

УДК 582.736 + 547.9

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРНЕЙ *ASTRAGALUS PROPINQUUS* (LEGUMINOSAE), ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В БУРЯТИИ

© Т.М. Шишмарева*, В.М. Шишмарев, Д.Н. Оленников

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 (Россия), e-mail: shishmarevatm@mail.ru

Настоящая работа посвящена исследованию химического состава корней *Astragalus propinquus*, произрастающего в условиях Республики Бурятия. В результате химического исследования *A. propinquus* было установлено, что содержание фенольных соединений варьировало в пределах 9.20–33.89 мг/г, тритерпенов – 9.69–36.55 мг/г, водорастворимых полисахаридов – 9.79–30.58 мг/г, свободных углеводов – 63.37–252.54 мг/г, свободных аминокислот – 25.79–149.37 мг/г. Хроматографический анализ флавоноидов *A. propinquus* выявил присутствие 18 соединений, включая производные одоратина, каликозина, формонетина, изомукронулата и астраптерокарпана в форме агликонов, гликозидов и ацил-гликозидов, в том числе впервые для вида некоторые гликозиды каликозина. Исследование сезонной динамики накопления изученных групп соединений показало, что в сырье, традиционно рекомендуемом для массовой заготовки, отмечается наименьшее содержание почти всех групп компонентов, кроме полисахаридов (26.55 мг/г); в фазу бутонизации наблюдается накопление свободных аминокислот (78.66 мг/г), в фазу цветения – свободных углеводов (263.91 мг/г), в фазу плодоношения – тритерпенов (28.44 мг/г) и фенольных соединений (15.26 мг/г). Проведенные исследования показали, что корни *A. propinquus* из Бурятии характеризуются высоким содержанием биоактивных соединений и могут быть использованы в качестве лекарственного сырья.

Ключевые слова: *Astragalus propinquus*, *Leguminosae*, фенольные соединения, тритерпеновые соединения, водорастворимые полисахариды, свободные углеводы, свободные аминокислоты, флавоноиды, динамика накопления.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта № 121030100227-7.

Введение

Астрагал сходный, *Astragalus propinquus* Schischkin (син. *A. membranaceus* (Fischer) Bunge, *A. membranaceus* var. *mongholicus* (Bunge) P. K. Hsiao, *A. propinquus* var. *glabra* Vyd., *Phaca membranacea* Fisch.) – травянистое безрозеточное поликарпическое многолетнее растение до 60 см высотой семейства Бобовые (*Leguminosae*). В Бурятии *A. propinquus* встречается в Саяно-Байкальском районе, на нагорьях Байкальском и Витимском, степных и лесостепных районах бассейна р. Селенги [1]. Вид также встречается в Иркутской и Читинской областях, на юге Якутии и на Дальнем Востоке России; за рубежом отмечен в Монголии, Китае, Корее и Японии [2].

A. propinquus широко используется в китайской, тибетской и монгольской медицине [3, 4]. В восточной медицине корни *A. propinquus* отнесены к элитному лекарственному сырью, по эффективности тонизирующего действия превосходящему женьшень [5].

Шишмарева Татьяна Михайловна – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории медико-биологических исследований, e-mail: shishmarevatm@mail.ru

Шишмарев Вячеслав Михайлович – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории медико-биологических исследований, e-mail: shishmarev.2015@mail.ru

Оленников Даниил Николаевич – доктор фармацевтических наук, заведующий лабораторией медико-биологических исследований, e-mail: olennikovdn@mail.ru

Извлечения из *A. propinquus* обладают широким спектром биологической активности: иммуномодулирующей [6], противовирусной [7] и противоопухолевой [8, 9]. Кроме того, установленное защитное действие экстракта корней астрагала перепончатого на зернистые клетки мозжечка крыс при глутаматной токсичности показывает одну из сторон механизма его ноотропного действия [10]. Полученный результат защитного действия экстракта

* Автор, с которым следует вести переписку.

корней астрагала перепончатого *in vitro* позволит в дальнейших исследованиях *in vivo* при тех патологиях, где необходимо защищать нейроны от гибели, использовать данный экстракт с профилактической и лечебной целью. Современными исследованиями показано, что экстракт сухой *A. propinquus* в эксперименте обладает антигипоксическим [11, 12], антистрессорным [13], мембраностабилизирующим и антиоксидантным действием [14].

Из *A. propinquus* выделено и идентифицировано более 100 химических компонентов, включая флавоноиды, сапонины, полисахариды, аминокислоты и другие соединения [15], причем химические исследования относятся главным образом к сырью китайского происхождения, так как в последние двадцать лет именно Китай является самой продуктивной страной по количеству статей, посвященных изучению *A. propinquus* [16]. Данные о химическом составе *A. propinquus*, произрастающего в Сибири, ограничены сведениями о сезонной динамике содержания флавоноидов в надземной части (Восточное Забайкалье) [17], фармакогностическом изучении травы (Республика Бурятия) [18], аминокислотном и жирнокислотном составе корней (Республика Бурятия) [19, 20]. Ввиду того, что *A. propinquus* широко распространен на территории Восточной Сибири, интерес представляет изучение количественного содержания основных классов соединений в корнях *A. propinquus* (фенольных соединений, тритерпенов, водорастворимых полисахаридов, свободных углеводов, свободных аминокислот), хроматографический анализ флавоноидов, а также исследование сезонной динамики накопления изученных групп соединений. Поэтому целью настоящей работы является исследование химического состава корней *A. propinquus*, произрастающего в условиях Республики Бурятия.

Экспериментальная часть

Растительное сырье. Образцы *A. propinquus* были собраны в различных районах Республики Бурятия (Баргузинский, Хоринский, Курумканский, Прибайкальский, Селенгинский, Тарбагатайский и Заиграевский) и в окрестностях г. Улан-Удэ в 2016–2020 гг. (табл. 1). Сбор растительного сырья (корней) проводили во время всего полевого сезона (май–октябрь) в фазе вегетации, бутонизации, цветения, плодоношения и отмирания. Фитоценотическая характеристика изученных ценопопуляций дается на основании геоботанических описаний, проводившихся по общепринятой методике [21, 22].

Общие экспериментальные условия. Для колоночной хроматографии (КХ) использовали нормально- (SiO_2), обращено-фазовый силикагель (ОФ- SiO_2) и Сефадекс LH-20 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Спектрофотометрические исследования проводили на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ Спектр, Санкт-Петербург, Россия). Масс-спектры регистрировали на ТQ-масс-спектрометре LCMS-8050 (Shimadzu, Columbia, MD, USA) [23], спектры ЯМР – на спектрометре VXR 500S (Varian, Palo Alto, CA, USA). Препаративную ВЭЖХ осуществляли на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence (Shimadzu), снабженном колонкой Shim-pak PREP-ODS (250 мм × 20 мм × 15 мкм; Shimadzu) и фотодиодным детектором SPD-M30A (Shimadzu); v 1.0 мл/мин, температура колонки 20 °С.

Количественный анализ корней *A. propinquus*. Для количественного анализа растительного сырья применяли методики спектрофотометрического анализа: фенольные соединения – метод Фолина (набор Phenolic Compounds Assay Kit, Sigma-Aldrich, № МАК365; в пересчете на галловую кислоту), тритерпеноиды – ванилин-серноокислотный метод (в пересчете на олеаноловую кислоту) [24], водорастворимые полисахариды и свободные углеводы – антрон-серноокислотный метод (в пересчете на глюкозу) [25], свободные аминокислоты – *n*-бензохиноновый метод (в пересчете на глутаминовую кислоту) [26]. Анализ проводили в пятикратной повторности для каждого образца сырья.

