

Антирадикальная и антиоксидантная активность экстрактов трех видов лекарственных растений и ряски малой

И.В. Воронов*, Г.В. Филиппова, В.Г. Дарханова, Н.С. Строева,
И.А. Федоров, И.А. Прокопьев

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
*viv_2002@mail.ru

Аннотация. Изучена эффективность антирадикального и антиоксидантного действия экстрактов вздутоплодника сибирского (*Phlojodicarpus sibiricus* Steph. ex Spreng), родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.), родиолы северной (*Rhodiola borealis* Boriss) и ряски малой (*L. minor*). Антиоксидантная активность экстрактов корней исследовались в зависимости от концентрации экстрагента (40 и 70%-е водно-этанольные смеси). Установлено, что в отношении DPPH и ABTS⁺ радикалов противорадикальная активность всех экстрактов составляла 90–99 %. Наиболее эффективными в гашении супероксид-радикала были экстракты корней *R. borealis*, *R. rosea*, надземных органов *R. rosea* и каллуса *P. sibiricus*. Все изученные экстракты *P. sibiricus* и *R. rosea* имели высокий уровень ингибирования NO-радикалов. Экстракты *R. rosea* якутской популяции превосходили по гашению NO-радикалов коммерческий препарат *R. rosea* и экстракты *R. borealis*. В моделях индуцированного ПОЛ высокая эффективность ингибирования свободно-радикального окисления отмечалась у 40%-х экстрактов корней *R. rosea* (54–59 %), *R. borealis* и *P. sibiricus* (34–36 %). В результате сравнения антирадикальной и антиоксидантной активности экстрактов в зависимости от концентрации экстрагента установлена наибольшая эффективность гашения радикалов 40%-ми водно-этанольными экстрактами. Показана возможность рассмотрения экстрактов исследованных растений в качестве средств снижения свободнорадикальной нагрузки на организм. Отмечено, что антиоксидантная активность экстрактов из корней и надземной части *R. rosea*, *P. sibiricus* и его каллуса была сравнима с коммерческими препаратами корней родиолы розовой и женьшеня, а также превосходила их в отношении ингибирования некоторых типов свободных радикалов.

Ключевые слова: антирадикальная и антиоксидантная активность, экстракт, каллус, *Phlojodicarpus sibiricus* Steph. ex Spreng., *Rhodiola rosea* L., *Rhodiola borealis* Boriss, *Lemna minor*.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзаданий ИБПК СО РАН по проектам № АААА-А17-117020110056-0 и АААА-А17-117020110055-3

Введение

Высокая реакционная способность радикалов и их присутствие в клетках организма неразрывно связаны с процессами жизнедеятельности и играют важную роль в прооксидантно-антиоксидантном равновесии в организме. Окислительное повреждение является результатом эндогенных и экзогенных факторов образования активных форм кислорода (АФК). К числу внутренних источников окислителей относят митохондриальную электронно-транспортную цепь и реакцию синтеза синтазы оксида азота, а также немитохондриальные реакции [1]. Экзогенными источниками являются воздействия окружающей среды. Чрезмерное образование свободных

радикалов вызывает угнетение естественной клеточной антиоксидантной защиты и приводит к ухудшению функциональности организма [2]. Считается, что увеличение свободнорадикальной нагрузки является причиной общего старения и дегенеративных заболеваний старения. В качестве одной из важнейших стратегий снижения окислительного стресса выделяют потребление экзогенных антиоксидантов, как правило, растительного происхождения, богатых полезными компонентами [3, 4].

Особым вниманием пользуются растения, обладающие адаптогенными свойствами, способствующие сопротивляемости организма при стрессах или усталости, а также долголетию.

Широким спектром терапевтических эффектов обладают препараты и биологически активные добавки из корней и корневищ различных видов рода *Rhodiola* L., исторически используемые в медицине Китая [5]. В России, Монголии и странах Скандинавии наибольшую популярность имеет использование *Rhodiola rosea* L. Исследования фитохимического состава корней и корневищ родиолы показали наличие шести важных классов компонентов, включая фенилпропаноиды, производные фенилэтанола, флавоноиды, монотерпены, тритерпены и фенольные кислоты [6–8]. В отношении таких соединений, как тирозол и галловая кислота, было показано, что они являются хорошими поглотителями радикалов антиоксидантами [9, 10]. В работе [11] обсуждается вопрос о том, что фармакологические и лечебные свойства родиолы являются видозависимыми явлениями, а уникальная фармакологическая активность видов родиолы обусловлена различными сопутствующими фитохимическими составляющими.

