

УДК 582.736:577.13

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У ЭНДЕМИЧНЫХ ВИДОВ *ASTRAGALUS IONAE* PALIBIN И *A. PALIBINII* POLOZHII, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

© О.В. Коцупий*, Т.А. Шеметова

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская,
101, Новосибирск, 630090, Россия, olnevaster@gmail.com

В листьях растений эндемичных видов *Astragalus ionae* Palibin и *A. palibinii* Polozhij разных эколого-географических условий произрастания Республики Хакасия изучены особенности накопления гликозидов флавоноидов, гидроксibenзойных и гидроксикоричных кислот методом ВЭЖХ. Из 8 гликозидов флавоноидов листьев растений *A. ionae* определены лютеолин-7-глюкозид, рутин, кемпферол-3-О-β-рутинозид и 3 гликозида кверцетина. В листьях *A. palibinii* обнаружено 6 гликозидов флавоноидов, идентифицированы лютеолин-7-глюкозид, рутин, кемпферол-3-О-β-рутинозид и изорамнетин-3-О-β-рутинозид. По составу гидроксibenзойных и гидроксикоричных кислот у растений изученных таксонов отличий не найдено. В листьях *A. ionae* и *A. palibinii* идентифицированы галловая, *n*-оксibenзойная, неохлорогеновая, хлорогеновая, кофейная, *n*-кумаровая и феруловая кислоты. Различия этих видов по содержанию фенольных соединений наиболее выражено в том, что растения *A. ionae* накапливают больше лютеолин-7-глюкозида, суммы гликозидов флавоноидов и гидроксibenзойных кислот. Содержание фенольных соединений у растений разных ценопопуляций находится под влиянием эколого-ценотических факторов. В более свойственных этим видам засушливых ксерофитных и петрофитных сообществах накапливается больше кофейной кислоты и рутина, а также суммы гидроксикоричных кислот.

Ключевые слова: фенольные соединения, редкие виды, эндемики, *Astragalus ionae* Palibin, *A. palibinii* Polozhij, Хакасия.

Для цитирования: Коцупий О.В., Шеметова Т.А. Особенности накопления фенольных соединений у эндемичных видов *Astragalus ionae* Palibin и *A. palibinii* Polozhij, произрастающих на территории Республики Хакасия // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 216–225. DOI: 10.14258/jcprm.20240212441.

Введение

Astragalus ionae Palibin и *A. palibinii* Polozhij (секция *Dissitiflora* DC.) – южно-сибирские эндемики, основная часть ареала которых охватывает степные участки Хакасии. Северная граница распространения проходит по степным и лесостепным районам юга Красноярского края (рис. 1). Морфологически эти два вида хорошо отличимы. *A. ionae* – многолетнее травянистое растение, бесстебельное или с укороченным (до 1.5 см) стеблем, и толстым каудексом. Листочки в числе 5–7 пар, до 10 мм длиной, 1–3 мм шириной, острые, прижато волосистые. Цветки в числе 2–5, в коротких зонтиковидных кистях. Венчик беловатый или светло-желтый, с фиолетовой окраской верхушки лодочки. *A. palibinii* – поликарпический полукустарничек 4–15 см высотой. Листочки в числе 5–7-пар, узколинейные, 4–10 мм длиной и 1–2 (3) мм шириной, часто с завернутыми краями. Кисти зонтиковидные, 2–7-цветковые. Венчик бело-розовый или белый [1, 2].

A. ionae и *A. palibinii* произрастают на петрофитных вариантах настоящих и луговых степей, которые, как правило, приурочены к каменистым склонам южных экспозиций, развивающимся на высотах 300–400 м над ур. м. Своеобразие условий этих местообитаний проявляется в разреженности травостоя и отсутствии яркости [3]. Исследуемые виды предпочитают сообщества с доминирующей ролью узколистных дерновинных злаков с примесью степного и лугово-степного разнотравья.

* Автор, с которым следует вести переписку.