Экстракция и выделение соединений 2, 3, 6–12 из корней *A. propinquus*. Измельченное сырье *A. propinquus* (2 кг; образец №15) экстрагировали 80% этанолом (1 : 10, 70 °С, трижды; УЗ-ванна), спиртовой экстракт объединяли и концентрировали в вакууме досуха (выход 0,56 кг), после чего сухой экстракт обрабатывали в аппарате Сокслета хлороформом и этилацетатом до истощения. Этилацетатный экстракт (120 г) разделяли с применением флеш-хроматографии на SiO_2 (3×60 см, элюент этилацетат–ацетон 100 : 0→70 : 30), ОФ- SiO_2 (2×30 см, вода–ацетонитрил 100 : 0→30 : 70), Сефадексе LH-20 (1×50 см, метанол–вода 90 : 10→50 : 50) и препаративной ВЭЖХ (элюент А – метанол, элюент В – вода; градиентный режим, % В: 0–45 мин, 5–40%, 45–100 мин, 40–70%, 100–150 мин, 70–90%). В результате разделения были выделены одоратин 7-*O*-глюкозид (5 мг, **2**), каликозин 7-*O*-глюкозид (7 мг, **3**), одоратин 7-*O*-(6''-*O*-малонил)-глюкозид (30 мг, **6**), каликозин 7-*O*-(6''-*O*-малонил)-глюкозид (180 мг, **7**), формонетин 7-*O*-глюкозид

(3 мг, **8**), астраптерокарпан 3-*O*-глюкозид (6 мг, **9**), изомукронулатол 7-*O*-глюкозид (10 мг, **10**), формонетин 7-*O*-(6''-*O*-малонил)-глюкозид (65 мг, **11**) и астраптерокарпан 3-*O*-(6''-*O*-малонил)-глюкозид (20 мг, **12**), идентифицированные по данным УФ-, ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии [27].

ВЭЖХ-ДМД-ИЭР/МС. Анализ этилацетатной фракции осуществляли на жидкостном хроматографе LCMS-8050 (Shimadzu), соединенном с диодно-матричным детектором (ДМД) и 3Q детектором с ионизацией электрораспылением (ИЭР/МС; electrospray ionization, ESI), используя колонку GLC Mastro C18 (150 мм × 2.1 мм × 3 мкм; Shimadzu). Условия ВЭЖХ: подвижная фаза, элюент А – вода, элюент В – ацетонитрил; программа градиента 0–10 мин 7–14% В, 10–15 мин 14–62% В, 15–18 мин 62–85% В, 18–25 мин 85–7% В; инъецируемый объем – 1 мкл; скорость потока – 150 мкл/мин, температура колонки – 35 °С; диапазон сканирования спектров поглощения – 200–600 нм. Условия ИЭР-МС: режим ионизации – электрораспыление, положительная ионизация; температура интерфейса ИЭР – 300 °С; температура линии десольватации – 250 °С; температура нагревательного блока – 400 °С; скорость газа-распылителя (N₂) – 3 л/мин; скорость газа-нагревателя (воздух) – 10 л/мин; давление газа, используемого для диссоциации, индуцируемой соударением (CID gas, Ar) – 270 кПа; скорость Ar – 0.3 мл/мин; напряжение на капилляре – 3 кВ; диапазон сканирования масс (*m/z*) – 100–1900.

Статистический анализ проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) [28]. Значимость различий средних определяли с помощью многогранового теста Дункана. Отличия при *p* < 0.05 считались статистически значимыми. Результаты представлены в виде средних значений ±S.D. (стандартное отклонение), определенных в пяти повторностях.

Таблица 1. Описание растительного сырья, использованного в работе

Номер ЦП ^а	Дата сбора	Фаза вегетации	Местообитание	Ассоциация	ОПП ^б , %	П ^в
Баргузинский район						
01	12.08.2018	плодоношение	окр. с. Улюн-1	сосняк злаково-разнотравный	40	1.0
02	12.08.2018	плодоношение	окр. с. Улюн-2	сосняк бруснично-астрагаловый	60	1.5
Хоринский район						
03	09.09.2018	плодоношение	окр. с. Анинск	сосняк разнотравный	30	0.6
04	15.09.2019	плодоношение	окр. с. Анинск	то же	30	0.7
Курумканский район						
05	10.08.2018	плодоношение	курорт Алла	сосняк разнотравный	20	0.9
Прибайкальский район						
06	12.09.2016	плодоношение	окр. пос. Горячинск	сосняк бруснично-астрагаловый	40	1.2
07	13.09.2017	плодоношение	окр. пос. Горячинск	то же	40	1.4
08	23.10.2018	отмирание	окр. пос. Горячинск	то же	40	1.0
09	14.10.2017	отмирание	окр. с. Нестерово	сосняк разнотравный	25	0.7
10	14.09.2020	плодоношение	окр. с. Турунтаево	сосняк злаково-разнотравный	30	0.5
11	14.09.2020	плодоношение	окр. с. Зырянск	сосняк кровохлебково-разнотравный	40	0.8
Селенгинский район						
12	19.08.2018	плодоношение	окр. г. Гусинозерск	сосняк осоково-разнотравный	20	0.7
Тарбагатайский район						
13	25.06.2018	цветение	окр. пос. Николаевский	сосняк разнотравный	20	1.3
14	28.05.2019	бутонизация	окр. пос. Николаевский	то же	20	1.4
15	07.09.2019	плодоношение	окр. пос. Николаевский	то же	20	1.2
16	14.07.2020	цветение	окр. с. Тарбагатай	сосняк злаковый	30	0.9
17	14.07.2020	цветение	Барской хребет	то же	50	1.1
18	19.07.2020	цветение	окр. с. Верхний Саянтуй	сосняк осоково-разнотравный	35	0.8
Заиграевский район						
19	02.09.2018	плодоношение	окр. с. Новая Брянь	сосняк астрагалово-разнотравный	40	1.6
20	09.09.2019	плодоношение	окр. с. Новая Брянь	то же	40	1.4
21	03.09.2018	плодоношение	окр. с. Тодогто	сосняк злаково-разнотравный	45	1.2
22	01.09.2019	плодоношение	окр. с. Нарын-Ацагат	сосняк разнотравный	25	0.8
г. Улан-Удэ						
23	15.06.2019	бутонизация	окр. г. Улан-Удэ	сосняк астрагалово-разнотравный	–	–
24	17.07.2019	цветение	окр. г. Улан-Удэ	то же	35	1.1
25	24.08.2019	плодоношение	окр. г. Улан-Удэ	то же	–	–
26	30.09.2019	отмирание	окр. г. Улан-Удэ	то же	–	–

^а Цифрами обозначены номера ценопопуляций *A. propinquus*; ^б общее проективное покрытие травяного яруса; ^в плотность *A. propinquus*, экз/м².

Обсуждение результатов

*Фитоценотическая характеристика ценопопуляций *A. propinquus*.* На территории Республики Бурятия *A. propinquus* растет по лугам, в луговых степях, на лесных опушках и закустаренных склонах. Общее покрытие (сомкнутость крон) древесного и кустарникового ярусов сообществ с участием *A. propinquus* составляет 20–50% и 10–20% соответственно. Общее проективное покрытие травяного яруса колеблется в пределах 20–60%. В зависимости от условий произрастания плотность особей в ценопопуляциях колеблется от 0.5 до 1.6 экз/м². Изученные ценопопуляции *A. propinquus* приурочены к следующим сообществам: сосняк злаково-разнотравный, сосняк бруснично-астрагаловый, сосняк разнотравный, сосняк кровохлебково-разнотравный, сосняк осоково-разнотравный, сосняк злаковый, сосняк астрагалово-разнотравный. Наибольшая встречаемость *A. propinquus* отмечена в сосняке разнотравном и сосняке злаково-разнотравном. Ранее установлено, что наиболее типичными местообитаниями этого растения в Бурятии являются опушки сухих сосновых лесов, в травяном ярусе которых *A. propinquus* может выступать содоминантом с плотностью особей в ценопопуляциях от 0.7 до 1.6 экз/м², что согласуется с нашими данными [29].

