В ядрах кешью было обнаружено 118.8 мг галловой кислоты на 100 г сухого вещества. В литературе встречаются значения как выше – 369 мг галловой кислоты на 100 г для сырых орехов и 536–1891 мг галловой кислоты на 100 г для жареных орехов [20], так и ниже – 86.75 мг галловой кислоты на 100 г [18]. Такие различия могут быть связаны как с использованием в упомянутых работах метанольного экстракта с уксусной кислотой для извлечения фенольных веществ, так и в различиях между сортами и видами обработки кешью, условиями и сроком хранения. Содержание фенольных веществ может варьировать в орехах в течение хранения, что обусловлено протеканием сложных биохимических реакций, в том числе реакции Майяра, в результате которой образуются вещества, вносящие вклад в общее содержание фенольных веществ. Основными фенольными веществами, обнаруженными в орехах кешью являются галловая кислота, 3,4-дигидроксibenзойная кислота, (+)-катехин, 1,2-дигидроксibenzen, синрингиновая кислота, кофеиновая кислота, рутина тригидрат, *p*-кумариновая кислота и др. [18].

Высокое содержание фенольных веществ в ядре пекана обнаружено и в работе [23] – 344 мг катехина на 100 г сырого сырья. При прожарке количество увеличивается до 414 мг катехина на 100 г сырья за счет усыхания массы, поэтому более правильно вести пересчет на сухую массу. Важнейшими фитосетролами и полифенольными веществами, обнаруженными в орехе пекане, являются β -ситостерол, стигмастерол, кампестерол, 5-авенастерол, эллаговая кислота, эпигаллокатехин-3-галлат [21].

Содержание фенольных веществ в арахисе не противоречит литературным данным (100–161 мг галловой кислоты на 100 г) [28, 30]. Основными соединениями, относящимися к этому классу и обнаруженными методом жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией, являются кофеиновая кислота, *p*-кумариновая кислота, ферулловая кислота, β -резорциловая кислота, ресвератрол, кверцетин.

В грецком орехе и фисташке, произраставших в Испании, было обнаружено более высокое содержание фенольных веществ – 1086.2 и 702.9 мг галловой кислоты на 100 г соответственно [35]. Однако в данном исследовании экстракт готовился на основе метанола, что и объясняет большую степень извлечения веществ. Для ореха макадамии же метанольное извлечение фенольных веществ и флавоноидов показало меньшие значения – 0.0508 мг галловой кислоты на 100 г и 0.0158 мг кверцетина на 100 г соответственно [31]. При этом было обнаружено, что содержание флавоноидов во время хранения снижается за счет их расхода как антиоксидантов, а содержание фенольных веществ, напротив, увеличивается.

Результаты исследования антирадикальной активности в орехах приведено на рисунке 3.

Антирадикальная активность растительных экстрактов интересует исследователей с точки зрения предотвращения и приостановления свободнорадикального механизма окисления. В последнее время уже установлено наличие различных механизмов действия антиоксидантов. Одним из самых распространенных методов определения антиоксидантной активности является метод со стабильным радикалом 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразил (DPPH). В данной работе применялся метод определения концентрации экстракта, при которой связывается 50% свободного радикала. По данной методике антиоксидантную активность удалось обнаружить только в экстракте пекана, фисташки, грецкого ореха, лещины. В остальных экстрактах антирадикальная активность не была обнаружена.

Восстанавливающая сила, проявляемая экстрактами орехов, представлена на рисунке 4.