О составе фенольных соединений (ФС) растений секции *Dissitiflori* DC. в литературных источниках мало сведений. Н.Н. Гужва с соавторами [4] приводят данные о флавоноидах *A. varius* S.G. Gmelin, произрастающего в Европейской части России. Обнаружены кемпферол, кверцетин, нарциссин, популин, изокверцитрин, астрагалин, 3-О-β-D-глюкопиранозид изорамнетина. Есть сведения о содержании флавоноидов в надземных органах *A. suffruticosus* DC и *A. ionae* (3.12 и 2.34%, соответственно) [5]. Выявлены особенности динамики накопления лютеолин-7-глюкозида, рутина и дигидрокверцетина в надземной части *A. angarensis* L. в зависимости от возрастного состояния растений и фитоценологических условий на территории Центральной Якутии [6]. В листьях растений сибирских видов секции *Dissitiflori* – *A. ionae*, *A. lenensis* Shemetova, Schaulo et Lomon, *A. macroceras* C.A. Meyer, *A. palibinii*, *A. stenoceras* C.A. Meyer. изучали содержание отдельных флавоноидов и их суммы. Обнаружено 9 компонентов, из них идентифицированы изокверцитрин, рутин и астрагалин. Содержание суммы гликозидов флавоноидов у *A. ionae*, *A. lenensis* и *A. palibinii* варьировало в пределах 0.26–0.70% [7]. В листьях растений *A. palibinii* методом ВЭЖХ проведено качественное и количественное сравнение флавоноидных профилей, профилей гидроксикоричных и гидроксibenзойных кислот растений трех ценопопуляций Республики Хакасия. Количественные профили всех изученных групп ФС характеризовались значительной вариабельностью в содержании отдельных компонентов. Суммарное содержание гидроксibenзойных кислот составило 32.5–83.9 мг/100г, гидроксикоричных кислот – 98.5–109.7 мг/100г, флавоноидов – 442.0–907.7 мг/100г [8].

Одним из этапов биохимической дифференциации таксонов является изучение внутривидовой изменчивости состава и содержания низкомолекулярных соединений растений из ценопопуляций с разными условиями произрастания. Состав ФС астрагалов часто видоспецифичен, а содержание варьирует в пределах видоспецифичного фенольного профиля [9–11]. Необходимо учитывать и изменение содержания фенольных соединений в зависимости от факторов окружающей среды, таких как влагообеспеченность, температурные условия и освещенность, а также фитоценологическая нагрузка в ЦП [12–14].

Цель работы – определение особенностей накопления фенольных соединений (гликозидов флавоноидов, гидроксикоричных и гидроксibenзойных кислот) эндемичных видов *A. ionae* и *A. palibinii* из разных ценопопуляций Республики Хакасия.

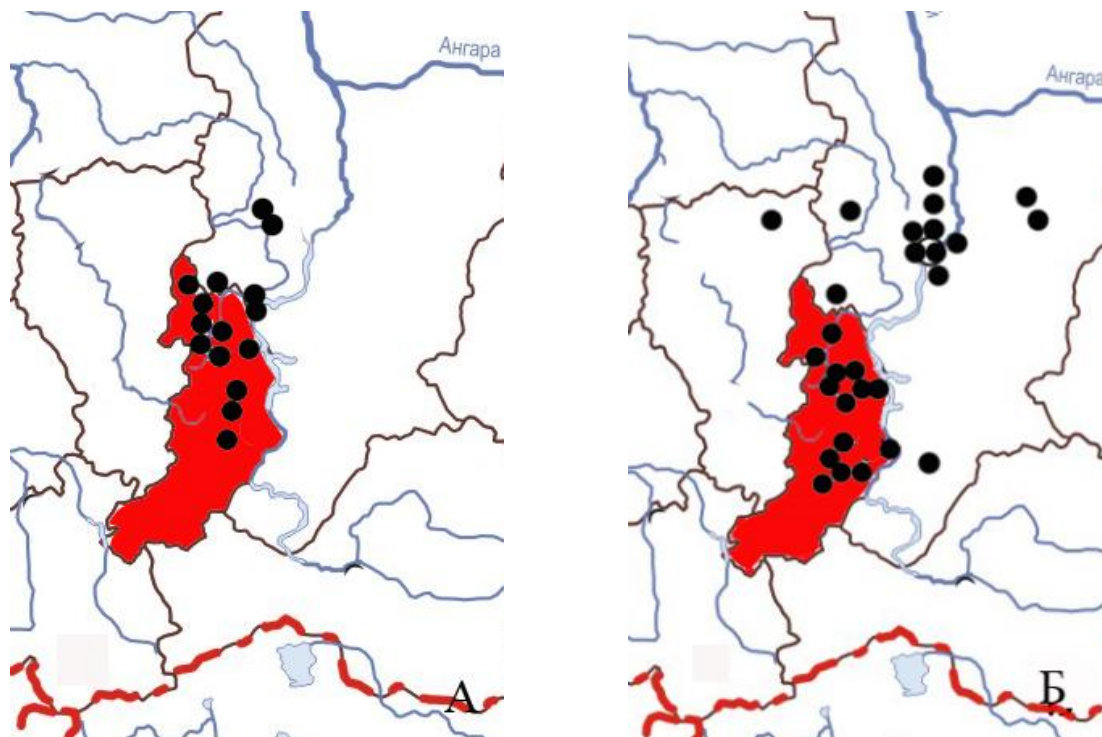


Рис. 1. Распространение *A. ionae* (А) и *A. palibinii* (Б) на территории России. Красным цветом выделена территория Республики Хакасия

Экспериментальная часть

Исследование проводили на материале, собранном в фазы массового цветения – начала плодоношения на территории Республики Хакасия (табл. 1). В каждой из шести ценопопуляций (ЦП) отбирали среднюю пробу, собирая листья с 7–10 особей (N=7–10).