*Количественное содержание основных классов соединений в корнях *A. propinquus*.* Для выявления пределов вариации содержания основных классов соединений в сырье *A. propinquus* было проведено химическое изучение корней данного вида, собранных в 7 районах Республики Бурятия и окрестностях г. Улан-Удэ (табл. 1). Установлено, что содержание фенольных соединений варьировало в пределах 9.20–33.89 мг/г, тритерпенов – 9.69–36.55 мг/г, водорастворимых полисахаридов – 9.79–30.58 мг/г, свободных углеводов – 63.37–252.54 мг/г и свободных аминокислот – 25.79–149.37 мг/г (табл. 2).

В работе X.Q. Ma et al приведены данные по химическому составу корней *A. propinquus* из Китая: суммарное содержание тритерпеновых соединений (астрагалозидов) составляло 19.6–35.8 мг/г; суммарное содержание полисахаридов – 68.3–134.8 мг/г и суммарное содержание аминокислот – 3.5–6.0 мг/г [30]. Образцы из Бурятии характеризовались высоким содержанием аминокислот, образцы из Китая – высоким содержанием тритерпеновых соединений и полисахаридов.

Таблица 2. Химический состав дикорастущего сырья *A. propinquus*, мг/г (\pm S.D.)*

№ сырья	Фенольные соединения	Тритерпены	Водорастворимые полисахариды	Свободные углеводы	Свободные аминокислоты
01	17.43±0.37 ^{vii}	25.96±0.52 ^{xxii}	15.91±0.28 ^{xxx}	63.37±1.38 ^{xxxviii}	53.27±0.96 ^{liii}
02	14.15±0.26 ^v	31.29±0.50 ^{xxiii}	16.62±0.31 ^{xxxii}	68.66±1.41 ^{xxxix}	58.49±0.99 ^{liv}
03	29.21±0.53 ^{xi}	29.79±0.51 ^{xxiii}	17.04±0.30 ^{xxxii}	87.79±1.89 ^{xl}	67.87±1.19 ^{lvi}
04	21.82±0.48 ^{ix}	9.69±0.18 ^{xiii}	24.02±0.46 ^{xxxv}	141.23±2.68 ^{xlili}	34.28±0.65 ^{li}
05	12.55±0.24 ^{iv}	24.09±0.48 ^{xxi}	9.79±0.14 ^{xxvi}	127.40±2.42 ^{xli}	61.03±1.03 ^{lv}
06	11.42±0.22 ⁱⁱⁱ	14.84±0.28 ^{xvii}	26.96±0.45 ^{xxxvi}	153.07±3.01 ^{xliv}	32.01±0.49 ^l
07	21.77±0.46 ^{ix}	16.02±0.30 ^{xviii}	17.53±0.30 ^{xxxii}	156.31±2.97 ^{xliv}	34.02±0.55 ^{li}
08	33.03±0.51 ^{xii}	36.55±0.71 ^{xxv}	11.18±0.22 ^{xxvii}	65.48±1.39 ^{xxxviii}	58.99±0.98 ^{liv}
09	33.35±0.50 ^{xii}	14.11±0.30 ^{xvi}	27.39±0.49 ^{xxxvi}	141.26±2.71 ^{xliii}	36.79±0.64 ^{lii}
10	13.43±0.22 ^v	31.42±0.59 ^{xxiii}	24.63±0.53 ^{xxxv}	178.49±3.48 ^{xlv}	80.20±1.25 ^{lviii}
11	13.85±0.24 ^v	33.85±0.61 ^{xxiv}	23.71±0.54 ^{xxxv}	197.44±3.94 ^{xlvi}	63.12±1.15 ^{lv}
12	27.80±0.48 ^x	28.14±0.52 ^{xxiii}	20.52±0.43 ^{xxxiv}	194.62±3.69 ^{xlvi}	58.43±1.08 ^{liv}
13	9.56±0.16 ⁱⁱ	22.68±0.45 ^{xx}	11.98±0.22 ^{xxviii}	202.52±3.64 ^{xlvi}	54.43±0.92 ^{liii}
14	20.14±0.36 ^{viii}	12.21±0.25 ^{xiv}	30.58±0.61 ^{xxxvii}	164.19±3.28 ^{xliv}	37.88±0.65 ^{lii}
15	33.89±0.59 ^{xii}	15.34±0.29 ^{xvii}	16.58±0.32 ^{xxxii}	159.01±3.19 ^{xliv}	35.56±0.59 ^{lii}
16	9.20±0.15 ⁱ	28.79±0.53 ^{xxiii}	13.35±0.24 ^{xxix}	135.35±2.69 ^{xlii}	138.56±2.47 ^{lix}
17	12.90±0.26 ^{iv}	31.40±0.61 ^{xxiii}	22.05±0.48 ^{xxxv}	224.44±4.21 ^{xlvii}	67.24±1.25 ^{lvi}
18	20.40±0.38 ^{viii}	30.42±0.59 ^{xxiii}	18.75±0.35 ^{xxxiii}	217.45±3.91 ^{xlvii}	149.37±2.54 ^{lx}
19	19.43±0.35 ^{viii}	13.26±0.27 ^{xv}	14.89±0.31 ^{xxx}	174.57±3.09 ^{xlv}	25.79±0.41 ^{xliv}
20	15.89±0.29 ^{vi}	30.41±0.67 ^{xxiii}	22.74±0.55 ^{xxxv}	252.54±4.29 ^{xlviii}	53.58±0.95 ^{liii}
21	11.54±0.24 ⁱⁱⁱ	19.48±0.37 ^{xix}	14.86±0.33 ^{xxx}	163.07±2.94 ^{xliv}	73.28±1.12 ^{lvii}
22	12.29±0.26 ^{iv}	27.59±0.50 ^{xxiii}	26.71±0.51 ^{xxxvi}	248.54±4.65 ^{xlviii}	72.52±1.18 ^{lvii}

* Значения с разными номерами (i–lx) указывают на статистически значимые различия между группами при $p < 0.05$ по однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA).

Флавоноиды корней *A. propinquus*, произрастающего в Байкальском регионе. Фенольные соединения наравне в тритерпеноидами и полисахаридами являются важными биологически активными компонентами корней *A. propinquus*, причем изофлавоноиды используются в качестве маркеров при оценке качества сырья [31]. Ранее флавоноиды корней *A. propinquus*, произрастающего в Байкальском регионе, не исследовались, в связи с чем нами было проведено хроматографическое разделение этанольного экстракта *A. propinquus* с применением флэш-хроматографии на нормально- и обращенно-фазовом силикагеле, Сефадексе LH-20 и препаративной ВЭЖХ, а также было осуществлено масс-спектрометрическое профилирование фракции флавоноидов. В результате проведенных исследований были выделены и идентифицированы по данным УФ-, ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии 9 флавоноидов, включая изофлавоноиды одоратин 7-*O*-глюкозид (**2**), каликозин 7-*O*-глюкозид (**3**), одоратин 7-*O*-(6''-*O*-малонил)-глюкозид (**6**), каликозин 7-*O*-(6''-*O*-малонил)-глюкозид (**7**), формонетин 7-*O*-глюкозид (**8**) и формонетин 7-*O*-(6''-*O*-малонил)-глюкозид (**11**), изофлаван изомукрунлатол 7-*O*-глюкозид (**10**) и птерокарпаны астраптерокарпан 3-*O*-глюкозид (**9**) и астраптерокарпан 3-*O*-(6''-*O*-малонил)-глюкозид (**12**) (рис. 1). Все соединения обнаружены впервые в *A. propinquus*, произрастающем в России.

