

УДК 615.322

СОСТАВ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТА КОРНЕЙ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ*

© Д.К. Гуляев^{1**}, В.Д. Белоногова¹, Д.О. Боков², В.В. Бессонов³

¹ Пермская государственная фармацевтическая академия, ул. Полевая, 2, Пермь, 614990 (Россия), e-mail: dkg2014@mail.ru

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), ул. Трубецкая, 8, Москва, 119991 (Россия)

³ ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи, Устьинский проезд, 2/14, Москва, 109240 (Россия)

Корни ели обыкновенной *Picea abies* (L.) (*Pinaceae*) являются отходами лесозаготовок и в настоящее время не используются. Однако корни ели – источник ценных биологически активных веществ, имеющих перспективу применения в медицинской практике. Целью работы является исследование состава фенольных соединений и антиоксидантной активности водного экстракта корней ели. Сырьем для исследования являлись корни ели обыкновенной, собранные на лесосеке в день спила дерева. Из корней был получен водный экстракт, из которого удалены полисахариды. Состав фенольных соединений экстракта определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе марки Agilent 1100. Идентификацию соединений проводили на основе соответствия временам удерживания. Антиоксидантную активность экстракта определяли по реакции со стабильным свободным радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом (DPPH), вычисляли величину IC₅₀. В качестве вещества сравнения использовали аскорбиновую кислоту и тролокс (водорастворимая форма витамина Е). В результате исследования установлено, что в водном экстракте корней ели присутствуют флавоноиды, гидроксикоричные кислоты, фенолкарбоновые кислоты. Среди гидроксикоричных кислот в водном экстракте корней ели в наибольшем количестве содержится феруловая кислота, среди флавоноидов – гиперозид. Установлено, что водный экстракт корней ели обыкновенной, очищенный от полисахаридов, обладает выраженной антиоксидантной активностью, сопоставимой по силе с аскорбиновой кислотой, что позволяет говорить о перспективах дальнейших исследований и получения лекарственных препаратов.

Ключевые слова: ель обыкновенная, корни, фенольные соединения, полисахариды, антиоксидантная активность.

Введение

Ель обыкновенная *Picea abies* (L.) (*Pinaceae*) является широко распространенным, лесообразующим древесным растением на территории многих регионов Российской Федерации. На территории Пермского края ель занимает 77.3% хвойных насаждений, по данным лесного плана [1]. Древесина ели, благодаря своим характеристикам, является одним из основных видов сырья для деревообрабатывающих производств, что объясняет большие объемы вырубki ели.

Гуляев Дмитрий Константинович – старший преподаватель кафедры фармакогнозии с курсом ботаники, e-mail: dkg2014@mail.ru

Белоногова Валентина Дмитриевна – заведующая кафедрой фармакогнозии с курсом ботаники, e-mail: belonogovavd@yandex.ru

Боков Дмитрий Олегович – доцент, e-mail: fmmsu@mail.ru

Бессонов Владимир Владимирович – заведующий лабораторией химии пищевых продуктов, e-mail: bessonov@ion.ru

При заготовке древесины на вырубках остается значительное количество древесных отходов, которые включают: древесную зелень, шишки, кору и корни. Корни ели находятся преимущественно в верхнем слое почвы на глубине 10–20 см, это связано со слабой развитостью стержневого корня. Большая часть корневой системы представлена боковыми корнями, находящимися в верхнем слое почвы, в отличие от других видов сосновых,

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprtm.2020047676s

** Автор, с которым следует вести переписку.

где стержневой корень хорошо развит и прорастает вглубь почвы на 3–5 м [2]. Учитывая это, заготовка корней ели на вырубках является возможной и не требует специального дополнительного оборудования.

Коневая система ели обыкновенной представляет интерес как источник ценных биологически активных веществ. Ранее нами был исследован состав эфирного масла корней ели обыкновенной. Установлено, что эфирное масло локализовано преимущественно в смоляных ходах, которыми пронизана древесина корня. Идентифицировано около 15 компонентов, относящихся преимущественно к сесквитерпеноидам, основным компонентом из которых является танбергол [3].

Исследован состав, противовоспалительная, жаропонижающая и адсорбционная активность полисахаридов корней ели. Установлено, что водорастворимый полисахаридный комплекс (ВРПК) состоит из арабинозы и галактозы. Водорастворимый полисахаридный комплекс на модели каррагенинового отека показал противовоспалительную активность выше препарата сравнения нимесулида [4]. Адсорбционная активность по способности связывать метиленовый синий, который является маркером для большинства медицинских сорбентов, оказалась близкой с показателями угля активированного [5].