У народов Сибири и Якутии к числу особо ценных растений относят *Phlojodicarpus sibiricus*, используемого в качестве пищевого и лекарственного растения. В этномедицине народов Якутии его применяли при ожирении, туберкулезе легких, заболеваниях щитовидной железы, сердца, желудка и пищевода, включая раковые опухоли, а также ревматизме [12]. В официальной фармацевтике *Ph. sibiricus* как источник кумаринов использовался при производстве препаратов спазмолитического действия димидина и фловрина и препарата сердечнососудистого действия сафинора. Производство их на сегодня приостановлено по причине сокращения численности популяций и, соответственно, отсутствия сырья [13–15]. В работе [16] показано, что общее содержание кумаринов варьировало от 36,16 мг/г травы до 98,24 мг/г корней. Авторами были выделены три хемотипа *Ph. sibiricus*, причем самое высокое содержание кумаринов отмечено у растений из северной оконечности центральной Якутии. Кроме того, фитохимический состав вздутоплодника сибирского также представлен эфирными маслами, флавоноидами, кофеоилхиновыми кислотами, пектинами и полисахаридами.

Lemna minor L. также вызывает большой научный интерес, обусловленный фармакологической активностью с широким терапевтическим эффектом. Ряска используется в качестве жаропони-

жающего при гриппоподобных заболеваниях, при аллергиях, крапивнице, для лечения витилиго, подагры и воспаления дыхательных путей, ревматизма, заболеваний печени и щитовидной железы. Содержит аргинин, лизин, аспарагиновую кислоту и глутаминовые кислоты, углеводы и витамины группы А, В и Е [17–19]. В недавних исследованиях у ряски выявлены 32 биологически активных вещества разных химических групп. Идентифицированы фитостеролы, насыщенные углеводороды, альдегиды и кетоны, жирные кислоты и их производные. [20]

На основании вышеизложенного, представляет интерес проведение исследований антиоксидантной и антирадикальной активности водно-спиртовых экстрактов из растений, произрастающих в Якутии, а также их сравнение с коммерческими препаратами экстрактов адаптогенного действия наиболее популярных трав в мире (женьшень и родиола розовая).

Цель работы – изучение антирадикальной и антиоксидантной активности экстрактов *Phlojodicarpus sibiricus* (Steph. ex Spreng.), *Rhodiola rosea* L. и *R. borealis* Boriss. и *Lemna minor*.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследований служили собранные в 2015 г. на территории Якутии в период цветения надземные и подземные органы *Rhodiola rosea* L. (Алданский район) и *Rhodiola borealis* Boriss. (Crassulaceae) (Эвено-Бытантайский район), корни и корневища *Phlojodicarpus sibiricus* Steph. ex Spreng. (Ariaceae) (Алданский район), а также листочки *Lemna minor* L. (Lemnaceae S.F. Gray) (аквакультура). Собранное растительное сырье подвергали высушиванию воздушно-теневым способом и измельчали до размера частиц 2 мм. Экстракцию проводили методом мацерации в течение 10 дней при комнатной температуре в темноте с использованием 40- и 70%-го этилового спирта в соотношении 1:10, а *L. minor* L. в соотношении 1:1 масса:объем.

В качестве образцов сравнения использовали коммерческие водно-спиртовые настойки *R. rosea*, производства «Камелия НПП» и женьшеня производства ОАО «Ивановская ФФ», реализуемые через аптечные сети. Для получения экстрактов надземной биомассы чаще используют экстракцию 70%-м этанолом как наиболее оптимальную. В этой связи исследование антирадикальной и антиоксидантной активности каллуса *Ph. sibiricus*, полученного из бутонов в условиях

культивации на твердых агаризованных средах с определенным содержанием микро- и макросолей и фитогормонов, проводили в виде 70%-го водно-спиртового экстракта.

Спектрофотометрический метод DPPH [21]. Метод основан на взаимодействии антиоксидантов со стабильным радикалом DPPH. К 0,9 мл 155 мкМ DPPH в 96%-м этаноле добавляли 0,1 мл растворов экстракта. Полученную смесь инкубировали при 25 °С в течение 10 мин. Противорадикальную активность оценивали по обесцвечиванию реакционной смеси при длине волны 515 нм.

Спектрофотометрический метод ABTS [21]. Гашение радикалов ABTS определяли с использованием метода, основанного на восстановлении антиоксидантами долгоживущего окрашенного катион-радикала ABTS^{•+}. При этом происходит обесцвечивание сине-зеленого раствора ABTS^{•+}. Раствор радикала ABTS^{•+} (в воде) получали, смешивая равные объемы 7,0 мМ ABTS и 2,45 мМ персульфата калия. Полученный раствор оставляли на 12–16 ч в темноте для генерации радикалов. При необходимости раствор разбавляли водой для снижения уровня экстинкции до 0,7 при 734 нм. Для проведения реакции к 0,9 мл готового раствора ABTS^{•+} добавляли 0,1 мл экстракта. В контрольный образец вместо экстракта вносили 0,1 мл ДМСО. Полученную смесь инкубировали при 25 °С в течение 10 мин. Противорадикальную активность оценивали по изменению окраски на длине волны 734 нм.