Для получения дополнительной информации о флавоноидах *A. propinquus*, этилацетатную фракцию корней анализировали методом ВЭЖХ-ДМД-ИЭР/МС, что позволило обнаружить присутствие агликонов одоратина (**15**), каликозина (**16**), формонетина (**17**) и астраптерокарпана (**18**) (рис. 2, табл. 3).

Пять соединений было предположительно охарактеризовано как изофлавоны (**1**, **5**) и изофлаваны (**4**, **13**, **14**), основываясь на особенностях УФ-спектров. В масс-спектре соединения **1** наблюдалось последовательное удаление двух гексозных фрагментов из протонированного иона (m/z 609 \rightarrow 447, 285), что приводило к образованию иона агликона, впоследствии подвергающегося ретро-реакции Дильса-Альдера (RDA) кольца С с образованием фрагмента с m/z 137 (рис. 3а).

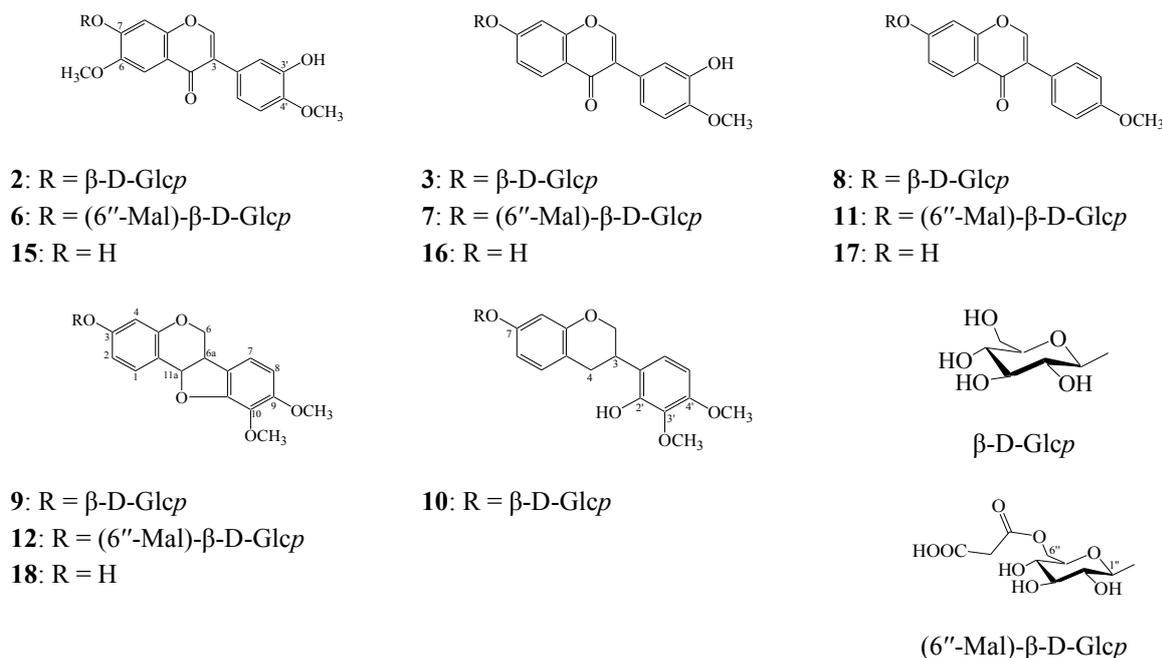


Рис. 1. Формулы соединений, обнаруженных в *A. propinquus*

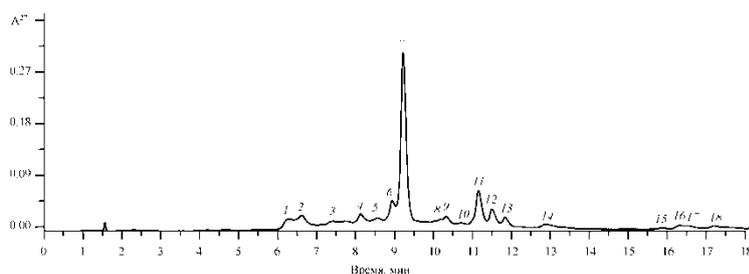


Рис. 2. Хроматограмма (ВЭЖХ-ДМД, детектор 270 нм) этилацетатной фракции корней *A. propinquus*. Числами обозначено положение соединений согласно табл. 3

Таблица 3. Время удерживания, данные УФ- и масс-спектров соединений **1–18**, обнаруженных в корнях *A. propinquis*

№ ^a	t ^b , мин	Соединение	УФ-спектр, λ _{max} , нм	Масс-спектр, m/z ^b	Уровень идентификации ^г
1	6.18	Каликозин ди- <i>O</i> -гексозид	250, 290	609*, 447, 285, 269, 253, 225, 213, 197, 137	2
2	6.68	Одоратин 7- <i>O</i> -глюкозид	260, 320	477*, 315, 299, 283, 255, 243, 227, 167	16
3	7.48	Каликозин 7- <i>O</i> -глюкозид	250, 290	447*, 285, 269, 253, 225, 213, 197, 137	16
4	8.11	Изомукронулатол ди- <i>O</i> -гексозид	280	627*, 465, 303, 193, 181, 167, 165, 161, 147, 133, 123	2
5	8.53	Каликозин ди- <i>O</i> -гексозид- <i>O</i> -малонат	250, 290	695*, 533, 447, 285, 269, 253, 225, 213, 197, 137	2
6	8.97	Одоратин 7- <i>O</i> -(6''- <i>O</i> -малонил)-глюкозид	260, 320	563*, 477, 315, 299, 283, 255, 243, 227, 167	16
7	9.32	Каликозин 7- <i>O</i> -(6''- <i>O</i> -малонил)-глюкозид	250, 290	533*, 447, 285, 269, 253, 225, 213, 197, 137	16
8	10.22	Формонетин 7- <i>O</i> -глюкозид (ононин)	252, 305	431*, 269, 253, 237, 226, 213, 197	16
9	10.30	Астраптерокарпан 3- <i>O</i> -глюкозид	220, 281	463*, 301, 273, 269, 241, 191, 167, 147, 123	16
10	10.71	Изомукронулатол 7- <i>O</i> -глюкозид	280	465*, 303, 193, 181, 167, 165, 161, 147, 133, 123	16
11	11.20	Формонетин 7- <i>O</i> -(6''- <i>O</i> -малонил)-глюкозид	250, 305	517*, 431, 269, 253, 237, 213, 197	16
12	11.51	Астраптерокарпан 3- <i>O</i> -(6''- <i>O</i> -малонил)-глюкозид	220, 281	549*, 463, 301, 273, 269, 241, 191, 167, 147, 123	16
13	11.79	Изомукронулатол <i>O</i> -гексозид- <i>O</i> -малонат	280	551*, 465, 303, 193, 181, 167, 165, 161, 147, 133, 123	2
14	12.83	Изомукронулатол <i>O</i> -гексозид- <i>O</i> -ацетат	280	507*, 465, 303, 193, 181, 167, 165, 161, 147, 133, 123	2
15	15.87	Одоратин	260, 320	315*, 299, 283, 255, 243, 227, 167	1a
16	16.31	Каликозин	250, 290	285*, 269, 253, 225, 213, 197, 137	1a
17	17.52	Формонетин	252, 305	269*, 253, 237, 213, 197	1a
18	17.21	Астраптерокарпан	220, 281	301, 273, 269, 241, 191, 167, 147, 123	1a

^a Номер соединения на рис. 1. ^b Время удерживания, мин. ^в Звездочкой (*) отмечен протонированный ион [M+H]⁺. ^г Уровни идентификации: (1) идентифицированное соединение после сравнения данных УФ и масс-спектров, времени удерживания с таковыми коммерческого стандарта (1a), или соединение выделено и охарактеризовано по данным ЯМР (16); (2) предположительно охарактеризованные соединения после сравнения данных УФ и масс-спектров с таковыми из литературы.