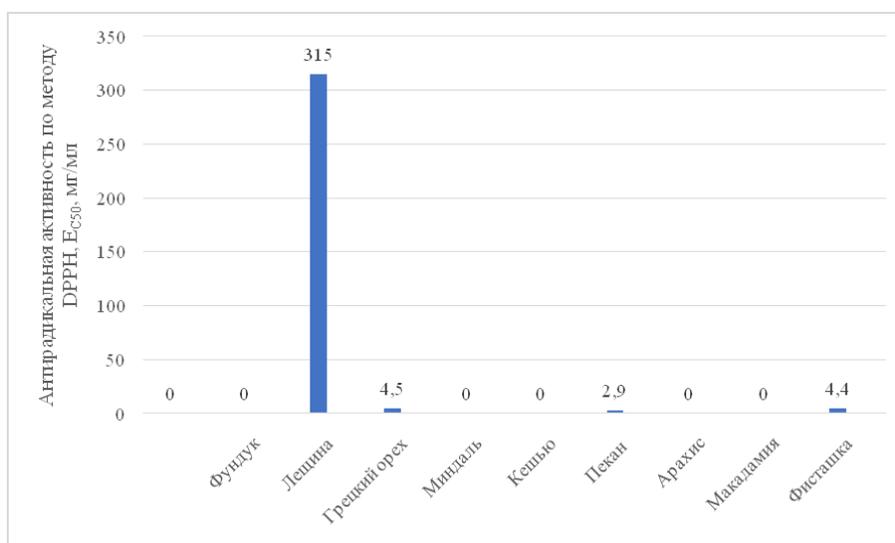


Рис. 3. Антирадикальная активность орехов по методу DPPH

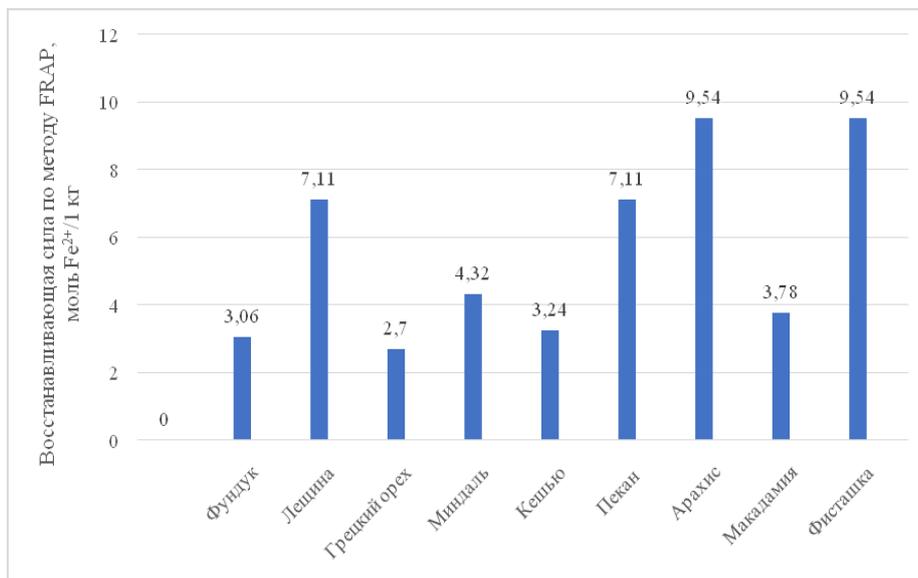


Рис. 4. Восстанавливающая сила орехов по методу FRAP

Процесс окисления могут катализировать металлы переменной валентности, в связи с этим интерес представляет метод определения антиоксидантной активности по способности восстанавливать металлы переменной валентности (FRAP). Восстанавливающей силой обладают все изученные экстракты в основном в небольшой степени. Из изученных экстрактов наибольшую восстанавливающую силу проявили экстракты арахиса и фисташки. Экстракты лещины и пекана также проявляют большую восстанавливающую силу, чем другие изученные экстракты.

Выводы

При сравнении общего содержания фенольных веществ и флавоноидов в орехах, употребляемых в пищу, было выявлено, что орехи являются источником фенольных веществ и флавоноидов, наибольшее их количество содержится в грецком орехе, пекане и фисташке. Благодаря их наличию указанные орехи проявляют антирадикальную активность. Восстанавливающая сила в отношении металлов переменной валентности проявляется всеми видами орехов, в большей степени – арахисом, фисташкой, лещиной и пеканом.