A. ionae тяготеет к степным ландшафтам Хакасии, предпочитая разнотравно-злаковую каменистую степь [15]. Доминантами и содоминантами в таких сообществах выступают *Stipa pennata* L., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC., *Galium verum* L., *Phlomoidea tuberosa* (L.) Moench. Вид предпочитает наиболее открытые и сухие места. Обитает на слабо задернованной почве крутых каменистых склонов. *A. palibinii* встречается в петрофитных вариантах луговых степей, характеризующихся большим числом видов и выраженной ярусностью [3]. Эдификаторами такого типа степей в Хакасии выступают дерновинные злаки – *Helictotrichon desertorum*, *Festuca valesiaca*, а также *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt., *Hedysarum gmelinii* Ledeb., с вкраплениями *Caragana arborescens* Lam. (рис. 2).

Для извлечения суммы фенольных соединений точную навеску измельченного воздушно-сухого материала исчерпывающе экстрагировали 70% этанолом при нагревании на водяной бане. Элюаты фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм. Для проведения кислотного гидролиза к водно-этанольному извлечению, в соотношении 1 : 1, прибавляли 2 Н НСl и нагревали на кипящей водяной бане в течение 2 ч. После охлаждения разбавленный гидролизат пропускали через концентрирующий патрон, агликаны смывали 96% этанолом.

Таблица 1. Места, даты сбора и коды изученных образцов *A. ionae* и *A. palibinii*, произрастающих на территории Республики Хакасия

Коды	Места и даты сбора
<i>A. ionae</i>	
BoV	Богградский р-н. Залив Черная речка. Отроги горы Варча. Полынно-ковыльная задернованная степь. 54°47'31", 90°48'5". Шеметова Т.А. 13.07.2016
BoK	Богградский район, окр. д. Карасуг, северо-западный склон сопки. Каменистая степь. 54°18', 90°36', h – 447. Мякшина Т.А. 07.07.12
SchA	Ширинский р-н. Западный склон сопки около оз. Аврас. Остепненный луг. 54°32.373', 089°45.714', h – 527. Шеметова Т.А. 07.07.2016
<i>A. palibinii</i>	
BeT	Бейский р-н, окр. пос. Табат, южный склон холма, разнотравно-злаковая степь. 52°58', 90°44', h – 309. Шауло Д.Н., Эрст А.А., Мякшина Т.А. 30.06.2010
UAP	Усть-Абаканский р-н, Подкунинские горы, северо-западный склон, задернованная степь. 53°54.186', 091°24.388, h – 287. Шеметова Т. А. 09.07.2016
UAM	Усть-Абаканский р-н, берег Красноярского вдхр. в окр. д. Мохов, полынно-ковыльная степь с высокой антропогенной нагрузкой. 53°55'59", 91°24'45", h – 250. Шеметова Т.А. 13.07.2016



Рис. 2. *Astragalus ionae* Palibin (А) и *A. palibinii* Polozhij (Б)

Анализ компонентов проводили на жидкостном хроматографе «Agilent 1200» с диодноматричным детектором (Agilent Technologies, USA) и системой для сбора и обработки хроматографических данных ChemStation. Вещества разделяли на колонке Zorbax SB-C18, размером 4.6×150 мм, с диаметром частиц 5 мкм, применив градиентный режим элюирования. Для анализа водно-спиртовых экстрактов использовали систему, где в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0.1%) изменялось от 22 до 70% за 30 мин, далее до 100% к 32 мин. Для анализа гидролизованных экстрактов, с целью определения агликоновой части гликозидов флавоноидов, использовали систему, где в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0.1%) изменялось от 50 до 52% за 15 мин. Скорость потока элюента – 1 мл/мин. Температура колонки 25 °С. Объем вводимой пробы 10 мкл. Детектирование осуществляли на аналитических волнах $\lambda=255, 270, 290, 325, 340, 350, 360, 370$ нм. Для приготовления подвижных фаз использовали метиловый спирт (ос.ч.), ортофосфорную кислоту (ос.ч.), бидистиллированную воду. Стандартные вещества галловой, *n*-гидроксibenзойной, неохлорогеновой, хлорогеновой, кофейной, *n*-кумаровой, феруловой кислот, лютеолин-7-глюкозида, рутина, кемпферол-3-О- β -рутинозида, изорамнетин-3-О- β -рутинозида («Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA») использовали для построения калибровочных кривых в диапазоне концентраций 10–100 мкг/мл. Содержание гидроксibenзойных и гидроксикоричных кислот определяли в эквивалентах галловой и хлорогеновой кислот, соответственно; содержание гликозидов флавоноидов определяли в эквивалентах рутина. Содержание ФС выражали в мг в 100 г абсолютно сухой массы. Каждую пробу анализировали в 3-кратной повторности.