В спектрах дочерней ионизации было отмечено отщепление частиц с m/z 16 (CH₄) и 32 (CH₃OH), образующих каскад ионов, характерных для 4'-метоксиизофлавонов [32]. Характер распада соединения **1** был близок к таковому каликозин 7-*O*-глюкозида [31], содержащего дополнительный фрагмент гексозы. Соединение **5**, дававшего протонированный ион с m/z 695, было охарактеризовано как *O*-малонильный эфир флавоноида **1** ввиду сходного масс-спектрального поведения, но большей молекулярной массы (86 а.е.м.). Оба соединения не имеют известных аналогов среди известных растительных флавоноидов. Изофлавановый дигликозид **4**, близкий к изомукронулатол 7-*O*-глюкозиду (**10**), распадался с удалением двух фрагментов гексозы, а в спектрах дочерней ионизации подвергался RDA распаду и фрагментации с удалением частиц CH₄, CH₃OH и CO (рис. 3б). Все это указывало на то, что **4** представлял собой *O*-гексозилированное производное **10**, вероятным аналогом которого может быть изомукронулатол 7,2'-ди-*O*-глюкозид, выделенный ранее из *A. propinquis* [33]. Флавоноиды **13** и **14** были определены как *O*-малонильный и *O*-ацетильный эфиры **10**, соответственно, также обнаруженные в корнях *A. propinquis* [33]. Таким образом, флавоноиды корней *A. propinquis*, произрастающего в Байкальском регионе, были представлены гликозидными и ацильными производными одоратина, каликозина, формонетина, изомукронулатола и астраптерокарпана, которые характерны для вида и рода *Astragalus* в целом.

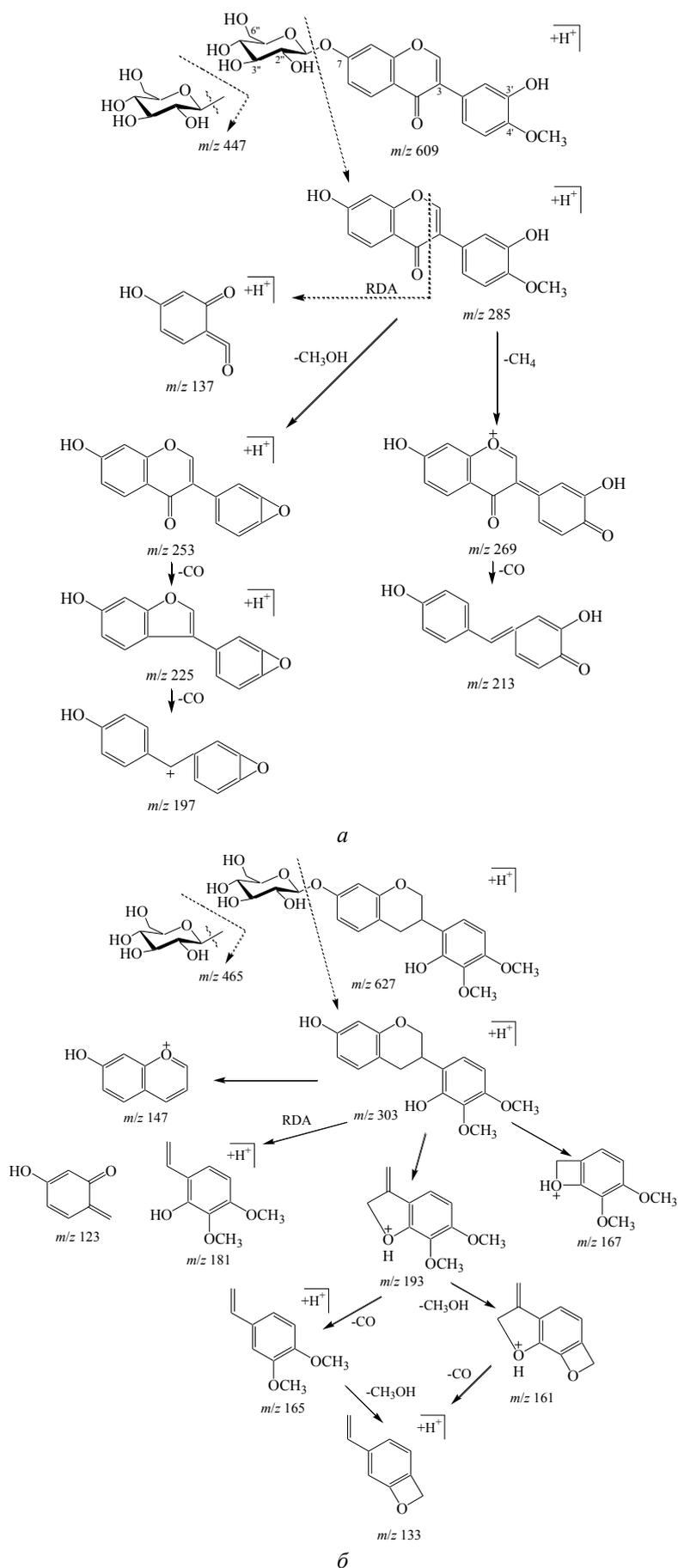


Рис. 3. Основные пути MSⁿ фрагментации каликозин ди-*O*-гексозида (соединение 1; а) и изомукрунлатол ди-*O*-гексозида (соединение 4; б). RDA – ретро-реакция Дильса-Альдера

Сезонная динамика накопления основных классов соединений в корнях *A. propinquus*. Познание биологического значения веществ вторичного синтеза, таких как флавоноиды, сапонины, азотсодержащие вещества, гликозиды, кумарины, органические кислоты и другие, накапливаемые растениями и обладающие фармакологической активностью и терапевтическим действием, невозможны без детального изучения закономерностей накопления, специфичности и изменчивости состава и содержания этих веществ. Кроме этого, изучение особенностей накопления основных классов соединений играет немаловажную роль в определении ресурсного потенциала и рационального использования ценного лекарственного растения *A. propinquus*.

Исследование сезонной динамики накопления изученных групп соединений было проведено в течение одного вегетационного периода (образцы 23–26) (табл. 4). Установлено, что максимум содержания различных классов веществ приходится на разные фазы вегетации. Так, в сырье, традиционно рекомендуемом для массовой заготовки (конец вегетации – конец сентября), отмечается наименьшее содержание почти всех групп компонентов, кроме полисахаридов (26.55 ± 0.53 мг/г). В фазу бутонизации наблюдается накопление свободных аминокислот (78.66 ± 1.5 мг/г), в фазу цветения – свободных углеводов (263.91 ± 5.23 мг/г), в фазу плодоношения – тритерпенов (28.44 ± 0.55 мг/г) и фенольных соединений (15.26 ± 0.29 мг/г).