В настоящее время активно изучается такой класс веществ, как стильбены. Во внутренней коре корней ели обыкновенной были найдены стильбены: астрингин (3-О-β-D-глюкозил-3,4,5-тригидроксистилбеноид) и изорапонтин (3-О-β-D-глюкозил-4,5-дигидрокси-3-метоксистилбен 3-О-β-D-глюкозид) были основными соединениями, а пицеид, пицеатаннол (агликон астрингина) и изоргапонтигенин (агликон изорхапонтина) – второстепенными стильбеноидами [6–8].

Стильбеноиды показали антиоксидантную активность в отношении различных окислительных процессов путем повышения уровня кофермента тетрагидробиоптерина (ВН₄), что способствует выработке эндогенных антиоксидантов. В условиях окислительного стресса запасы ВН₄ уменьшаются, что нарушает некоторые физиологические функции. Под действием стильбенов происходит активация циклического аденозинмонофосфата (цАМФ) благодаря способности ингибировать цАМФ-фосфодиэстеразу [9]. Все это приводит к повышению антиоксидантной защиты и предотвращению многих заболеваний и путей воспаления, которые связаны с такими патологическими состояниями, как ожирение, диабет 2 типа и болезнь Альцгеймера [10]. Также известно, что полифенольные соединения могут оказывать защитное действие против возрастной макулярной дегенерации желтого пятна, заболевания, связанного со старением клеток сетчатки и являющегося одной из основных причин слепоты у людей старше 75 лет [10, 11]. Стильбены также рассматриваются в качестве новых антибактериальных и противогрибковых веществ [12–14]. В экспериментах *in vivo* лечение пицеатаннолом на фоне диабетической кардиомиопатии крыс усиливает жизнеспособность клеток и ингибирует апоптоз клеток, ослабляет избыточную продукцию фактора некроза опухоли альфа, уменьшает фиброз путем снижения миокардиального коллагена [15].

Некоторые исследователи связывают основные перспективы использования корней ели обыкновенной с содержанием лигнанов. Основным лигнаном корней ели обыкновенной является гидроксиматаирезинол. Также идентифицированы: ларицирезинол, секоларицирезинол, 7-гидроксиларицирезинол, лиовил, 7-изолиовил и 7-тодолактол, α-коницендрин [16, 6].

Следует отметить, что стильбены и лигнаны извлекают из растительного сырья преимущественно органическими растворителями: ацетоном, этилацетатом, метанолом. В водные экстракты стильбены и лигнаны практически не переходят. Имеются лишь данные о получении лигнанов из корней ели с помощью экстракции горячей водой под давлением [7].

Учитывая все вышперечисленное, представляло интерес получить сухой экстракт корней ели обыкновенной, используя воду очищенную, и определить его состав и антиоксидантную активность.

Экстракция водой при относительно щадящих условиях позволяет исключить влияние на структуру веществ высокой температуры и органических растворителей. Также при этом снижается стоимость готового продукта, а выход водного экстракта оказывается выше, чем при экстракции корней ели органическими растворителями [16, 17]. Представляет интерес определить выраженность антиоксидантной активности водорастворимых полисахаридов и фенольных соединений входящих в водный экстракт.

Целью работы является исследование состава фенольных соединений и антиоксидантной активности водного экстракта корней ели.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись корни ели обыкновенной, собранные в сентябре 2018 года на лесосеке в день спила дерева. Сбор образцов проводили на территории Ильинского района Пермского края. Корни диаметром до 4 см извлекали из почвы, отмывали от земли и высушивали в тени при температуре 18–25 °С в течение двух недель.

Экстракт сухой водный корней ели получали по следующей методике: навеску воздушно-сухого сырья помещали в колбу, заливали водой очищенной в соотношении 1 : 10 и экстрагировали в течение 1.5 ч при температуре 80 °С. Далее отделяли фильтрованием шрот и упаривали экстракт на ротационном испарителе. К упаренному остатку добавляли трехкратное количество 95% спирта этилового, в результате чего водорастворимый полисахаридный комплекс выпадал в осадок. Полисахариды отделяли фильтрованием через бумажный фильтр, промывали 80% спиртом этиловым и высушивали в сушильном шкафу при температуре 55 °С. После отделения полисахаридов экстракт упаривали на ротационном испарителе. Упаренный остаток помещали в сушильный шкаф и высушивали до сухого остатка при температуре 55 °С.

Состав и содержание фенольных соединений определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Условия хроматографического анализа представлены в таблице 1.

Идентификацию соединений проводили на основе соответствия временам удерживания стандартных образцов. Использованные стандартные образцы веществ приведены в таблице 2.