Статистическая оценка результатов производилась с помощью программного обеспечения MS Office Excel и Statistica 10.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA). Значимые различия были определены с помощью однофакторного анализа ANOVA с последующим многограновым тестом Дункана при величине $P \leq 0.05$. Для выявления влияния состава и содержания ФС на внутри- и межвидовые различия *A. ionae* и *A. palibinii* был проведен метод главных компонент (МГК).

Обсуждение результатов

Состав фенольных соединений. В составе полифенольного комплекса изучаемых видов обнаружены гидроксibenзойные и гидроксикоричные кислоты, гликозиды флавонолов и флавонов (табл. 2). Группу гидроксibenзойных кислот составляют галловая и *n*-гидроксibenзойная кислоты. Среди 8 гидроксикоричных кислот идентифицированы неохлорогеновая, хлорогеновая, кофейная, *n*-кумаровая и феруловая кислоты. В составе кислот *A. ionae* и *A. palibinii* не обнаружено отличий. Анализ гликозидов флавоноидов выявил существенные различия между изучаемыми видами. Так, у *A. ionae* обнаружены 3 неидентифицированных гликозида кверцетина, отсутствующие у *A. palibinii*. У *A. palibinii* идентифицирован изорамнетин-3-О- β -рутинозид, который не обнаружен у *A. ionae*. В обоих видах идентифицированы лютеолин-7-глюкозид, рутин и кемпферол-3-О- β -рутинозид.

Содержание фенольных соединений. Различия в содержании ФС обнаружены как между *A. ionae* и *A. palibinii*, так и на внутривидовом уровне, в ЦП изученных видов (табл. 2).

На межвидовом уровне, сравнивая более свойственные видам местообитания (ЦП ВоV и UAP, 2016 г. сбора), у растений *A. ionae* по сравнению с растениями *A. palibinii* отмечали повышенное содержание гликозидов флавоноидов (более чем в 2 раза) и небольшое повышение содержания в группе гидроксibenзойных кислот.

Все изученные ЦП *A. ionae* и *A. palibinii* различались по видовому составу, а также имели различные эколого-фитоценологические условия произрастания. На внутривидовом уровне было выявлено, что и у *A. ionae* и у *A. palibinii* концентрация всех трех групп веществ (гидроксibenзойные и гидроксикоричные кислоты, гликозиды флавоноидов) была ниже в более увлажненном сообществе (луг), ЦП SchA, или в нарушенных местообитаниях (ЦП UAM). Так, в растениях *A. ionae* ЦП SchA, произрастающих на остепненном лугу с разреженным травостоем, содержание гидроксibenзойных кислот и гликозидов флавоноидов почти в 2 раза ниже, чем у особей, растущих в задернованной степи (ЦП ВоV) или каменистом склоне северной экспозиции (ЦП ВоК). Год сбора материала не оказал существенного влияния на изменение содержания ФС. Ранее было показано, что содержание флавоноидов изменяется в ряду различных местообитаний, на накопление флавоноидных соединений влияние оказывают такие факторы, как степень освещенности и обеспеченности элементами минерального питания, фитоценологическое окружение [12], климатические и погодные условия [16, 17]. Значительная пластичность фенольных соединений, которая проявляется в изменчивости содержания компонентов и их соотношения в зависимости от условий произрастания, составляет основу экологической устойчивости природных популяций в процессе эволюции и вписывается в общий механизм

приспособления к условиям обитания [18]. О приспособительном, или адаптогенном значении различных групп фенольных соединений указывается в работах многих авторов [13, 14, 19, 20].

Таким образом, ФС способствуют адаптации растений изученных видов астрагала к неблагоприятным условиям внешней среды. Более засушливые местообитания *A. ionae* Богградского района в ЦП с большой видовой конкуренцией вызывают адаптивные процессы, способствуя накоплению большего количества ФС.

Таблица 2. Спектральные характеристики и содержание фенольных соединений в листьях *A. ionae* и *A. palibinii* из разных ценопопуляций, мг/100г а.с.м.