Имеются данные для образцов из Китая по содержанию основных компонентов в корнях *A. propinquus* в зависимости от месяца сбора проб и возраста растения [30]. Сентябрь-октябрь является лучшим периодом для сбора растений, так как корни имеют самую высокую концентрацию основных компонентов. Кроме того, *A. propinquus* является многолетним растением, и содержание компонентов меняется в зависимости от возраста. Например, общее количество полисахаридов было значительно выше у трехлетних растений, в то время как однолетние растения содержали наибольшее количество общих аминокислот.

Следует отметить, что снижение концентрации мономерных компонентов к концу вегетации объясняется переходом растительного организма в период покоя и депонированием данных соединений в виде полимерных соединений, что отчетливо наблюдается в паре «свободные углеводы – полисахариды». Несмотря на полученные результаты, в качестве рекомендуемого срока сбора корней *A. propinquus* предлагается период от начала до массового плодоношения.

Таблица 4. Сезонная динамика накопления групп соединений в корнях *A. propinquus*, мг/г (\pm S.D.)*

Показатель	Фаза бутонизации (15.06.2019)	Фаза цветения (17.07.2019)	Фаза плодоношения (24.08.2019)	Фаза отмирания (30.09.2019)
Фенольные соединения	$8.88 \pm 0.16^{\text{iii}}$	$8.44 \pm 0.15^{\text{ii}}$	$15.26 \pm 0.29^{\text{iv}}$	$7.06 \pm 0.13^{\text{i}}$
Тритерпены	$27.42 \pm 0.52^{\text{vi}}$	$27.69 \pm 0.53^{\text{vi}}$	$28.44 \pm 0.55^{\text{vi}}$	$23.07 \pm 0.42^{\text{v}}$
Водорастворимые полисахариды	$20.62 \pm 0.37^{\text{viii}}$	$19.80 \pm 0.38^{\text{vii}}$	$24.75 \pm 0.48^{\text{ix}}$	$26.55 \pm 0.53^{\text{x}}$
Свободные углеводы	$227.75 \pm 4.48^{\text{xiii}}$	$263.91 \pm 5.23^{\text{xiv}}$	$194.37 \pm 3.86^{\text{xii}}$	$184.10 \pm 3.68^{\text{xi}}$
Свободные аминокислоты	$78.66 \pm 1.50^{\text{xvii}}$	$68.09 \pm 1.36^{\text{xvi}}$	$65.72 \pm 1.25^{\text{xv}}$	$64.22 \pm 1.23^{\text{xv}}$

* Значения с разными номерами (i–xvii) указывают на статистически значимые различия между группами при $p < 0.05$ по однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA).

Выводы

1. На территории Республики Бурятия ценопопуляции *A. propinquus* приурочены к следующим сообществам: сосняк злаково-разнотравный, сосняк бруснично-астрагаловый, сосняк разнотравный, сосняк кровохлебно-разнотравный, сосняк осоково-разнотравный, сосняк злаковый, сосняк астрагалово-разнотравный.

2. Установлено, что содержание фенольных соединений варьирует в пределах 9.20–33.89 мг/г, тритерпенов – 9.69–36.55 мг/г, водорастворимых полисахаридов – 9.79–30.58 мг/г, свободных углеводов – 63.37–252.54 мг/г, свободных аминокислот – 25.79–149.37 мг/г.

3. В корнях *A. propinquus*, произрастающего в Байкальском регионе, впервые выявлено присутствие 18 флавоноидов групп изофлавонов, изофлаванов и птерокарпанов.

4. Исследование сезонной динамики накопления изученных групп соединений показало, что в сырье, традиционно рекомендуемом для массовой заготовки (конец вегетации – конец сентября), отмечается наименьшее содержание почти всех групп компонентов, кроме полисахаридов (26.55 ± 0.53 мг/г); в фазу бутонизации наблюдается накопление свободных аминокислот (78.66 ± 1.5 мг/г), в фазу цветения – свободных углеводов (263.91 ± 5.23 мг/г), в фазу плодоношения – тритерпенов (28.44 ± 0.55 мг/г) и фенольных соединений (15.26 ± 0.29 мг/г).

Список литературы

1. Аненхонов О.А., Пыхалова Т.Д., Осипов К.И., Сэкулич И.Р., Бадмаева Н.К., Намзалов Б.Б., Кривобоков Л.В., Мункуева М.С., Суткин А.В., Тубшинова Д.Я. Определитель растений Бурятии. Улан-Удэ, 2001. 672 с.
2. Положий В.А., Выдрина С.Н., Никифорова О.Д. Флора Сибири. Т. 9. *Fabaceae (Leguminosae)*. Новосибирск, 1994. 280 с.
3. Растительные ресурсы СССР. Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства *Hydrangeaceae*. Л., 1987. 328 с.
4. Чжуд-ши: Канон тибетской медицины / пер. с тиб., предисл., примеч., указ. Д.Б. Дашиева. М., 2001. 766 с.
5. Гриневиц М.А., Брехман И.И. Исследование сложных рецептов восточной медицины и их составляющих с помощью электронно-вычислительной машины. Сообщ. 2. Три десятка наиболее часто используемых лекарственных растений традиционной медицины стран Юго-Восточной Азии // Растительные ресурсы. 1970. Т. 6, вып. 2. С. 153–157.
6. Kuo Y.H., Tsai W.J., Loke S.H., Wu T.S., Chiou W.F. *Astragalus membranaceus* flavonoids (AMF) ameliorate chronic fatigue syndrome induced by food intake restriction plus forced swimming // J. Ethnopharm. 2009. Vol. 122. N1. Pp. 28–34. DOI: 10.1016/j.jep.2008.11.025.
7. Sun Y., Yang J. Experimental study of the effect of *Astragalus membranaceus* against herpes simplex virus type 1 // Acad. J. of the First Med. College of PLA. 2004. Vol. 24. Pp. 57–58.
8. Дикорастущие полезные растения России / отв. ред. А.Л. Буданцев, Е.Е. Лестовская. СПб., 2001. 663 с.
9. Zheng H., Dong Z., She J. Modern study of traditional chinese medicine. Beijing. Xue Yuan Press, 1997.
10. Шурыгин А.Я., Николаев С.М., Кравцов А.А., Немчинова Е.А., Асеева Т.А., Петров Е.В., Батсурен Д., Тунсаг Ж. Нейропротекторный эффект экстрактов из надземной части *Astragalus membranaceus* и *Astragalus mongolicus (Fabaceae)* в условиях токсического действия глутамата // Растительные ресурсы. 2012. Т. 48. №2. С. 273–277.
11. Батоцыренова Э.Т., Шантанова Л.Н., Цыренжапова О.Д.-Д. Антигипоксические свойства сухого экстракта астрагала перепончатого // Бюллетень Восточно-сибирского научного центра СО РАМН. 2012. №4 (86). С. 178–180.
12. Батоцыренова Э.Т., Балдандоржиева М.В., Шантанова Л.Н., Гуляев С.М. Психотропный и антигипоксический эффекты астрагала перепончатого // Здоровье и образование в XXI веке. 2011. Т. 13. №1. С. 109–111.
13. Батоцыренова Э.Т., Шантанова Л.Н., Торопова А.А., Цыренжапова О.Д.-Д., Алексеева Э.А. Антистрессорное действие сухого экстракта астрагала перепончатого // Вестник Бурятского государственного университета. 2012. №SC. С. 55–59.
14. Батоцыренова Э.Т., Торопова А.А., Танхаева Л.М., Шантанова Л.Н., Алексеева Э.А. Мембраностабилизирующая и антиоксидантная активность сухого экстракта *Astragalus membranaceus* // Вестник Бурятского государственного университета. 2012. №12. С. 15–18.
15. Fu J., Wang Z., Huang L., Zheng S., Wang D., Chen S., Zhang H., Yang S. Review of the botanical characteristics, phytochemistry, and pharmacology of *Astragalus membranaceus* (Huangqi) // Phytoter. Res. 2014. Vol. 28. Pp. 1275–1283. DOI: 10.1002/ptr.5188.
16. Durazzo A., Nazhand A., Lucarini M. et al. *Astragalus (Astragalus membranaceus Bunge)*: botanical, geographical, and historical aspects to pharmaceutical components and beneficial role // Rendiconti Lincei. 2021. Vol. 32. N3. Pp. 625–642. DOI: 10.1007/s12210-021-01003-2.
17. Сиднева О.В. Сезонная динамика содержания флавоноидов в надземной части *Astragalus membranaceus (Fabaceae)* в Восточном Забайкалье // Растительные ресурсы. 2005. №4. С. 81–84.
18. Танганова Е.А. Фармакогностическое изучение и стандартизация травы *Astragalus membranaceus (Fisch.) Bunge*, произрастающего в Бурятии: автореф. дисс. ... канд. фарм. наук. Улан-Удэ, 2009. 22 с.
19. Туртуева Т.А., Николаева Г.Г., Гуляев С.М., Жалсанов Ю.В. Аминокислотный состав корней *Astragalus membranaceus (Fisch.) Bunge* // Вестник Бурятского государственного университета. 2013. №12. С. 75–77.
20. Туртуева Т.А., Николаева Г.Г., Жалсанов Ю.В., Гуляев С.М., Тараскин В.В. Жирнокислотный состав корней *Astragalus membranaceus (Fisch.) Bunge*, произрастающего в Бурятии // Вопросы обеспечения качества лекарственных средств. 2013. №1. С. 33–36.
21. Заугольнова Л.Б., Денисова Л.В., Никитин С.В. Подходы к оценке состояния ценопопуляций растений // Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отдел биол. 1993. Т. 98. №5. С. 100–108.
22. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М., 1988. 184 с.
23. Olennikov D.N., Chemposov V.V., Chirikova N.K. Metabolites of prickly rose: Chemodiversity and digestive-enzyme-inhibiting potential of *Rosa acicularis* and the main ellagitannin rugosin D // Plants. 2021. Vol. 10. P. 2525. DOI: 10.3390/plants10112525.
24. Pedrosa A.M., de Castro W.V., Castro A.H.F., Duarte-Almeida J.M. Validated spectrophotometric method for quantification of total triterpenes in plant matrices // DARU. 2020. Vol. 28. Pp. 281–286. DOI: 10.1007/s40199-020-00342-z.
25. Оленников Д.Н. Методика количественного определения группового состава углеводного комплекса растительных объектов // Химия растительного сырья. 2006. №4. С. 29–33.
26. Zaia D.A.M., Barreto W.J., Santos N.J., Endo A.S. Spectrophotometric method for the simultaneous determination of proteins and amino acids with p-benzoquinone // Analytica Chimica Acta. 1993. Vol. 277. Pp. 89–95. DOI: 10.1016/0003-2670(93)85093-y.