Определение ингибирования супероксид-радикала [22]. Противорадикальную активность по отношению супероксидных анион-радикалов оценивали по методу, основанному на способности антиоксидантов подавлять восстановление NBT (Nitro Blue Tetrazolium) супероксид анион-радикалами до диформаза. К 0,25 мл экстракта последовательно добавляли 0,25 мл 28 мМ NADH и 0,25 мл 80 мкМ NBT. Реакцию инициировали добавлением 0,25 мл 16 мкМ PMS (phenazine methosulfate). Все реактивы растворяли в 0,1 М фосфатном буфере pH = 7,4. В контрольный образец вместо экстракта вносили 0,25 мл ДМСО. Реакционную смесь инкубировали при 25 °С в течение 5 мин. Противорадикальную активность оценивали по ингибированию окрашивания, оптическую плотность измеряли при длине волны 560 нм.

Измерение NO-ингибирующей активности [23]. Противорадикальную активность исследованных

экстрактов оценивали по степени гашения NO радикала, образующегося в реакции Грисса–Илосвая. К 0,2 мл экстракта с различной концентрацией добавляли 0,8 мл 10 мМ нитропрусида натрия (в 0,1 М фосфатном буфере pH = 7,4) и инкубировали при температуре 25 °С в течение 2 ч под источником видимого полихромного света (люминесцентная лампа 36 Вт). В контрольный образец вместо экстракта вносили 0,2 мл ДМСО. К реакционной смеси добавляли 1 мл реактива Грисса (1%-й сульфаниламид и 0,1%-й N-1-нафтилэтилендиамин дигидрохлорид в 2,5%-й фосфорной кислоте). Через 30 мин измеряли оптическую плотность раствора на спектрофотометре при длине волны 546 нм.

Определение суммарной антиоксидантной активности по ингибированию перекисного окисления липидов (ПОЛ) [24]. Антиоксидантную активность измеряли по подавлению окисления ненасыщенных жирных кислот в присутствии экстрактов. Активность оценивали по образованию конечного стабильного продукта ПОЛ – малонового диальдегида. К 0,4 мл экстракта последовательно добавляли 0,04 мл линетола, 0,2 мл 0,1 мМ FeSO₄, 0,36 мл 1%-й тритона X-100 в 50%-м этаноле. Полученную реакционную смесь инкубировали при 37 °С в течение 30 мин. Затем добавляли 0,2 мл 0,6 М HCl и 0,6 мл 0,06 М тиобарбитуровой кислоты. Реакционную смесь нагревали в течение 10 мин при температуре 100 °С. После охлаждения реакционной смеси до комнатной температуры для стабилизации окраски добавляли 0,2 мл 5 мМ ЭДТА. Оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре при длине волны 532 нм.

Все измерения выполнены в четырех повторностях. Полученные результаты представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартного отклонения ($M \pm SD$). Статистический анализ полученных данных выполнялся с помощью программы Statistica 10. Достоверность различий определялась по критерию Стьюдента, различия считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что оценка антирадикальной и антиоксидантной активности экстрактов основывается на использовании комплекса методов, отражающих полифункциональность антиоксидантов природного происхождения, способных нейтрализовывать АФК и связывать ионы металлов, участвующих в радикал-генерирующих реакци-

ях [25]. Эффективность исследуемых экстрактов оценивали по отношению ингибирования в модельных реакциях *in vitro*, с использованием непрямых (снижение активности АФК и инактивации свободных радикалов) и прямых (реакции окисления биомолекул) методов. Показано, что непосредственная антирадикальная активность, основанная на взаимодействии антиоксидантов с хромоген-радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом (DPPH) и с катион-радикалом 2,2'-азинобис(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислоты) (ABTS⁺) у всех исследуемых экстрактов, включая образцы сравнения, находилась в пределах 90–99 % (см. таблицу).

В отношении супероксид-радикала наибольшая ингибирующая активность отмечена у экстрактов *R. rosea* и *R. borealis*. При этом концентрация экстрагента, используемая при извлечении БАВ из корней, не оказывала достоверного влияния на их антиоксидантную активность и составляла 92,8–99,9 %. Из числа экстрактов *Ph. sibiricus*,

наибольшей ингибирующей активностью обладал экстракт каллуса (90,9 %), тогда как для других вариантов экстрактов этот показатель находился в диапазоне 22–45 %.

Это подтверждает данные о том, что в некоторых случаях биомасса клеток *in vitro* превосходит по свойствам природные растения, и согласуется со взглядами об использовании культуры клеток растений в качестве альтернативного способа получения фитосырья. Особенное значение это приобретает в отношении лекарственных растений, численность природных популяций которых находится под угрозой исчезновения [26]. Следует отметить, что экстракты корней женьшеня и листочков *L. minor* не проявляли антиоксидантной активности (АОА) в отношении O₂⁻-радикала.

Наибольшей ингибирующей активностью NO⁻-радикала из числа экстрактов исследуемых растений обладали все варианты экстрактов из *Ph. sibiricus* и *R. rosea*, фитосырьем для которых были растения, произрастающие в Якутии.