№	t _r , мин	Вещество	λ _{max} , nm	<i>A. ionae</i>			<i>A. palibinii</i>		
				BoV	BoK	SchA	BeT	UAP	UAM
Гидроксibenзойные кислоты									
1	2.4	Галловая кислота	216, 272	31.1±0.6 ^e	22.4±0.5 ^d	13.4±0.5 ^a	20.7±0.5 ^c	12.9±0.4 ^a	17.9±0.7 ^b
2	7.8	<i>n</i> -гидроксibenзойная кислота	254	25.1±0.6 ^e	38.5±1.1 ^f	12.5±0.4 ^b	14.5±0.4 ^c	23.1±0.6 ^d	9.1±0.6 ^a
Сумма				56.1±1.2 ^c	60.9±1.6 ^d	25.9±0.8 ^a	35.3±0.9 ^b	36.0±1.1 ^b	27.0±1.4 ^a
Гидроксикоричные кислоты									
3	4.7	Неохлорогеновая кислота	240, 296 пл, 325	2.3±0.1 ^a	9.1±0.6 ^c	—	10.9±0.6 ^d	10.0±0.8 ^{cd}	4.0±0.3 ^b
4	5.2	Гидроксикоричная кислота	220, 325	26.2±0.7 ^e	22.9±0.6 ^d	16.8±0.6 ^c	4.1±0.3 ^a	4.6±0.3 ^a	10.1±0.7 ^b
5	5.8	Гидроксикоричная кислота	220, 325	15.7±0.5 ^d	13.1±0.8 ^c	14.7±0.5 ^d	21.1±0.8 ^e	6.3±0.3 ^b	4.7±0.2 ^a
6	7.3	Хлорогеновая кислота	217, 242, 297 пл, 327	32.9±0.8 ^e	27.7±0.5 ^c	23.1±0.8 ^b	30.1±0.8 ^d	18.0±0.7 ^a	21.4±0.7 ^b
7	8.6	Кофейная кислота	218, 240, 298 пл, 324	6.8±0.3 ^e	5.8±0.3 ^d	3.2±0.1 ^b	8.3±0.3 ^f	4.7±0.2 ^c	2.3±0.1 ^a
8	9.1	Гидроксикоричная кислота	222, 317	6.9±0.4 ^b	3.8±0.1 ^a	3.6±0.2 ^a	20.4±0.8 ^d	12.6±0.5 ^c	7.1±0.3 ^b
9	10.1	<i>n</i> -кумаровая кислота	226, 310	20.9±0.6 ^d	6.3±0.2 ^a	9.3±0.3 ^b	12.4±0.7 ^c	32.8±0.6 ^e	21.7±0.5 ^d
10	13.3	Феруловая кислота	218, 236, 295 п, 320	12.9±0.8 ^d	11.6±0.5 ^c	8.2±0.1 ^b	7.2±0.5 ^b	7.4±0.4 ^b	3.1±0.2 ^a
Сумма				124.6±2.6 ^d	100.4±3.6 ^b	79.0±2.6 ^a	114.5±1.8 ^c	96.4±1.9 ^b	74.3±1.6 ^a
Гликозиды флавонолов и флавонов									
11	11.9	Гликозид кверцетина	255, 270 пл, 355	685.9±54.2 ^b	642.4±30.3 ^b	306.3±18.8 ^a	—	—	—
12	13.6	Гликозид кверцетина	253, 270 пл, 355	69.3±3.1 ^b	91.0±2.8 ^c	46.2±0.9 ^a	—	—	—
13	14	Гликозид кверцетина	255, 268 пл, 358	61.4±2.2 ^b	60.6±1.4 ^b	30.5±0.9 ^a	—	—	—
14	14.7	Гликозид флавоноида	255, 270 пл, 357	37.3±0.8 ^c	28.7±1.2 ^b	23.9±0.6 ^a	37.7±1.3 ^c	63.8±2.7 ^d	39.5±1.1 ^c
15	15.2	Гликозид флавоноида	255, 270 пл, 355	38.3±0.9 ^c	37.6±1.9 ^c	16.2±0.9 ^a	25.5±0.8 ^b	96.0±3.6 ^e	44.9±2.8 ^d
16	16.4	Лютеолин-7-глюкозид	255, 268 пл, 350, 258, 268	307.6±19.7 ^d	391.6±29.3 ^c	193.4±11.6 ^c	78.8±2.7 ^a	126.3±4.9 ^b	62.2±1.6 ^a
17	16.9	Рутин	пл, 295 пл, 360	30.0±0.8 ^b	37.6±1.9 ^c	12.3±0.5 ^a	54.7±3.4 ^e	49.5±1.1 ^d	26.9±1.3 ^b
18	19.3	Кемпферол-3-рутинозид	265, 356	25.1±0.8 ^c	31.6±1.1 ^d	34.2±0.9 ^c	10.2±0.6 ^a	24.6±0.9 ^c	17.2±0.9 ^b
19	19.6	Изорамнетин-3-рутинозид	255, 270 пл, 355	—	—	—	145.5±9.7 ^c	89.7±4.9 ^b	56.9±2.1 ^a
Сумма				1254.9±82.4 ^d	1321.2±69.9 ^d	663.0±35.3 ^c	352.3±18.4 ^{ab}	449.8±18.1 ^b	247.7±9.7 ^a