Для определения антиоксидантной активности использовали реакцию со стабильным свободным радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом (DPPH). К 1 мл водного экстракта корней ели добавляли 3 мл раствора DPPH в 95% спирте этиловом с концентрацией 5 мг/100 мл. Далее вычисляли антиоксидантную активность, поглощение радикала по формуле: $AOA(\%) = (A_{\text{контроля}} - A_{\text{образца}}) / A_{\text{контроля}} \times 100$. Также определяли величину IC_{50} – концентрацию вещества, способную связать половинную концентрацию радикала DPPH.

В качестве вещества сравнения использовали аскорбиновую кислоту, так как ее антиоксидантные свойства широко известны, а также тролокс (водорастворимую форму витамина E).

Таблица 1. Условия хроматографического анализа

Жидкостный хроматограф	Agilent 1100 Series HPLC в комплекте с системой подачи и дегазации на два растворителя, диодно-матричным детектором, термостатом колонок, устройством для автоматического ввода образцов (автосэмплер)
Программное обеспечение	Agilent ChemStation Rev. A.09.03
Колонка	Atlantis dc18, 100Å, 5 мкм, 4.6 мм × 250 мм
Подвижная фаза	0.1% раствор муравьиной кислоты; метанол : ацетонитрил (25 : 75)
Режим элюирования	градиентный
температура колонки	35 °С
Аналитическая длина волны	254, 280, 300, 350 нм
Время анализа	90 мин
Скорость потока подвижной фазы	0.8 мл/мин
Объем вводимой пробы	20 мкл

Таблица 2. Стандартные образцы исследуемых веществ

Стандартный образец	Длина волны (нм), λ	Время удерживания (мин), RT
Ванилиновая кислота Sigma-Aldrich (США)	254	25.0
Эллаговая кислота Sigma-Aldrich (США)	254	30.0
Бензойная кислота Sigma-Aldrich (США)	254	36.3
<i>n</i> -гидроксиацетофенон Acros Organics (Бельгия)	280	7.6
Галловая кислота Sigma-Aldrich (США)	280	13.3
Ванилин acros organics (Бельгия)	280	30.0
Хлорогеновая кислота Sigma-Aldrich (США)	300	23.1
Кофейная кислота Sigma-Aldrich (США)	300	25.8
<i>n</i> -кумаровая кислота Sigma-Aldrich (США)	300	30.8
Феруловая кислота Sigma-Aldrich (США)	300	32.6
Салициловая кислота Acros Organics (Бельгия)	300	38.1
Рутин sigma-aldrich (США)	350	30.9
Гиперозид sigma-aldrich (США)	350	31.4
Кверцетин sigma-aldrich (США)	350	43.8
Кемпферол sigma-aldrich (США)	350	48.5

Результаты и обсуждение

Водный экстракт корней ели обыкновенной, очищенный от полисахаридов, исследовали на присутствие фенольных соединений: простых фенолов, фенолкарбоновых кислот, флавоноидов. Идентификацию соединений проводили на основе соответствия временам удерживания и спектрам стандартных образцов, ВЭЖХ-УФ-хроматограмма представлена в электронном приложении. В таблице 3 представлены состав и содержание фенольных соединений в водном экстракте корней ели обыкновенной.

В результате исследования установлено, что в водном экстракте корней ели присутствуют флавоноиды, гидроксикоричные кислоты, фенолкарбоновые кислоты (табл. 3). Среди гидроксикоричных кислот в водном экстракте корней ели в наибольшем количестве содержится феруловая кислота. Следует отметить, что общее содержание всех фенолокислот составляет 0.05–0.07% от сухой хвои ели и 0.02% от сухой коры ели [18]. Феруловая кислота обладает способностью связывать свободные радикалы, а также ингибировать ферменты, которые катализируют образование свободных радикалов [19–21]. По данным корейских ученых, феруловая кислота обладает выраженным антиоксидантным действием, IC_{50} для феруловой кислоты при связывании свободного радикала ДФПГ составляет 41 мкг/мл [20].

Среди идентифицированных веществ гиперозид является основным флавоноидом. Гиперозид способен снижать уровень перекисного окисления липидов мембран клеток, что повышает их целостность при воздействии агрессивных факторов [22].

В экстракте в достаточно высоком количестве содержится бензойная кислота. Ее содержание в сухом экстракте корней ели выше, чем в сухом экстракте плодов клюквы (0.16%), но уступает содержанию в сухом экстракте плодов брусники (1.33%) [23]. Бензойная кислота обладает способностью противостоять повышению микробной контаминации и является консервантом [24, 25]. Это свойство будет способствовать увеличению срока хранения экстракта и препаратов на его основе. Подобными свойствами обладает и салициловая кислота, также обнаруженная в экстракте.