Сравнительная антирадикальная и антиоксидантная активность экстрактов

Comparative antiradical and antioxidant activity of extracts

Образец/экстракция variant/extraction	Ингибирование (Inhibition)				
	ABTS ⁺ , %	DPPH ⁺ , %	O ₂ ⁻ , %	NO ⁻ , %	ПОЛ, %
<i>Phlojodicarpus sibiricus</i> Steph. ex Spreng.					
Корни (roots) / 70 %	94,4±4,5	91,3±4,6	21,9±1,1 ^a	50,3±2,5 ^d	14,7±0,8 ^a
Корни (roots) / 40 %	95,5±4,6	90,9±4,5	44,9±2,3 ^c	56,5±2,6 ^d	34,2±1,5 ^c
Надземная Биомасса (vegetative biomass) / 70 %	98,6±4,6	93,5±4,5	32,4±1,5 ^b	56,9±2,6 ^d	21,6±1,1 ^b
Каллус (callus) / 70 %	98,3±4,6	94,4±4,7	90,9±4,5 ^d	51,7±2,6 ^d	21,8±1,1 ^b
<i>Rhodiola borealis</i> Boriss					
Корни (roots) / 70 %	99,2±5,0	97,1±4,9	92,8±4,6 ^d	18,9±0,9 ^b	33,0±1,7 ^c
Корни (roots) / 40 %	99,2±5,1	95,9±4,8	97,7±4,9 ^d	28,8±1,4 ^c	36,3±1,8 ^c
<i>Rhodiola rosea</i> L.					
Корни (roots) / 70 %	99,9±5,0	99,9±5,0	99,9±5,0 ^d	57,0±2,7 ^d	46,8±2,3 ^d
Корни (roots) / 40 %	99,9±4,9	99,9±4,8	99,7±4,8 ^d	57,5±2,8 ^d	54,4±2,7 ^c
Надземная биомасса (vegetative biomass) / 70 %	99,9±5,0	99,9±5,0	99,6±4,9 ^d	58,9±2,9 ^d	33,5±1,7 ^c
Коммерческие аптечные препараты (Pharmaceutical preparations)					
<i>R. rosea</i> L., корни (roots) / 40 %	99,9±5,0	99,9±4,8	99,9±4,7 ^d	24,4±1,2 ^c	59,3±3,0 ^c
Женьшень, корни (Ginseng roots) / 70 %	99,0±4,9	99,0±5,0	0	24,8±1,3 ^c	38,1±1,9 ^c
<i>Lemna minor</i> L.					
Биомасса (biomass) / 70 %	99,1±4,7	99,0±4,9	0	7,6±0,4 ^a	21,9±1,1 ^b

Примечание. Значения с одинаковыми надстрочными литерами статистически значимо не различались при $p < 0,05$.

Note. Values with the same Superscript letters were not statistically significantly different at $p < 0.05$.

У *Ph. sibiricus* значения АОА экстрактов надземной части, корней, вне зависимости от используемой концентрации экстрагента, и каллуса находились в пределах 50–57 %. По-видимому, достоверно не отличимые показатели NO⁻-ингибирующей активности экстрактов надземных и подземных органов могут быть обусловлены высоким содержанием биологически активных веществ северного хемотипа *Ph. sibiricus* [16]. Ингибирующая активность экстрактов из *R. rosea*, произрастающей в Якутии, составляла 57–59 %, а коммерческого аптечного препарата – 24 %. Сравнение АОА экстрактов корней и корневищ *R. rosea* и *R. borealis* (19–29 %) показало видозависимость в отношении ингибирования NO⁻-радикала, что, вероятно, может обуславливать различающиеся фармакологические и лечебные свойства у разных видов родиолы.

Определение АОА экстрактов исследуемых видов растений в моделях индуцированного ПОЛ показало, что высокими значениями уровней ингибирования свободно-радикального окисления отличались 40%-е экстракты корней *R. rosea* (54–59 %), включая аптечный препарат. Для 40%-х экстрактов корней *R. borealis*, *Ph. sibiricus* и коммерческой настойки корней женьшеня этот показатель составлял 34–38 %.

При сравнении антирадикальной и антиоксидантной активности экстрактов в зависимости от концентрации экстрагента установлено, что экстракт корней *Ph. sibiricus*, полученный при 40%-м водно-этанольной экстракции, в 2,1 раза превышал уровень ингибирования O₂-радикалов и в 2,3 раза – уровня ПОЛ, по сравнению с 70%-м экстрактом. В случае с экстрактом *R. borealis* 40%-й экстракт был в 1,5 раза эффективнее 70%-го экстракта в отношении NO⁻, а для *R. rosea* в 1,2 раза при ПОЛ. В этой связи представляется наиболее целесообразным использование 40%-х водно-этанольных смесей при извлечении комплекса БАВ из корней и корневищ этих растений. Кроме того, на основании результатов по изучению АОА экстрактов надземных частей *Ph. sibiricus* и *R. rosea* необходимо отметить перспективность их использования при коррекции оксидативного стресса, а также дальнейшего изучения фармакологической активности.