Примечание. t_r – время удерживания, мин; пл – плечо; средние значения в строках, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют значимого отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана при p≤0.05.

ЦП *A. palibinii*, входящая в состав полынно-ковыльной степи в окрестностях д. Мохов (UAM) испытывает значительную антропогенную нагрузку (зона отдыха), по сравнению с ЦП UAP *A. palibinii* того же года сбора (2016), кроме этого, по участку проходит грунтовая дорога. Накопление гидроксibenзойных кислот и гликозидов флавоноидов в растениях данной ЦП в 1.3 и 1.8 раз ниже, соответственно, чем в растениях ЦП UAP. Здесь влияние антропогенных факторов привело к изреживанию травяного покрова мелкодерновинных злаков, что в свою очередь привело к благоприятным условиям произрастания растений *A. palibinii* и отсутствия необходимости накапливать в них большое количество ФС.

Метод главных компонент. Для визуализации того, насколько состав и содержание проанализированных индивидуальных ФС и их групп влияет на внутри- и межвидовую изменчивость *A. ionae* и *A. palibinii*, был применен метод главных компонент (МГК) (рис. 3). Признаками выступили содержание всех индивидуальных компонентов (19), а также суммы веществ по группам – гидроксibenзойных и гидроксикоричных кислот и гликозидов флавоноидов (3), итого 22 признака. Наиболее значимыми оказались первые три фактора. Первый фактор описывает 50.8% факторной нагрузки, второй – 25.0%, третий – 14.9% (табл. 3).

На фактор 1, по которому *A. ionae* с положительными значениями векторов дискриминируется от *A. palibinii* с отрицательными значениями, оказывают наибольшее влияние, положительно коррелируя три гликозида кверцетина (№11–13), лютеолин-7-гликозид, сумма гликозидов флавоноидов, а также сумма гидроксibenзойных кислот, содержание компонента №4 гидроксикоричных кислот и феруловой кислоты.

Фактор 2, по которому две ЦП с измененными условиями произрастания (SchA и UAM) отделены от остальных ЦП на диаграмме зоной с положительными значениями векторов больше 2х, имеет отрицательную корреляцию с содержанием кофейной кислоты и суммы гидроксикоричных кислот, а также рутина. Изменение содержания рутина, а также лютеолин-7-гликозида и дигидрокверцетина было ранее показано при антропогенных нагрузках на ЦП астрагала ангарского [6]. В исследованных нами ЦП астрагалов наиболее значимым фактором повышения содержания ФС является условие низкой влагообеспеченности, что было показано ранее в ряде работ [17, 21, 22].

В Фактор 3 наибольший вклад несет содержание гликозида флавоноида 15 (положительная корреляция). Этот компонент определяет различие трех ЦП *A. palibinii*.