Список литературы

1. Иванова Р.А., Елисовецкая Д.С. Антиоксидантная активность экстрактов из различных видов незрелых орехов *Juglans Spp.* // Лекарственные растения: биоразнообразие, технологии, применение: сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции. Гродно, 2014. С. 129–131.
2. Макаренкова О.Г., Шевякова Л.В., Бессонов В.В. Природные микроэлементы орехов – неотъемлемая часть здорового питания // Вопросы питания. 2016. Т. 85. №2. С. 202.
3. Горохова С.В. Перспективы использования представителей рода *Corlus L.* в озеленении // Вестник ИрГСХА. 2011. №44. С. 34–40.
4. Горохова С.В. Интенсивность транспирации у некоторых видов представителей рода *Corylus L.* // Научные ведомости: Серия Естественные науки. 2011. №3 (98). С. 248–253.
5. Cui N., Wang G., Ma Q., Zhao T., Li R., Liang L. Effect of cold-pressed on fatty acid profile, bioactive compounds and oil oxidation of hazelnut during oxidation process // LWT – Food Science and Technology. 2020. Vol. 129. 109552. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109552.
6. Ткаченко З.Н. Некоторые особенности фундука в прикубанской зоне садоводства. Краснодар, 2001. 85 с.
7. Wei F., Chen Q., Du Y., Han C., Fu M., Jiang H., Chen X. Effects of hulling methods on the odor, taste, nutritional compounds, and antioxidant activity of walnut fruit // LWT – Food Science and Technology. 2019. Vol. 120. 108938. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108938.
8. Gao P., Liu R., Jin Q., Wang X. Effects of processing methods on the chemical composition and antioxidant capacity of walbut (*Juglans regia L.*) oil // LWT. 2021. Vol. 135. 109958. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109958.
9. Gao P., Liu R., Jin Q., Wang X., Gao P., Liu R., Jin Q., Wang X. Comparative study of chemical compositions and antioxidant capacities of oil obtained from two species of walnut: *Juglans regia* and *Juglans sigillata* // Food Chemistry. 2019. Vol. 279. Pp. 279–287. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.12.016.
10. Gao P., Liu R., Jin Q., Wang X. Comparison of solvents for extraction of walnut oil: Lipid yield, lipid compositions, minor component, and antioxidant capacity // LWT – Food Science and Technology. 2019. Vol. 110. Pp. 346–352. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.04.100.
11. Васипов В.В., Выговтов А.А. Грецкий орех (*Juglans Regia L.*) – перспективный источник биологически активных веществ // Пища. Экология. Качество: труды XIII международной научно-практической конференции. 2016. С. 223–228.
12. Хайриева М.Ф., Кароматов И.Д. Грецкий орех и метаболические нарушения (обзор литературы) // Биология и интегративная медицина. 2018. №8 (25). С. 29–41.
13. Patil H., Shejale K.P., Jabbaraj R., Shah N., Kumar G. Disinfestation of red flour beetle (*Tribolium castaneum*) present in almonds (*Prunus dulcis*) using microwave heating and evaluation of wuality and shelf life of almonds // Journal of Stored Products Research. 2020. Vol. 87. 101616. DOI: 10.1016/j.jspt.2020.101616.
14. Zahedi S.M., Abdelrahman M., Hosseini M.S., Yousefi R., Tran L.-S.P. Physical and biochemical properties of 10 wild almond (*Amygdalus scoparia*) accessions naturally grown in Iran // Food Bioscience. 2020. Vol. 37. 100721. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100721.
15. Bernoussi S.E., Noujema I., Harhar H., Belmaghraoui W., Matthaus B., Tabyaoui M. Evaluation of poxidative stability of sweet and bitter almond oils under accelerated storage conditions // Journal of Stored Products Research. 2020. Vol. 88. 101662. DOI: 10.1016/j.jspr.2020.101662.
16. Dhingra N., Kar A., Sharma R., Bhasin S. In-vitro antioxidative potential of different fractions from *Prunus dulcis* seeds: Vis a vis antiproliferative and antibacterial activities of active compounds // South African Journal of Botany. 2017. Vol. 108. Pp. 184–192. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.10.013.
17. Trevisan M.T.S., Pfundstein B., Haubner R., Wurtele G., Spiegelhalter B., Bartsch H., Owen R.W. Characterization of alkyl phenols in cashew (*Anacardium occidentale*) products and assay of their antioxidant capacity // Food and Chemical Toxicology. 2006. Vol. 44. Pp. 188–197. DOI: 10.1016/j.fct.2005.06.012.