Выводы

Показана эффективность антирадикального и антиоксидантного действия экстрактов *Phlojodicarpus sibiricus*, *Rhodiola rosea*, *Rhodiola borealis*

и *Lemna minor*, фитосырьем для которых служили растения, произрастающие в Якутии. В отношении DPPH и ABTS⁺ радикалов антиоксидантная активность всех экстрактов составила 90–99 %, вне зависимости от использованных органов и концентрации экстрагентов. Наиболее эффективными в моделях индукции супероксид-радикала являются экстракты корней *R. borealis*, *R. rosea*, а также экстракты надземных органов *R. rosea* и каллуса *Ph. sibiricus*, полученного в культуре *in vitro* в качестве альтернативного источника биологически активных веществ. По отношению ингибирования NO-радикалов высокими значениями уровней отличались экстракты корней, надземных частей и каллуса *Ph. sibiricus*, а также корней и вегетативных органов *R. rosea*. Причем экстракты *R. rosea* превосходили по гашению NO-радикалов коммерческий препарат *R. rosea* и экстракты *R. borealis*. В моделях индуцированного ПОЛ высокая эффективность ингибирования свободно-радикального окисления отмечается у 40%-х экстрактов корней *R. rosea* (54–59 %) и *R. borealis*, *Ph. sibiricus* (34–36 %).

Таким образом, экстракты исследованных растений могут рассматриваться в качестве перспективных средств снижения свободнорадикальной нагрузки, вызванных оксидативным стрессом. Особо следует отметить полифункциональность антиоксидантов из корней и надземной части *R. rosea* и *Ph. sibiricus*, а также каллусной культуры *Ph. sibiricus*, антиоксидантная активность которых не только была сравнима с коммерческими препаратами корней *R. rosea* и женьшеня, но и превосходила их в отношении ингибирования некоторых типов свободных радикалов.

Литература

1. Gilca M., Stoian I., Atanasiu V., Virgolici B. The oxidative hypothesis of senescence // J. Postgrad. Med. 2007. N. 53(3). P. 207–213.
2. Poljsak B., Milisav I. Aging, oxidative stress and antioxidants // J.A. Morales-González (Ed.). Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases. A Role for Antioxidants, Intech Open Access Publisher, Croatia. 2013. P. 331–356 DOI: 10.5772/51609
3. Oxidative stress, antioxidants, aging and disease / Cutler R.G., Packer L., Bertram J., Mori A. (eds) // Oxidative Stress and Aging. Molecular and Cell Biology Updates. Birkhäuser Basel. 1995. P. 1–14. DOI.org/10.1007/978-3-0348-7337-6_1
4. Ames B.N., Shigenaga M.K., Hagen T.M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1993. Vol. 90. P. 7915–7922.