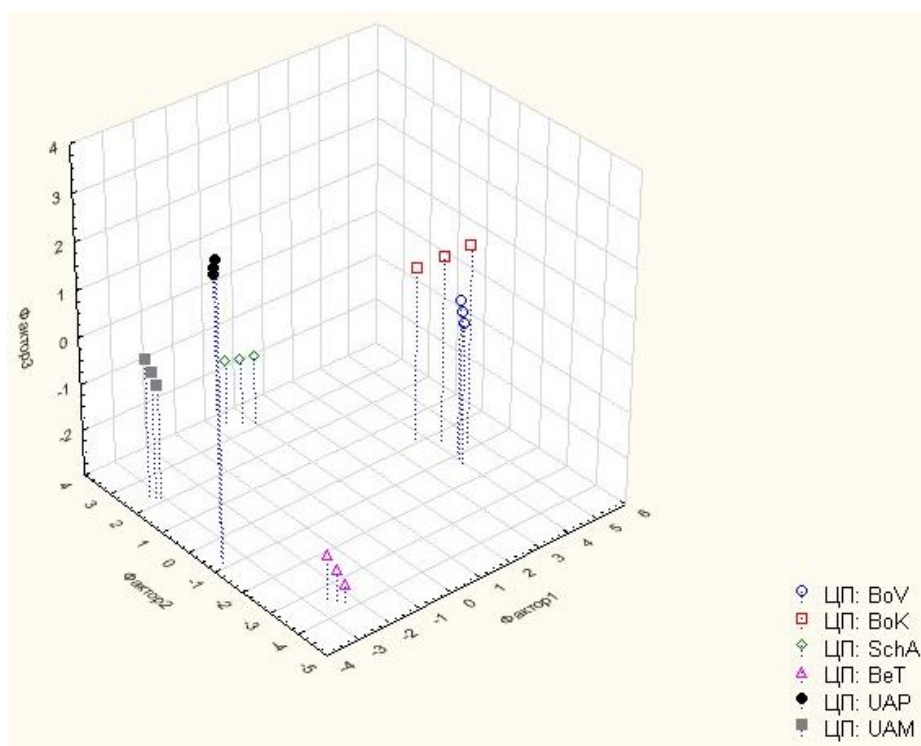


Рис. 3. Метод главных компонент (МГК), представляющий накопление фенольных соединений *A. ionae* и *A. palibinii*. Обозначения ценопопуляций приведены в таблице 1

Таблица 3. Факторные координаты переменных на основе корреляций

Переменные	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
1	0.668670	-0.458991	-0.114099
2	0.686163	-0.321342	0.545024
Сумма гидроксибензойных кислот	0.803006	-0.438799	0.342768
3	-0.305067	-0.731228	0.303710
4	0.950924	0.213725	0.030449
5	0.396478	-0.533494	-0.655988
6	0.654616	-0.540678	-0.452495
7	0.289392	-0.924816	-0.183925
8	-0.593191	-0.769250	-0.201462
9	-0.537771	-0.086029	0.633233
10	0.873385	-0.311634	0.171913
Сумма гидроксикоричных кислот	0.421434	-0.843573	0.004619
11	0.989714	0.018958	0.095908
12	0.981105	0.103433	0.082877
13	0.993733	0.044473	0.085395
14	-0.588388	-0.326884	0.693419
15	-0.418224	-0.146360	0.888798
16	0.948001	-0.021227	0.261690
17	-0.342953	-0.864789	0.260528
18	0.603851	0.573602	0.334040
19	-0.779073	-0.592766	-0.141640
Сумма гликозидов флавоноидов	0.966381	-0.094128	0.224613

Примечание: 1–19 индивидуальные компоненты фенольных соединений (см. табл. 2).

Выводы

Состав гидроксибензойных и гидроксикоричных кислот у растений эндемичных видов *A. ionae* и *A. palibinii* разных ЦП Республики Хакасия не отличался. В группе флавоноидов в обоих видах выявлены общие компоненты – лютеолин-7-глюкозид, рутин, кемпферол-3-О-β-рутинозид и 2 неидентифицированных гликозида. Кроме этого, в листьях *A. ionae* присутствуют 3 гликозида кверцетина, в листьях *A. palibinii* идентифицирован изорамнетин-3-О-β-рутинозид.

Методом главных компонент было установлено, что по содержанию ФС наибольшее влияние на различие видов между собой оказывают суммарное содержание гликозидов флавоноидов и гидроксибензойных кислот, а также индивидуальные компоненты: лютеолин-7-глюкозид и кислоты – гидроксикоричная №4 и феруловая.

Содержание ФС в изученных ЦП находится под влиянием разных условий произрастания, степени увлажнения. В более свойственных видам засушливых ксерофитных и петрофитных сообществах накапливается достоверно больше кофейной кислоты и рутина, а также суммы гидроксикоричных кислот.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственных заданий ЦСБС СО РАН № АААА-А21-121011290024-5 и № АААА-А21-121011290025-2.

Доступность материалов

При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН УНУ № USU 440537 (NS, NSK).

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Выдрин С.Н. *Astragalus* L. – Астрагал // Флора Сибири. Новосибирск, 1994. Т. 9. С. 20–74.