18. Uslu N., Ozcan M.M. Effect of microwave heating on phenolic compounds and fatty acid composition of cashew (*Anacardium occidentale*) nut and oil // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2019. Vol. 18. Pp. 344–347. DOI: 10.1016/j.jssas.2017.10.001.
19. Jalali M., Karamizadeh M., Ferns A.G., Zare M., Moosavian S.P., Akbarzadeh M. The effects of cashew nut intake on lipid profile and blood pressure: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // Complementary Therapies in Medicine. 2020. Vol. 50. 102387. DOI: 10.1016/j.ctim.2020.102387.
20. Chandrasekara N., Shahidi F. Antioxidative potential of cashew phenolics in food and biological model system as affected by roasting // Food Chemistry. 2011. Vol. 129. Pp. 1388–1396. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.05.075.
21. Atanasov A.G., Sabharanjak S.M., Zengin G., Mollica A., Szostak A., Simirgiotis M., Huminiecki L., Horbanczuk O.K., Nabavi S.M., Mocan A. Pecan nuts: A review of reported bioactivities and health effects // Food Science & Technology. 2018. Vol. 71. Pp. 246–257. DOI: 10.1016/j2017.10.019.
22. Poletto T., Poletto I., Silva L.M.M., Muniz M.F.B., Reiniger L.R.S., Richards N., Stefenon V.M. Morphological, chemical and genetic analysis of southern Brazilian pecan (*Carya illinoensis*) accessions // Scientia Horticulturae. 2020. Vol. 261. 108863. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108863.
23. Kellett M.E., Greenspan P., Gong Y., Pegg R.B. Cellular evaluation of the antioxidant activity of U.S. Pecans [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] // Food Chemistry. 2019. Vol. 293. Pp. 511–519. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.04.103.
24. Surucu A., Acar I., Demirkiran A.R., Farooq S., Gokmen V. Variations in nutrient uptake, yield and nut quality of different pistachio cultivars grafted on *Pistacia khinjuk* rootstock // Scientia Horticulturae. 2020. Vol. 260. 108913. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.10913.
25. Hamed M., Bougateg H., Karoud W., Krichen F., Haddar A., Bougateg A., Sila A. Polysaccharides extracted from pistachio external hull: Characterization, antioxidant activity and potential application on meat as preservative // Industrial Crops & Products. 2020. Vol. 148. 112315. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112315.
26. Mohammadi M., Ghorbani M., Beigbabaei A., Yeganehzad S., Sadeghi-Mahoonak A. Investigation effects of extracted compounds from shell and cluster of pistachio nut on the inactivation of free radicals // Heliyon. 2019. Vol. 5. e02438. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02438.
27. Bonku R., Yu J. Health aspects of peanuts as an outcome of its chemical composition // Food Science and Human Wellness. 2020. Vol. 9. Pp. 21–30. DOI: 10.1016/j.fshw.2019.12.005.
28. Attree R., Du B., Xu N. Distribution of phenolic compounds in seed coat and cotyledon, and their contribution to antioxidant capacities of red and black seed coat peanuts (*Arachis hypogaea* L.) // Industrial Crops and Products. 2015. Vol. 67. Pp. 448–455. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.01.080.
29. Duncan C.E., Gorbet D.W., Talcott S.T. Phytochemical content and antioxidant capacity of water-soluble isolates from peanuts (*Arachis hypogaea* L.) // Food Research International. 2006. Vol. 39. Pp. 898–904. DOI: 10.1016/j.foodres.2006.05.009.
30. Sales J.M., Resurreccion A.V.A. Phenolic profile, antioxidants, and sensory acceptance of bioactive-enhanced peanuts using ultrasound and UV // Food Chemistry. 2010. Vol. 122. Pp. 795–803. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.03.058.
31. Buthelezi N.M.D., Magwaza L.S., Tesfay S.Z. Postharvest pre-storage processing improves antioxidants, nutritional and sensory quality of macadamia nuts // Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 251. Pp. 197–208. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.03.026.
32. Borompichaichartkul C., Luengsode K., Chinprahast N., Devahastin S. Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process // Journal of Food Engineering. 2009. Vol. 93. Pp. 348–353. DOI: 10.1016/j.foodeng.2009.01.035.
33. Hu W., Fitzgerald M., Topp B., Alam M., O'Hare T.J. A review of biological functions, health benefits, and possible de novo biosynthetic pathway of palmitoleic acid in macadamia nuts // Journal of Functional Foods. 2019. Vol. 62. 103520. DOI: 10.1016/j.jff.2019.103520.
34. Wall M.M. Functional lipid characteristics, oxidative stability, and antioxidant activity of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) cultivars // Food Chemistry. 2010. Vol. 121. Pp. 1103–1108. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.057.
35. Fregapane G., Guisantes-Batan E., Ojeda-Amador Rosa M., Salvador M.D. Development of functional edible oils enriched with pistachio and walnut phenolic extracts // Food Chemistry. 2020. Vol. 310. 125917. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125917.

Поступила в редакцию 20 мая 2021 г.

После переработки 13 января 2022 г.

Принята к публикации 19 января 2022 г.