5. Liu Z., Liu Yu., Liu Ch. et al. The chemotaxonomic classification of *Rhodiola* plants and its correlation with morphological characteristics and genetic taxonomy // Chem. Cent. J. 2013. N. 7. P. 118–118.
6. Ali Z., Fronczek F.R., Khan I.A. Phenylalkanoids and monoterpene analogues from the roots of *Rhodiola rosea* // Planta Med. 2008. N. 74. P. 178–181. DOI: 10.1055/s-2008-1034288.
7. Panossian A., Wikman G., Sarris J. Rosenroot (*Rhodiola rosea*): traditional use, chemical composition, pharmacology and clinical efficacy // Phytomedicine. 2010. N. 7. P. 481–493.
8. Hohtola A. Bioactive compounds from northern plants // Adv. Exp. Med. Biol. 2010. Vol. 698. P. 99–109. DOI: 10.1007/978-1-4419-7347-4_8
9. Sun L., Isaak C.K., Zhou Y., Petkau J.C., Karmin O., Liu Y., Siow Y.L. Salidroside and tyrosol from *Rhodiola* protect H9c2 cells from ischemia/reperfusion-induced apoptosis // Life Sci. 2012. N. 91. P. 151–158. DOI: 10.1016/j.lfs.2012.06.026.
10. Lee M.W., Lee Y.A., Park H.M., Toh S.H., Lee E.J., Jang H.D., Kim Y.H. Antioxidative phenolic compounds from the roots of *Rhodiola sachalinensis* A. Bor // Arch. Pharm. Res. 2000. N. 23. P. 455–458. DOI: 10.1007/BF02976571
11. Li Y., Pham V., Bui M., Song L., Wu C., Walia A., Uchio E., Smith-Liu F., Zi X. *Rhodiola rosea* L.: an herb with anti-stress, anti-aging, and immunostimulating properties for cancer chemoprevention // Curr. Pharmacol. Rep. 2017. N. 3(6). P. 384–395. DOI: 10.1007/s40495-017-0106-1
12. Kuznetsova L.V., Mikhaleva L.G., Zakharova V.I. (Eds.) Atlas of Medical Plants of Yakutia // Medical Plants Used in Ethnomedicine. Yakutsk: Yakutian Scientific Center, 2005. V. 2. P. 2–163.
13. Пименов М.Г., Бабилев Ф.В., Никонов Г.К. *Phlojodicarpus Turcz.* и *Libanotis L.* как источники получения кумаринов со спазмолитической активностью // Растительные ресурсы. 1968. Т. 4, № 4. С. 486–491.
14. Громакова А.И., Исайкина А.П., Кривут Б.А., Вандышев В.В. Изучение содержания виснадина и дигидросамидина в сырье вздутоплодника сибирского // Хим.-фарм. журн. 1982. Т. 16, № 4. С. 60–66.
15. Васильева О.Д. Вздутоплодник сибирский *Phlojodicarpus Sibiricus* (Steph. ex Spreng.) K.-Pol. в Якутии: Биология, интродукция, охрана: Дис. ... канд. биол. наук. Якутск, 2005. 170 с.
16. Olennikov D.N., Fedorov I.A., Kashchenko N.I., Chirikova N.K., Vennos C. Khellactone Derivatives and Other Phenolics of *Phlojodicarpus sibiricus* (Apiaceae): HPLC-DAD-ESI-QQQ-MS/MS and HPLC-UV Profile, and Antiobesity Potential of Dihydrosamidin // Molecules. 2019 N. 24(12) P. 2286. DOI: 10.3390/molecules24122286
17. Тихонов А.И. Выделение и химическое исследование флавоноидов растений семейства яскоковых флоры СССР: Автореф. дис. ... канд. фарм. наук. М., 1968. 22 с.
18. Маркова А. Травник: золотые рецепты народной медицины. М.: Эксмо; Форум, 2007. 928 с.
19. Махлаюк В.П. Лекарственные растения в народной медицине. М.: Нива России, 1992. 477 с.
20. Vladimirova I.N., Georgiyants V.A. Biologically active compounds from *Lemna Minor* S.F. Gray // Pharma. Chem. J. 2014. N. 47(11). P. 599–601. DOI:10.1007/s11094-014-1016-8
21. Mareček V., Mikyška A., Hampel D., Čejka P., Neuwirthová J., Malachová A., Cerkal R. ABTS and DPPH methods as a tool for studying antioxidant capacity of spring barley and malt // J. of Cereal Science. 2017. N. 73. P. 40–45. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.11.004.
22. Nishimiki M., Rao N.A., Yagi K. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen // Biochemical and Biophysical Research Communications. 1972. Vol. 46. P. 849–853.
23. Marcocci L., Packer L., Droy-Lefaix M.-T., Sekaki A., Gardes-Albert M. Antioxidant action of Ginkgo biloba extract EGb 761 // Methods in Enzymology. 1994. Vol. 234. P. 462–475.
24. Рогожин В.В. Методы биохимических исследований. Якутск, 1999. 113 с.
25. Мальцева Е.М., Егорова Н.О., Егорова И.Н., Мухамадияров Р.А. Антиоксидантная и антирадикальная активность *in vitro* экстрактов травы *Sanguisorba officinalis* L., собранной в различные фазы развития // Медицина в Кузбассе. 2017. Т. 16, № 2. С. 32–38.
26. Решетников В.Н., Спиридович Е.В., Фоменко Т.И., Носов А.М. Растительная биотехнология – способ рационального использования биосинтетического потенциала // Наука и инновации. 2014. № 5 (135). С. 21–25.

Поступила в редакцию 16.08.2019

Принята к публикации 23.10.2019

Об авторах

ВОРОНОВ Иван Васильевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-5460-4024>, viv_2002@mail.ru;

ФИЛИППОВА Галина Валерьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-2024-6062>, nureeva@yandex.ru;

ДАРХАНОВА Валентина Гаврильевна, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-8789-5147>, darhana@mail.ru;

СТРОЕВА Наталья Семеновна, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0003-2803-4440>, natali.stroeva.62@mail.ru;

ФЕДОРОВ Иннокентий Аполлонович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0001-5289-5481>, fedorovia1958@mail.ru;

ПРОКОПЬЕВ Илья Андреевич, ведущий научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0001-8755-7140>, ilya.a.prokopiev@gmail.com.

Информация для цитирования

Воронов И.В., Филиппова Г.В., Дарханова В.Г., Строева Н.С., Федоров И.А., Прокопьев И.А. Антирадикальная и антиоксидантная активность экстрактов трех видов лекарственных растений и ряски малой // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, Т. 24, № 4. С. 127–135. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-11>

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-4-11

Antiradical and antioxidant activity of the extracts three kinds of medicinal plants and *Lemna minor* L.