У бензойной кислоты была обнаружена способность повышать усвояемость питательных веществ в кишечнике. В опытах на кроликах было показано, что диета с добавками бензойной кислоты повышает усвояемость белка, целлюлозы и микроэлементов за счет влияния на слизистую кишечника [26].

Таблица 3. Состав фенольных соединений водного экстракта корней ели

Вещество	Содержание, %
Ванилиновая кислота	–
Эллаговая кислота	–
Бензойная кислота	0.286
<i>n</i> -гидроксиацетофенон	0.002
Галловая кислота	–
Ванилин	–
Хлорогеновая кислота	0.003
Кофейная кислота	0.004
<i>n</i> -кумаровая кислота	–
Феруловая кислота	0.815
Салициловая кислота	0.085
Рутин	–
Гиперозид	0.498
Кверцетин	0.092
Кемпферол	–

Результаты определения антиоксидантной активности водного экстракта корней ели обыкновенной представлены в таблице 4.

Установлено, что водорастворимый полисахаридный комплекс, выделенный из водного экстракта корней ели обыкновенной, не обладает выраженной антиоксидантной активностью. Некоторые исследования говорят о способности растительных полисахаридов противостоять воздействию свободных радикалов на клетки организма человека [27–29]. При этом стоит отметить, что антиоксидантная активность полисахаридов может существенно различаться в зависимости от нескольких параметров: тип доминирующего сахара, молекулярная масса, степень разветвленности молекулы полисахарида, содержание галактуроновой кислоты [27]. Так, водорастворимый полисахаридный комплекс шишек ели обыкновенной проявляет более высокую антиоксидантную активность, с величиной IC_{50} в DPPH тесте 91.88 мкг/мл [30].

Таблица 4. Антиоксидантная активность (IC_{50}) водного экстракта корней ели

Образец	Антиоксидантная активность, IC_{50} , мкг/мл
Водорастворимый полисахаридный комплекс корней ели	832.19±46.01
Экстракт корней ели после удаления полисахаридов	9.51±0.13
Аскорбиновая кислота	9.0±0.05
Тролокс	3.53±0.09

Ингибирование свободного радикала DPPH уменьшается в следующем порядке: тролокс > аскорбиновая кислота > экстракт корней ели после удаления полисахаридов > водорастворимый полисахаридный комплекс корней ели.

Экстракт, очищенный от полисахаридного комплекса, проявляет выраженную антиоксидантную активность (IC_{50} 9.51±0.13 мкг/мл), сопоставимой по силе с аскорбиновой кислотой, являющейся сильным антиоксидантом [31, 32].

Выводы

В водном экстракте корней ели с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии были идентифицированы несколько веществ фенольной природы. В наибольшем количестве обнаружена феруловая кислота, а также бензойная кислота и флавоноид гиперозид.

Установлено, что антиоксидантная активность водного экстракта корней ели обусловлена в основном фенольными соединениями, поскольку полисахаридный комплекс, выделенный из экстракта, не показал выраженной активности. Активность водного экстракта корней ели после удаления полисахаридов оказалась на уровне аскорбиновой кислоты, которая является сильным антиоксидантом. Водный экстракт корней ели обыкновенной является перспективной субстанцией для дальнейших исследований и получения лекарственных препаратов.