Для цитирования: Борисова А.В., Макарова Н.В., Хамтова Э.Х. Сравнительная характеристика содержания фенольных веществ и антиоксидантной активности некоторых видов употребляемых в пищу орехов // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 95–104. DOI: 10.14258/jcrpm.2022029660.

*Borisova A.V.**, *Makarova N.V.*, *Khamtova E.Kh.* THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS AND THE ANTI-OXIDANT ACTIVITY OF SOME TYPES OF NUTS CONSUMED IN FOOD

*Samara State Technical University, ul. Molodogvardeiskaya, 244, Samara, 443100 (Russia),
e-mail: anna_borisova_63@mail.ru*

Phenolic compounds, flavonoids, anti-radical activity, and restorative power are found in walnuts, pecans, almonds, hazelnuts, hazelnuts, cashews, macadamia, and peanuts. The highest content of phenolic substances in the studied nuts was found in walnuts (536.6 mg of gallic acid per 100 g of dry matter), pistachios (512.9 mg of gallic acid per 100 g of dry matter) and pecans (377.6 mg of gallic acid per 100 g of dry matter). Wild hazel contains 1.4 times more phenolic substances compared to hazelnuts and 4.2 times more flavonoids. In this work, a method was used to determine the concentration of the extract at which 50% of the free radical is bound by the 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical. The antioxidant activity was found only in the extract of pecans, pistachios, walnuts, and hazelnuts. No antiradical activity was detected in the remaining extracts. The restorative power of all the studied extracts is mainly, to a small extent. Of the studied extracts, peanut and pistachio extracts showed the greatest restoring power. Hazelnut and pecan extracts also exhibit greater restorative power than other extracts studied.

Keywords: walnut, pecan, almond, hazelnut, hazel, cashew, peanut, macadamia, phenolic compounds antioxidant activity.

Referenses

1. Ivanova R.A., Yelisovetskaya D.S. *Lekarstvennyye rasteniya: bioraznoobraziye, tekhnologii, primeneniye: sbornik nauchnykh statey po materialam I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Medicinal plants: biodiversity, technology, application: a collection of scientific articles based on the materials of the I International Scientific and Practical Conference]. Grodno, 2014, pp. 129–131. (in Russ.).
2. Makarenkova O.G., Shevyakova L.V., Bessonov V.V. *Voprosy pitaniya*, 2016, vol. 85, no. 2, p. 202. (in Russ.).
3. Gorokhova S.V. *Vestnik IrGSKhA*, 2011, no. 44, pp. 34–40. (in Russ.).
4. Gorokhova S.V. *Nauchnyye vedomosti: Seriya Yestestvennyye nauki*, 2011, no. 3 (98), pp. 248–253. (in Russ.).
5. Cui N., Wang G., Ma Q., Zhao T., Li R., Liang L. *LWT – Food Science and Technology*, 2020, vol. 129, 109552. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109552.
6. Tkachenko Z.N. *Nekotoryye osobennosti funduka v prikubanskoj zone sadovodstva*. [Some features of hazelnuts in the Kuban horticulture zone]. Krasnodar, 2001, 85 p. (in Russ.).
7. Wei F., Chen Q., Du Y., Han C., Fu M., Jiang H., Chen X. *LWT – Food Science and Technology*, 2019, vol. 120, 108938. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108938.
8. Gao P., Liu R., Jin Q., Wang X. *LWT*, 2021, vol. 135, 109958. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109958.
9. Gao P., Liu R., Jin Q., Wang X. Gao P., Liu R., Jin Q., Wang X. *Food Chemistry*, 2019, vol. 279, pp. 279–287. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.12.016.
10. Gao P., Liu R., Jin Q., Wang X. *LWT – Food Science and Technology*, 2019, vol. 110, pp. 346–352. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.04.100.
11. Vasipov V.V., Vytovtov A.A. *Pishcha. Ekologiya. Kachestvo: trudy XIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Food. Ecology. Quality: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference]. 2016, pp. 223–228. (in Russ.).
12. Khayriyeva M.F., Karomatov I.D. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, 2018, no. 8 (25), pp. 29–41. (in Russ.).
13. Patil H., Shejale K.P., Jabbaraj R., Shah N., Kumar G. *Journal of Stored Products Research*, 2020, vol. 87, 101616. DOI: 10.1016/j.jspt.2020.101616.
14. Zahedi S.M., Abdelrahman M., Hosseini M.S., Yousefi R., Tran L.-S.P. *Food Bioscience*, 2020, vol. 37, 100721. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100721.
15. Bernoussi S.E., Noujema I., Harhar H., Belmaghraoui W., Matthaus B., Tabyaoui M. *Journal of Stored Products Research*, 2020, vol. 88, 101662. DOI: 10.1016/j.jspr.2020.101662.
16. Dhingra N., Kar A., Sharma R., Bhasin S. *South African Journal of Botany*, 2017, vol. 108, pp. 184–192. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.10.013.
17. Trevisan M.T.S., Pfundstein B., Haubner R., Wurtele G., Spiegelhalder B., Bartsch H., Owen R.W. *Food and Chemical Toxicology*, 2006, vol. 44, pp. 188–197. DOI: 10.1016/j.fct.2005.06.012.
18. Uslu N., Ozcan M.M. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2019, vol. 18, pp. 344–347. DOI: 10.1016/j.jssas.2017.10.001.
19. Jalali M., Karamizadeh M., Ferns A.G., Zare M., Moosavian S.P., Akbarzadeh M. *Complementary Therapies in Medicine*, 2020, vol. 50, 102387. DOI: 10.1016/j.ctim.2020.102387.
20. Chandrasekara N., Shahidi F. *Food Chemistry*, 2011, vol. 129, pp. 1388–1396. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.05.075.
21. Atanasov A.G., Sabharanjak S.M., Zengin G., Mollica A., Szostak A., Simirgiotis M., Huminiecki L., Horbanczuk O.K., Nabavi S.M., Mocan A. *Food Science & Technology*, 2018, vol. 71, pp. 246–257. DOI: 10.1016/j2017.10.019.
22. Poletto T., Poletto I., Silva L.M.M., Muniz M.F.B., Reiniger L.R.S., Richards N., Stefenon V.M. *Scientia Horticulturae*, 2020, vol. 261, 108863. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108863.
23. Kellett M.E., Greenspan P., Gong Y., Pegg R.B. *Food Chemistry*, 2019, vol. 293, pp. 511–519. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.04.103.