I.V. Voronov*, G.V. Filippova, V.G. Darkhanova, N.S. Stroeveva, I.A. Fedorov, I.A. Prokopiev

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia,

**viv_2002@mail.ru*

Abstract. *The effectiveness of the antiradical and antioxidant effects of extracts of *Phlojodicarpus sibiricus* Steph. ex Spreng., *Rhodiola rosea* L., *Rhodiola borealis* Boriss and *Lemna minor* were study. The antioxidant activity of root extracts was investigated depending on the concentration of the extractant (40 and 70 % water-ethanol mixtures). The anti-radical activity of all extracts against DPPH and ABTS⁺ radicals was 90–99 %, regardless of the organs used and the concentration of extractants. The most effective in the models of superoxide-radical scavenging were extracts of the roots of *R. borealis*, *R. rosea*, as well as extracts of the aerial organs of *R. rosea* and callus *P. sibiricus*. All studied extracts of *P. sibiricus* and *R. rosea* had a high level of inhibition of NO-radicals. The extracts of *R. rosea* of the Yakut population exceeded the commercial preparation of *R. rosea* and extracts of *R. borealis* by the scavenging of NO radicals. In models of induced LPO, a high efficiency of inhibiting free radical oxidation was observed in 40 % of root extracts of *R. rosea* (54–59 %) and *R. borealis*, *P. sibiricus* (34–36 %). By comparing the antiradical and antioxidant activity of the extracts, depending on the concentration of the extractant, the greatest efficiency of radical scavenging with 40 % water-ethanol extracts was established. The possibility of considering the extracts of the studied plants as promising means of reducing the free radical load caused by oxidative stress is shown. It was noted that the antioxidant activity of extracts from the roots and aerial parts of*

R. rosea, *P. sibiricus* and its callus was comparable with commercial preparations of the roots of *R. rosea* and *ginseng*, and also exceeded them in relation to the inhibition of certain types of free radicals.

Key words: antiradical and antioxidant activity, extract, callus, *Phlojodicarpus sibiricus* Steph. ex Spreng., *Rhodiola rosea* L., *Rhodiola borealis* Boriss, *Lemna minor*.

Acknowledgements. This work was carried out as part of the state tasks of the IBPC SB RAS on projects № AAAA-A17-117020110056-0 and AAAA-A17-117020110055-3.

References

1. Gilca M., Stoian I., Atanasiu V., Virgolici B. The oxidative hypothesis of senescence // J. Postgrad. Med. 2007. N. 53(3). P. 207–213.
2. Poljsak B., Milisav I. Aging, oxidative stress and antioxidants // J.A. Morales-González (Ed.). Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases. A Role for Antioxidants, Intech Open Access Publisher, Croatia. 2013. P. 331–356 DOI: 10.5772/51609
3. Oxidative stress, antioxidants, aging and disease / Cutler R.G., Packer L., Bertram J., Mori A. (eds) // Oxidative Stress and Aging. Molecular and Cell Biology Updates. Birkhäuser Basel. 1995. P. 1–14. DOI.org/10.1007/978-3-0348-7337-6_1
4. Ames B.N., Shigenaga M.K., Hagen T.M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1993. Vol. 90. P. 7915–7922.
5. Liu Z., Liu Yu., Liu Ch. et al. The chemotaxonomic classification of *Rhodiola* plants and its correlation with morphological characteristics and genetic taxonomy // Chem. Cent. J. 2013. N. 7. P. 118–118.
6. Ali Z., Fronczek F.R., Khan I.A. Phenylalkanooids and monoterpene analogues from the roots of *Rhodiola rosea* // Planta Med. 2008. N. 74. P. 178–181. DOI: 10.1055/s-2008-1034288.
7. Panossian A., Wikman G., Sarris J. Rosenroot (*Rhodiola rosea*): traditional use, chemical composition, pharmacology and clinical efficacy // Phytomedicine. 2010. N. 7. P. 481–493.
8. Hohtola A. Bioactive compounds from northern plants // Adv. Exp. Med. Biol. 2010. Vol. 698. P. 99–109. DOI: 10.1007/978-1-4419-7347-4_8
9. Sun L., Isaak C.K., Zhou Y., Petkau J.C., Karmin O., Liu Y., Siow Y.L. Salidroside and tyrosol from *Rhodiola* protect H9c2 cells from ischemia/reperfusion-induced apoptosis // Life Sci. 2012. N. 91. P. 151–158. DOI: 10.1016/j.lfs.2012.06.026.
10. Lee M.W., Lee Y.A., Park H.M., Toh S.H., Lee E.J., Jang H.D., Kim Y.H. Antioxidative phenolic compounds from the roots of *Rhodiola sachalinensis* A. Bor // Arch. Pharm. Res. 2000. N. 23. P. 455–458. DOI: 10.1007/BF02976571
11. Li Y., Pham V., Bui M., Song L., Wu C., Walia A., Uchio E., Smith-Liu F., Zi X. *Rhodiola rosea* L.: an herb with anti-stress, anti-aging, and immunostimulating properties for cancer chemoprevention // Curr. Pharmacol. Rep. 2017. N. 3(6). P. 384–395. DOI: 10.1007/s40495-017-0106-1
12. Kuznetsova L.V., Mikhaleva L.G., Zakharova V.I. (Eds.) Atlas of Medical Plants of Yakutia // Medical Plants Used in Ethnomedicine. Yakutsk: Yakutian Scientific Center, 2005. V. 2. P. 2–163.
13. Pimenov M.G., Babilev F.V., Nikonov G.K. *Phlojodicarpus Turcz. i Libanotis L. kak istochniki polucheniya kumarinov so spazmoliticheskoj aktivnost'yu* // Rastitel'ny'e resursy. 1968. Vol. 4. N. 4. P. 486–491.
14. Gromakova A.I., Isajkina A.P., Krivut B.A., Vandyshchev V.V. Izuchenie soderzhaniya visnadina i digidrosamidina v syr'e vzdutoplodnika sibirskogo // Xim.-farm. zhurn. 1982. Vol. 16. N. 4. P. 60–66.
15. Vasil'eva O.D. Vzdutoplodnik sibirskij *Phlojodicarpus Sibiricus* (Steph. ex Spreng.) K.-Pol. v Yakutii: Biologiya, introdukcija, oxrana. Diss. ... kand. biol. nauk. Yakutsk, 2005. 170 p.
16. Olenikov D.N., Fedorov I.A., Kashchenko N.I., Chirikova N.K., Vennos C. Khellactone Derivatives and Other Phenolics of *Phlojodicarpus sibiricus* (Apiaceae): HPLC-DAD-ESI-QQQ-MS/MS and HPLC-UV Profile, and Antiobesity Potential of Dihydrosamidin // Molecules. 2019. N. 24(12) P. 2286. DOI: 10.3390/molecules24122286
17. Tixonov A.I. Vy'delenie i ximicheskoe issledovanie flavonoidov rastenij semejstva ryaskovy'x flory SSSR: Avtoref. diss. kand. farm. nauk. M. 1968. 22 p.
18. Markova A. Travniki: zoloty'e recepty narodnoj mediciny. M.: Eksmo; Forum, 2007. 928 p.
19. Maxlayuk V.P. Lekarstvenny'e rasteniya v narodnoj mediciny. M.: Niva Rossii, 1992. 477 p.
20. Vladimirova I.N., Georgiyants V.A. Biologically active compounds from *Lemna Minor* S.F. Gray // Pharma. Chem. J. 2014. N. 47(11). P. 599–601. DOI:10.1007/s11094-014-1016-8
21. Mareček V., Mikyška A., Hampel D., Čejka P., Neuwirthová J., Malachová A., Cerkal R. ABTS and DPPH methods as a tool for studying antioxidant capacity of spring barley and malt // J. of Cereal Science. 2017. N. 73. P. 40–45. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.11.004.
22. Nishimiki M., Rao N.A., Yagi K. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen // Biochemical and Biophysical Research Communications. 1972. Vol. 46. P. 849–853.

АНТИРАДИКАЛЬНАЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ

23. *Marcocci L., Packer L., Droy-Lefaix M.-T., Sekaki A., Gardes-Albert M.* Antioxidant action of Ginkgo biloba extract EGb 761 // *Methods in Enzymology*. 1994. Vol. 234. P. 462–475.

24. *Rogozhin V.V.* Metody` bioximicheskix issledovaniy. Yakutsk, 1999. 113 p.

25. *Mal`ceva E.M., Egorova N.O., Egorova I.N., Muxamadiyarov R.A.* Antioksidantnaya i antiradikal`naya ak-

tivnost` in vitro e`kstraktov travy` *Sanguisorba officinalis* L., sobrannoj v razlichny`e fazy` razvitiya // *Medicina v Kuzbasse*. 2017. Vol. 16. N. 2. P. 32–38.

26. *Reshetnikov V.N., Spiridovich E.V., Fomenko T.I., Nosov A.M.* Rastitel`naya biotexnologiya – sposob racional`nogo ispol`zovaniya biosinteticheskogo potentsiala // *Nauka i innovacii*. 2014. N. 5 (135). P. 21–25.

About the authors

VORONOV Ivan Vasil`evich, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5460-4024>, viv_2002@mail.ru;

FILIPPOVA Galina Valer`evna, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2024-6062>, nureeva@yandex.ru;

DARKHANOVA Valentina Gavril`evna, engineer–researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-8789-5147>, darhana@mail.ru;

STROEVA Natalia Semenovna, engineer–researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-2803-4440>, natali.stroeva.62@mail.ru;

FEDOROV Innokentii Apollonovich, candidate of agricultural sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5289-5481>, fedorovia1958@mail.ru;

PROKOPIEV Ilya Andreevich, leading researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8755-7140>, ilya.a.prokopiev@gmail.com.

Citation

Voronov I., Filippova G., Darkhanova V., Stroeva N., Fedorov I., Prokopev I. Antiradical and antioxidant activity of the extracts three kinds of medicinal plants and *Lemna minor* L. // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2019, Vol. 24, N 4. P. 127–135. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-4-11>