Список литературы

1. Лесной план Пермского края на 2018–2027 годы. Утвержден указом губернатора Пермского края от 19.04.2018 № 36.
2. Чиндяев А.С., Порошилов А.В. Особенности распределения корней *Picea obovata* на осушенных низинных болотах среднего Урала // Лесной вестник. 2007. №8. С. 91–94.
3. Гуляев Д.К., Белоногова В.Д., Машенко П.С., Коротков И.В. Исследование эфирного масла корней ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Н.Karst.) семейства – Piceaceae // Фармация и фармакология. 2017. Т. 5. №6. С. 520–531. DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-6.
4. Гуляев Д.К., Белоногова В.Д., Рудакова И.П. Водорастворимые полисахариды корней ели сибирской // Фармация. 2017. №7. С. 39–42.
5. Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Hamidullina Z.E., Kryazhevskikh A.I. Adsorption activity of spruce roots polysaccharides // Materials of the International Conference. Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. Beijing, China, 2019. Pp. 80–84.
6. Latva-Mäenpää H., Laakso T., Sarjala T., Wähälä K., Saranpää P. Variation of stilbene glucosides in bark extracts obtained from roots and stumps of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) // Trees. 2013. Vol. 27. Pp. 131–139. DOI: 10.1007/s00468-012-0780-x.
7. Latva-Mäenpää H., Laakso T., Sarjala T., Wähälä K., Saranpää P. Root neck of Norway spruce as a source of bioactive lignans and stilbenes // Holzforschung. 2014. Vol. 68. N1. Pp. 1–7. DOI: 10.1515/hf-2013-0020.
8. Mulat D.G., Latva-Mäenpää H., Koscela H., Saranpää P., Wähälä K. Rapid chemical characterisation of stilbenes in the root bark of Norway Spruce by off - line HPLC/DAD–NMR // Phytochemical analysis. 2014. Vol. 25. N6. Pp. 529–536. DOI: 10.1002/pca.2523.
9. Park S.-J., Ahmad F., Philp A. et al. Resveratrol ameliorates aging-related metabolic phenotypes by inhibiting cAMP phosphodiesterases // Cell. 2012. Vol. 148. N3. Pp. 421–433. DOI: 10.1016/j.cell.2012.01.017.
10. Reinisalo M., Karlund A., Koskela A., Kaarniranta K., Karjalainen R. Polyphenol stilbenes: molecular mechanisms of defence against oxidative stress and aging-related diseases // Oxidative medicine and cellular longevity. 2015. Vol. 2015. Article 340520. DOI: 10.1155/2015/340520.
11. Gehrs K.M., Anderson D.H., Johnson L.V., Hageman G.S. Age-related macular degeneration – emerging pathogenetic and therapeutic concepts // Annals of Medicine. 2006. Vol. 38. N7. Pp. 450–471. DOI: 10.1080/07853890600946724.
12. Sekine N., Ashitani T., Murayama T., Shibutani S., Hattori S., Takahashi K. Bioactivity of latifolin and its derivatives against termites and fungi // Journal of agricultural and food chemistry. 2009. Vol. 57. N13. Pp. 5707–5712. DOI: 10.1021/jf900719p.
13. Perrone D., Fuggetta M.P., Ardito F., Cottarelli A., De Filippis A., Ravagnan G. et al. Resveratrol (3,5,4'-trihydroxystilbene) and its properties in oral diseases // Experimental and therapeutic medicine. 2017. Vol. 14. N1. Pp. 3–9. DOI: 10.3892/etm.2017.4472.
14. Сокуренок М.С., Соловьева Н.Л., Бессонов В.В., Мазо В.К. Полифенольные соединения класса стильбеноидов: классификация, представители, содержание в растительном сырье, особенности структуры, использование в пищевой промышленности и фармации // Вопросы питания. 2019. Т. 88. №1. С. 17–25. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10002.
15. Li H., Shi Y., Wang X., Li P., Zhang S., Wu T., Yan Y., Zhan Y., Ren Y., Rong X., Xia T., Chu M., Wu R. Piceatannol alleviates inflammation and oxidative stress via modulation of the Nrf2/HO-1 and NF-κB pathways in diabetic cardiomyopathy // Chemico-biological interactions. 2019. Vol. 310. 108754. DOI: 10.1016/j.cbi.2019.108754.