27. Azimova S.S., Vinogradova V.I. Natural Compounds. Flavonoids: Plant Sources, Structure and Properties. Springer - New York, Heidelberg, Dordrecht, London, 2013. 257 p.
28. Yuksel N., Kanik A.E., Baykara T. Comparison of in vitro dissolution profiles by ANOVA-based, model-dependent and -independent methods // Int. J. Pharm. 2000. Vol. 209. Pp. 57–67. DOI: 10.1016/S0378-5173(00)00554-8.
29. Санданов Д.В. Ресурсная оценка ценопопуляций *Astragalus membranaceus* (Fabaceae) в Бурятии // Растительные ресурсы. 2011. Т. 47. №1. С. 40–46.
30. Ma X.Q., Shi Q., Duan J.A., Dong T.T.X., Tsim K.W.K. Chemical analysis of Radix Astragali (Huangqi) in China: a comparison with its adulterants and seasonal variations // J. Agric. Food Chem. 2002. Vol. 50. Pp. 4861–4866. DOI: 10.1021/jf0202279.
31. Zheng Y., Duan W., Sun J., Zhao C., Cheng Q., Li C., Peng G. Structural identification and conversion analysis of malonyl isoflavonoid glycosides in Astragali Radix by HPLC coupled with ESI-Q TOF/MS // Molecules. 2019. Vol. 24. P. 3929. DOI: 10.3390/molecules24213929.
32. Zhang X., Xiao H.B., Xue X.Y., Sun Y.G., Liang X.M. Simultaneous characterization of isoflavonoids and astragalosides in two *Astragalus* species by high-performance liquid chromatography coupled with atmospheric pressure chemical ionization tandem mass spectrometry // J. Sep. Sci. 2015. Vol. 39. Pp. 2068–2078. DOI: 10.1002/jssc.201500123.
33. Bratkov V.M., Shkondrov A.M., Zdraveva P.K., Krasteva I.N. Flavonoids from the genus *Astragalus*: Phytochemistry and biological activity // Phcog. Rev. 2016. Vol. 10. Pp. 11–32. DOI: 10.4103/0973-7847.176550.

Поступила в редакцию 1 июня 2022 г.

После переработки 7 июля 2022 г.

Принята к публикации 8 июля 2022 г.

Для цитирования: Шишмарева Т.М., Шишмарев В.М., Оленников Д.Н. Химический состав корней *Astragalus propinquus* (Leguminosae), произрастающего в Бурятии // Химия растительного сырья. 2022. №4. С. 197–208. DOI: 10.14258/jcprm.20220411443.

*Shishmareva T.M.**, *Shishmarev V.M.*, *Olennikov D.N.* CHEMICAL COMPOSITION OF ASTRAGALUS PROPINQUUS (LEGUMINOSAE) ROOTS ORIGINATED FROM BURYATIA

Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch, Russian Academy of Science, ul. Sakh 'yanovoy, 6, Ulan-Ude, 670047 (Russia), e-mail: shishmarevatm@mail.ru

Present work is aimed to the study of the chemical composition of *Astragalus propinquus* (Leguminosae) roots growing in the Buryatia Republic. The chemical study of *A. propinquus* showed that the content of phenolic compounds varied within 9.20–33.89 mg/g, triterpenes 9.69–36.55 mg/g, water-soluble polysaccharides 9.79–30.58 mg/g, free carbohydrates 63.37–252.54 mg/g, and free amino acids 25.79–149.37 mg/g. Chromatographic analysis of *A. propinquus* flavonoids revealed the presence of 18 compounds, including derivatives of odoratin, calycosin, formononetin, isomucronulatol, and astrapterocarpan in the form of aglycones, glycosides, and acyl glycosides, including, for the first time for the species, some calycosin glycosides. Study of the seasonal dynamics of the accumulation of the studied compounds groups showed that the plant material traditionally recommended for mass harvesting have the lowest content of almost all groups of components, except for polysaccharides (26.55 mg/g); in the budding phase, accumulation of free amino acids (78.66 mg/g) is observed, in the flowering phase free carbohydrates (263.91 mg/g), in the fruiting phase triterpenes (28.44 mg/g) and phenolic compounds (15.26 mg/g). The conducted studies have shown that the roots of *A. propinquus* from Eastern Siberia are characterized by a high content of bioactive compounds and can be used as a medicinal raw material.