* Corresponding author.

24. Surucu A., Acar I., Demirkiran A.R., Farooq S., Gokmen V. *Scientia Horticulturae*, 2020, vol. 260, 108913. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.10913.
25. Hamed M., Bougatef H., Karoud W., Krichen F., Haddar A., Bougatef A., Sila A. *Industrial Crops & Products*, 2020, vol. 148, 112315. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112315.
26. Mohammadi M., Ghorbani M., Beigbabaei A., Yeganehzad S., Sadeghi-Mahoonak A. *Heliyon*, 2019, vol. 5, e02438. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02438.
27. Bonku R., Yu J. *Food Science and Human Wellness*, 2020, vol. 9, pp. 21–30. DOI: 10.1016/j.fshw.2019.12.005.
28. Attree R., Du B., Xu N. *Industrial Crops and Products*, 2015, vol. 67, pp. 448–455. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.01.080.
29. Duncan C.E., Gorbet D.W., Talcott S.T. *Food Research International*, 2006, vol. 39, pp. 898–904. DOI: 10.1016/j.foodres.2006.05.009.
30. Sales J.M., Resurreccion A.V.A. *Food Chemistry*, 2010, vol. 122, pp. 795–803. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.03.058.
31. Buthelezi N.M.D., Magwaza L.S., Tesfay S.Z. *Scientia Horticulturae*, 2019, vol. 251, pp. 197–208. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.03.026.
32. Borompichaichartkul C., Luengsode K., Chinprahast N., Devahastin S. *Journal of Food Engineering*, 2009, vol. 93, pp. 348–353. DOI: 10.1016/j.foodeng.2009.01.035.
33. Hu W., Fitzgerald M., Topp B., Alam M., O'Hare T.J. *Journal of Functional Foods*, 2019, vol. 62, 103520. DOI: 10.1016/j.jff.2019.103520.
34. Wall M.M. *Food Chemistry*, 2010, vol. 121, pp. 1103–1108. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.057.
35. Fregapane G., Guisantes-Batan E., Ojeda-Amador Rosa M., Salvador M.D. *Food Chemistry*, 2020, vol. 310, 125917. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125917.

Received May 20, 2021

Revised January 13, 2022

Accepted January 19, 2022

For citing: Borisova A.V., Makarova N.V., Khamtova E.Kh. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 95–104. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2022029660.