16. Федорова Т.Е., Бабкин В.А. Экстрактивные вещества корней *Piceae obovata* (L.) // Химия растительного сырья. 2016. №4. С. 165–168. DOI: 10.14258/jcprm.2016041401.
17. Остроухова Л.А., Федорова Т.Е., Онучина Н.А., Левчук А.А., Бабкин В.А. Определение количественного содержания экстрактивных веществ из древесины, корней и коры деревьев хвойных видов Сибири: лиственницы (*Larix sibirica* L.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), пихты (*Abies sibirica* L.), ели (*Picea obovata* L.) и кедра (*Pinus sibirica* Du Tour.) // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 185–195. DOI: 10.14258/jcprm.2018044245.
18. Громова А.С. Фенольные соединения коры некоторых видов ели, пихты и сосны: дис. ... канд. хим. наук. Иркутск, 1975. 160 с.
19. Zduńska K., Dana A., Kolodziejczak A., Rotsztein H. Antioxidant properties of ferulic acid and its possible application // *Skin pharmacology and physiology*. 2018. Vol. 31. Pp. 332–336. DOI: 10.1159/000491755.
20. Kim Y.J., Jeong S.-J., Seo C.-S., Lim H.-S., Sohn E., Yun J., Kim B.-Y. Simultaneous determination of the traditional herbal formula Ukgansan and the in vitro antioxidant activity of ferulic acid as an active compound // *Molecules*. 2018. Vol. 23. Pp. 1659–1674. DOI: 10.3390/molecules23071659.
21. Khanduja K.L., Avti P.K., Kumar S., Mittal N., Sohi K.K., Pathak C.M. Anti-apoptotic activity of caffeic acid, ellagic acid and ferulic acid in normal human peripheral blood mononuclear cells: aBcl-2independent mechanism // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*. 2006. N2. Pp. 283–289. DOI: 10.1016/j.bbagen.2005.12.017.
22. Gao Y., Fang L., Wang X., Lan R., Wang M., Du G., Guan W., Liu J., Brennan M., Guo H., Brennan C., Zhao H. Antioxidant activity evaluation of dietary flavonoid hyperoside using *Saccharomyces cerevisiae* as a model // *Molecules*. 2019. Vol. 24. Pp. 788–800. DOI: 10.3390/molecules24040788.
23. Патент № 2626565 (РФ). Способ получения сухого экстракта из выжимок ягод брусники или клюквы / Н.Д. Замбулаева, С.Д. Жамсаранова. 2017.
24. Pehkonen T., Koskimäki J., Riihinen K., Pirttilä A.M., Hohtola A., Jaakola L., Tolvanen A. Artificial infection of *Vaccinium vitis-idaea* L. and defence responses to *Exobasidium* species // *Physiological and molecular plant pathology*. 2008. Vol. 72. Pp. 146–150. DOI: 10.1016/j.pmpp.2008.08.002.
25. Lacombe A., Wu V.C.H., Tyler S., Edwards K. Antimicrobial action of the American cranberry constituents; phenolics, anthocyanins, and organic acids, against *Escherichia coli* // *International journal of food microbiology*. 2010. Vol. 139. Pp. 102–107. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.035.
26. Mao X., Yang Q., Chen D., Yu B., He J. Benzoic acid used as food and feed additives can regulate gut functions // *Biomed Research International*. 2019. Vol. 2019. 5721585. DOI: 10.1155/2019/5721585.
27. Camara R.B.G., Costa L.S., Fidelis G.P., Nobre L.T., Dantas-Santos N., Cordiro S.L., Costa M.S., Alves L.G., Rocha H.A. Heterofucans from the brown seaweed *Canistrocarpus cervicornis* with anticoagulant and antioxidant activities // *Marine Drugs*. 2011. Vol. 9. N1. Pp. 124–138. DOI: 10.3390/md9010124.
28. Costa L.S., Fidelis G.P., Cordeiro S.L., Oliveira R.M., Sabry D.A., Camara R.B.G., Nobre L.T.D.B., Costa M.S.S.P., Almedia-Lima J., Farias E.H.C., Leite E.L., Rocha H.A.O. Biological activities of sulfated polysaccharides from tropical seaweed // *Biomedicine Pharmacotherapy*. 2010. Vol. 64. Pp. 21–28. DOI: 10.1016/j.biopha.2009.03.005.
29. Zhang Z., Wang X., Liu X., Hou Y., Zhang Q. Extraction of polysaccharides from five alga and their potential antioxidant activity in vitro // *Carbohydrate Polymers*. 2010. Vol. 82. Pp. 118–121. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.04.031.
30. Гуляев Д.К., Семакин Д.О. Антиоксидантная активность полисахаридов древесной зелени и шишек ели обыкновенной (*picea abies* (L.) H.Karst) // Вестник Пермской государственной фармацевтической академии. 2017. №20. С. 161–164.
31. Orsavova J., Hlavacova I., Mlcek J., Snopek L., Misurcova L. Contribution of Phenolic Compounds, Ascorbic Acid and Vitamin E to Antioxidant Activity of Currant (*Ribes* L.) and Gooseberry (*Ribes Uva-Crispa* L.) Fruits // *Food chem*. 2019. Vol. 284. Pp. 323–333. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.
32. Meki A.M., Hamed E.A., Ezam Kh.A. Effect of green tea extract and vitamin C on oxidant or antioxidant status of rheumatoid arthritis rat model // *Indian Journal of Clinical Biochemistry*. 2009. Vol. 24. N3. Pp. 280–287. DOI: 10.1007/s12291-009-0053-7.

Поступила в редакцию 18 апреля 2020 г.

После переработки 1 июля 2020 г.

Принята к публикации 1 июля 2020 г.

Для цитирования: Гуляев Д.К., Белоногова В.Д., Бокров Д.О., Бессонов В.В. Состав и антиоксидантная активность экстракта корней ели обыкновенной // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 195–202. DOI: 10.14258/jcprm.2020047676.