Keywords: *Astragalus propinquus*, Leguminosae, phenolic compounds, triterpene compounds, water-soluble polysaccharides, free carbohydrates, free amino acids, flavonoids, accumulation dynamic.

* Corresponding author.

References

1. Anenkhonov O.A., Pykhalova T.D., Osipov K.I., Sekulich I.R., Badmayeva N.K., Namzalov B.B., Krivobokov L.V., Munkuyeva M.S., Sutkin A.V., Tubshinova D.Ya. *Opredelitel' rasteniy Buryatii*. [Key to plants of Buryatia]. Ulan-Ude, 2001, 672 p. (in Russ.).
2. Polozhiy V.A., Vydrina S.N., Nikiforova O.D. *Flora Sibiri. T. 9. Fabaceae (Leguminosae)*. [Flora of Siberia. Vol. 9. Fabaceae (Leguminosae)]. Novosibirsk, 1994, 280 p. (in Russ.).
3. *Rastitel'nyye resursy SSSR. Tsvetkovyye rasteniya, ikh khimicheskiy sostav, ispol'zovaniye. Semeystva Hydrangeaceae*. [Plant resources of the USSR. Flowering plants, their chemical composition, use. Families Hydrangeaceae]. Leningrad, 1987, 328 p. (in Russ.).
4. *Chzhud-shi: Kanon tibetskoy meditsiny* [Chud-shi: The Canon of Tibetan Medicine], transl. from tib., foreword, note, op. D.B. Dashiev. Moscow, 2001, 766 p. (in Russ.).
5. Grinevich M.A., Brekhman I.I. *Rastitel'nyye resursy*, 1970, vol. 6, no. 2, pp. 153–157. (in Russ.).
6. Kuo Y.H., Tsai W.J., Loke S.H., Wu T.S., Chiou W.F. *J. Ethnopharm.*, 2009, vol. 122, no. 1, pp. 28–34. DOI: 10.1016/j.jep.2008.11.025.
7. Sun Y., Yang J. *Acad. J. of the First Med. College of PLA*, 2004, vol. 24, pp. 57–58.
8. *Dikorastushchiye poleznyye rasteniya Rossii* [Wild useful plants of Russia], ed. A.L. Budantsev, Ye.Ye. Lestovskaya. St. Petersburg, 2001, 663 p. (in Russ.).
9. Zheng H., Dong Z., She J. *Modern study of traditional chinese medicine*. Beijing. Xue Yuan Press, 1997.
10. Shurygin A.Ya., Nikolayev S.M., Kravtsov A.A., Nemchinova Ye.A., Aseyeva T.A., Petrov Ye.V., Batsuren D., Tun-sag Zh. *Rastitel'nyye resursy*, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 273–277. (in Russ.).
11. Batotsyrenova E.T., Shantanova L.N., Tsyrenzhapova O.D.-D. *Byulleten' Vostochno-sibirskogo nauchnogo tsentra SO RAMN*, 2012, no. 4 (86), pp. 178–180. (in Russ.).
12. Batotsyrenova E.T., Baldandorzhiev M.V., Shantanova L.N., Gulyayev S.M. *Zdorov'ye i obrazovaniye v XXI veke*, 2011, vol. 13, no. 1, pp. 109–111. (in Russ.).
13. Batotsyrenova E.T., Shantanova L.N., Toropova A.A., Tsyrenzhapova O.D.-D., Alekseyeva E.A. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. SC, pp. 55–59. (in Russ.).
14. Batotsyrenova E.T., Toropova A.A., Tankhayeva L.M., Shantanova L.N., Alekseyeva E.A. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012, no. 12, pp. 15–18. (in Russ.).
15. Fu J., Wang Z., Huang L., Zheng S., Wang D., Chen S., Zhang H., Yang S. *Phytother. Res.*, 2014, vol. 28, pp. 1275–1283. DOI: 10.1002/ptr.5188.
16. Durazzo A., Nazhand A., Lucarini M. et al. *Rendiconti Lincei*, 2021, vol. 32, no. 3, pp. 625–642. DOI: 10.1007/s12210-021-01003-2.
17. Sidneva O.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2005, no. 4, pp. 81–84. (in Russ.).
18. Tanganova Ye.A. *Farmakognosticheskoye izucheniye i standartizatsiya travy Astragalus membranaceus (Fisch.) Bunge, proizrastayushchego v Buryatii: avtoref. diss. ... kand. farm. nauk*. [Pharmacognostic study and standardization of the herb *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge growing in Buryatia: author. diss. ... cand. farm. Sciences]. Ulan-Ude, 2009, 22 p. (in Russ.).
19. Turtuyeva T.A., Nikolayeva G.G., Gulyayev S.M., Zhalsanov Yu.V. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 12, pp. 75–77. (in Russ.).
20. Turtuyeva T.A., Nikolayeva G.G., Zhalsanov Yu.V., Gulyayev S.M., Taraskin V.V. *Voprosy obespecheniya kachestva lekarstvennykh sredstv*, 2013, no. 1, pp. 33–36. (in Russ.).
21. Zaugol'nova L.B., Denisova L.V., Nikitin S.V. *Byull. Mosk. obshch. ispyt. prirody, otdel biol.*, 1993, vol. 98, no. 5, pp. 100–108. (in Russ.).
22. *Tsenopopulyatsii rasteniy (ocherki populyatsionnoy biologii)*. [Cenopopulations of Plants (Essays on Population Biology)]. Moscow, 1988, 184 p. (in Russ.).
23. Olennikov D.N., Chemposov V.V., Chirikova N.K. *Plants*, 2021, vol. 10, p. 2525. DOI: 10.3390/plants10112525.
24. Pedrosa A.M., de Castro W.V., Castro A.H.F., Duarte-Almeida J.M. *DARU*, 2020, vol. 28, pp. 281–286. DOI: 10.1007/s40199-020-00342-z.
25. Olennikov D.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2006, no. 4, pp. 29–33. (in Russ.).
26. Zaia D.A.M., Barreto W.J., Santos N.J., Endo A.S. *Analytica Chimica Acta*, 1993, vol. 277, pp. 89–95. DOI: 10.1016/0003-2670(93)85093-y.
27. Azimova S.S., Vinogradova V.I. *Natural Compounds. Flavonoids: Plant Sources, Structure and Properties*. Springer – New York, Heidelberg, Dordrecht, London, 2013, 257 p.
28. Yuksel N., Kanik A.E., Baykara T. *Int. J. Pharm.*, 2000, vol. 209, pp. 57–67. DOI: 10.1016/S0378-5173(00)00554-8.
29. Sandanov D.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2011, vol. 47, no. 1, pp. 40–46. (in Russ.).
30. Ma X.Q., Shi Q., Duan J.A., Dong T.T.X., Tsim K.W.K. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, vol. 50, pp. 4861–4866. DOI: 10.1021/jf0202279.
31. Zheng Y., Duan W., Sun J., Zhao C., Cheng Q., Li C., Peng G. *Molecules*, 2019, vol. 24, p. 3929. DOI: 10.3390/molecules24213929.

32. Zhang X., Xiao H.B., Xue X.Y., Sun Y.G., Liang X.M. *J. Sep. Sci.*, 2015, vol. 39, pp. 2068–2078. DOI: 10.1002/jssc.201500123.
33. Bratkov V.M., Shkondrov A.M., Zdraveva P.K., Krasteva I.N. *Phcog. Rev.*, 2016, vol. 10, pp. 11–32. DOI: 10.4103/0973-7847.176550.

Received June 1, 2022

Revised July 7, 2022

Accepted July 8, 2022

For citing: Shishmareva T.M., Shishmarev V.M., Olennikov D.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 4, pp. 197–208. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220411443.