Gulyaev D.K.^{1*}, Belonogova V.D.¹, Bokov D.O.², Bessonov V.V.³ THE COMPOSITION AND ANTIOXIDATIVE ACTIVITY OF SPRUCE ROOTS' EXTRACT

¹ Perm State Pharmaceutical Academy, ul. Polevaya, 2, Perm, 614990 (Russia), e-mail: dkg2014@mail.ru

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), ul. Trubetskaya, 8, Moscow, 119991 (Russia)

³ Federal Research Center of nutrition, biotechnology and food safety, Ustinsky proyezd, 2/14, Moscow, 109240 (Russia)

The spruce *Picea abies* (L.) (Pinaceae) roots are logging residues and are not used nowadays. However, spruce roots are a source of valuable biologically active substances that have potential for medical use. The purpose is to research the composition of phenol compounds and antioxidative activity of spruce roots water extract. The raw materials for the research were the spruce roots collected on a cutting area on the day of sawing a tree. Water extract was obtained from the roots, and then polysaccharides were removed from it. Composition of the extract phenol compounds was determined using a high performance liquid chromatography on the chromatograph Agilent 1100. Compounds identification was based on retention times. Extract's antioxidative activity was determined by the reaction with the stable radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), the EC₅₀ value computed. Ascorbic acid and trolox (a water-soluble form of vitamin E) were used as standard substances. As a result, it was found that flavonoids, hydroxycinnamic acids, phenolcarboxylic acids are present in the spruce roots water extract. Ferulic acid has the highest amount amongst hydroxycinnamic acids in the spruce roots water extract, hyperoside – amongst flavonoids. It was found that the spruce roots water extract, without polysaccharides, has a pronounced antioxidative activity similar in strength to ascorbic acid, which allows us to talk about the prospects for further researches and the medicinal drugs manufacturing.

Keywords: spruce, roots, phenol compounds, polysaccharides, antioxidative activity.

References

1. *Lesnoy plan Permskogo kraya na 2018–2027 gody. Utverzhden ukazom gubernatora Permskogo kraya ot 19.04.2018 № 36.* [Forest plan of the Perm region for 2018–2027. Approved by the decree of the Governor of the Perm Territory dated April 19, 2018 No. 36]. (in Russ.).
2. Chindyayev A.S., Poroshilov A.V. *Lesnoy vestnik*, 2007, no. 8, pp. 91–94. (in Russ.).
3. Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Mashchenko P.S., Korotkov I.V. *Farmatsiya i farmakologiya*, 2017, vol. 5, no. 6, pp. 520–531. DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-6. (in Russ.).
4. Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Rudakova I.P. *Farmatsiya*, 2017, no. 7, pp. 39–42. (in Russ.).
5. Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Hamidullina Z.E., Kryazhevskikh A.I. *Materials of the International Conference. Scientific research of the SCO countries: synergy and integration*, Beijing, China, 2019, pp. 80–84.
6. Latva-Mäenpää H., Laakso T., Sarjala T., Wähälä K., Saranpää P. *Trees*, 2013, vol. 27, pp. 131–139. DOI: 10.1007/s00468-012-0780-x.
7. Latva-Mäenpää H., Laakso T., Sarjala T., Wähälä K., Saranpää P. *Holzforchung*, 2014, vol. 68, no. 1, pp. 1–7. DOI: 10.1515/hf-2013-0020.
8. Mulat D.G., Latva-Mäenpää H., Koscela H., Saranpää P., Wähälä K. *Phytochemical analysis*, 2014, vol. 25, no. 6, pp. 529–536. DOI: 10.1002/pca.2523.
9. Park S.-J., Ahmad F., Philp A. et al. *Cell.*, 2012, vol. 148, no. 3, pp. 421–433. DOI: 10.1016/j.cell.2012.01.017.
10. Reinisalo M., Karlund A., Koskela A., Kaarniranta K., Karjalainen R. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2015, vol. 2015, article 340520. DOI: 10.1155/2015/340520.
11. Gehrs K.M., Anderson D.H., Johnson L.V., Hageman G.S. *Annals of Medicine*, 2006, vol. 38, no. 7, pp. 450–471. DOI: 10.1080/07853890600946724.
12. Sekine N., Ashitani T., Murayama T., Shibutani S., Hattori S., Takahashi K. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2009, vol. 57, no. 13, pp. 5707–5712. DOI: 10.1021/jf900719p.
13. Perrone D., Fuggetta M.P., Ardito F., Cottarelli A., De Filippis A., Ravagnan G. et al. *Experimental and therapeutic medicine*, 2017, vol. 14, no. 1, pp. 3–9. DOI: 10.3892/etm.2017.4472.
14. Sokurenko M.S., Solov'yeva N.L., Bessonov V.V., Mazo V.K. *Voprosy pitaniya*, 2019, vol. 88, no. 1, pp. 17–25. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10002. (in Russ.).
15. Li H., Shi Y., Wang X., Li P., Zhang S., Wu T., Yan Y., Zhan Y., Ren Y., Rong X., Xia T., Chu M., Wu R. *Chemico-biological interactions*, 2019, vol. 310, 108754. DOI: 10.1016/j.cbi.2019.108754.
16. Fedorova T.Ye., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 4, pp. 165–168. DOI: 10.14258/jcprm.2016041401. (in Russ.).
17. Ostroukhova L.A., Fedorova T.Ye., Onuchina N.A., Levchuk A.A., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 185–195. DOI: 10.14258/jcprm.2018044245. (in Russ.).
18. Gromova A.S. *Fenol'nyye soyedineniya kory nekotorykh vidov yeli, pikhty i sosny: dis. ... kand. khim. nauk.* [Phenolic compounds of the bark of some species of spruce, fir and pine: dis. ... Cand. chem. sciences]. Irkutsk, 1975, 160 p. (in Russ.).
19. Zduńska K., Dana A., Kolodziejczak A., Rotsztejn H. *Skin pharmacology and physiology*, 2018, vol. 31, pp. 332–336. DOI: 10.1159/000491755.
20. Kim Y.J., Jeong S.-J., Seo C.-S., Lim H.-S., Sohn E., Yun J., Kim B.-Y. *Molecules*, 2018, vol. 23, pp. 1659–1674. DOI: 10.3390/molecules23071659.

* Corresponding author.

21. Khanduja K.L., Avti P.K., Kumar S., Mittal N., Sohi K.K., Pathak C.M. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*, 2006, no. 2, pp. 283–289. DOI: 10.1016/j.bbagen.2005.12.017.
22. Gao Y., Fang L., Wang X., Lan R., Wang M., Du G., Guan W., Liu J., Brennan M., Guo H., Brennan C., Zhao H. *Molecules*, 2019, vol. 24, pp. 788–800. DOI:10.3390/molecules24040788.
23. Patent 2626565 (RU). 2017. (in Russ.).
24. Pehkonen T., Koskimäki J., Riihinen K., Pirttilä A.M., Hohtola A., Jaakola L., Tolvanen A. *Physiological and molecular plant pathology*, 2008, vol. 72, pp. 146–150. DOI: 10.1016/j.pmpp.2008.08.002.
25. Lacombe A., Wu V.C.H., Tyler S., Edwards K. *International journal of food microbiology*, 2010, vol. 139, pp. 102–107. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.035.
26. Mao X., Yang Q., Chen D., Yu B., He J. *Biomed Research International*, 2019, vol. 2019, 5721585. DOI: 10.1155/2019/5721585.
27. Camara R.B.G., Costa L.S., Fidelis G.P., Nobre L.T., Dantas-Santos N., Cordiro S.L., Costa M.S., Alves L.G., Rocha H.A. *Marine Drugs*, 2011, vol. 9, no. 1, pp. 124–138. DOI: 10.3390/md9010124.
28. Costa L.S., Fidelis G.P., Cordeiro S.L., Oliveira R.M., Sabry D.A., Camara R.B.G., Nobre L.T.D.B., Costa M.S.S.P., Almedia-Lima J., Farias E.H.C., Leite E.L., Rocha H.A.O. *Biomedicine Pharmacotherapy*, 2010, vol. 64, pp. 21–28. DOI: 10.1016/j.biopha.2009.03.005.
29. Zhang Z., Wang X., Liu X., Hou Y., Zhang Q. *Carbohydrate Polymers*, 2010, vol. 82, pp. 118–121. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.04.031.
30. Gulyayev D.K., Semakin D.O. *Vestnik Permskoy gosudarstvennoy farmatsevticheskoy akademii*, 2017, no. 20, pp. 161–164. (in Russ.).
31. Orsavova J., Hlavacova I., Mlcek J., Snopek L., Misurcova L. *Food chem.*, 2019, vol. 284, pp. 323–333. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.
32. Meki A.M., Hamed E.A., Ezam Kh.A. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 2009, vol. 24, no. 3, pp. 280–287. DOI: 10.1007/s12291-009-0053-7.

Received April 18, 2020

Revised July 1, 2020

Accepted July 1, 2020

For citing: Gulyaev D.K., Belonogova V.D., Bokov D.O., Bessonov V.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 195–202. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020047676.