2. Красная книга Красноярского края. В 2 т. Т. 2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений и грибов: 2- изд., перераб. и доп. / отв. ред. Н.В. Степанов. Красноярск, 2012. 576 с.
3. Куминова А.В. Основные черты и закономерности растительного покрова // Растительный покров Хакасии. Новосибирск, 1976. С. 40–94.
4. Гужва Н.Н., Лукьянчиков М.С., Казаков А.Л. Флавоноиды *Astragalus virgatus* // Химия природных соединений. 1987. №6. С. 911–912.
5. Киселева А.В., Волхонская Т.А., Киселев В.Е. Биологически активные вещества лекарственных растений Южной Сибири. Новосибирск, 1991. 136 с.
6. Воронов И.В., Данилова Н.С., Поскачина Е.Р., Семенова В.В. Содержание лютеолин-7-глюкозида, рутина и дигидрокверцетина в надземной части *Astragalus angarensis* (Fabaceae) в центральной Якутии // Растительные ресурсы. 2017. Т. 53, №3. С. 425–434.
7. Коцупий О.В., Шеметова Т.А., Петрук А.А. Флавонолгликозиды некоторых сибирских видов секции рода *Xiphidium* Bunge рода *Astragalus* L. // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 67–72. DOI: 10.14258/jcprm.2019024263
8. Kotsupiy O.V., Shemetova T.A. Phenolic profile of the endemic species *Astragalus palibinii* Polozhij // Northern Asia plant diversity: current trends in research and conservation. BIO Web of Conferences. 2021. Vol. 38. Article 00063. DOI: 10.1051/bioconf/20213800063.
9. Сиднева О.В. Биохимическая специфичность сибирских видов секции *Cenantrum* Koch рода *Astragalus* L. (Fabaceae) // Turczaninowia. 2005. Т. 8, №4. С. 73–82.
10. Коцупий О.В., Храмова Е.П., Высочина Г.И. Сравнительно-морфологическое и хемотаксономическое изучение видов секции *Onobrychium* рода *Astragalus* (Fabaceae) // Растительный мир Азиатской России. 2012. №1. С. 33–38.
11. Коцупий О.В., Степанцова Н.В., Высочина Г.И., Петрук А.А. Фенольные соединения *Astragalus rytyensis* Stepanцова и других видов рода *Astragalus* L. из мест совместного произрастания на северо-западном побережье озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. №24. С. 3–15. DOI: 10.26516/2073-3372.2018.24.3.
12. Ломбоева С.С., Танхаева Л.М., Оленников Д.Н. Динамика накопления флавоноидов в надземной части ортлии однобокой (*Orthilia secunda* (L.) House) // Химия растительного сырья. 2008. №3. С. 83–88.
13. Карпова Е.А., Фершалова Т.Д., Петрук А.А. Флавоноиды при адаптации *Begonia grandis* Dryander subsp. *grandis*, интродуцированной в Западной Сибири (Новосибирск) // Журнал стресс-физиологии и биохимии. 2016. Т. 12, №3. С. 44–56.
14. Храмова Е.П. Влияние абиотических факторов среды на накопление фенольных метаболитов *Dasiphora fruticosa* // Сибирский экологический журнал. 2022. №5. С. 580–594. DOI: 10.15372/SEJ20220508.
15. Красная книга Республики Хакасия: Редкие и исчезающие виды растений и грибов: 2-е изд., перераб. и доп. / отв. ред. Е.С. Анкипович. Новосибирск, 2012. 288 с.
16. Кузьмичева Н.А. Влияние некоторых климатических факторов на количественную изменчивость флавоноидов в листьях ивы остролистной // Вестник фармации. 2001. №1–2. С. 62–69.
17. Боярских И.Г., Васильев В.Г., Кукушкина Т.А. Содержание биологически активных полифенолов *Lonicera caerulea* subsp. *pallasii* в природе и культуре // Химия растительного сырья. 2018. №2. С. 89–96. DOI: 10.14258/jcprm.2018023452.
18. Полякова Л.В. Флавоноиды в природных и интродукционных популяциях представителей сем. бобовых Сибири: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск, 1993. 32 с.
19. Минаева В.Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование. Новосибирск, 1978. 255 с.
20. Kulbat K. The role of phenolic compounds in plant resistance // Biotechnology and Food Science. 2016. Vol. 80. Pp. 97–108.
21. Каракулов А.В., Карпова Е.А., Васильев В.Г. Эколого-географическая изменчивость морфометрических показателей и состава флавоноидов *Rhododendron parvifolium* // Turczaninowia. 2018. Т. 21, №2. С. 133–144. DOI: 10.14258/turczaninowia.21.2.14.
22. Morreeuw Z.P., Castillo-Quiroz D., Ríos-González L.J., Martínez-Rincón R., Estrada N., Melchor-Martínez E.M., Iqbal H.M.N., Parra-Saldívar R., Reyes A.G. High throughput profiling of flavonoid abundance in *Agave lechuguilla* residue valorizing under explored Mexican plant // Plants. 2021. Vol. 10, no. 4. Article 695. DOI: 10.3390/plants10040695.

Поступила в редакцию 29 декабря 2022 г.

После переработки 21 февраля 2023 г.

Принята к публикации 9 октября 2023 г.

*Kotsupii O.V.**, *Shemetova T.A.* FEATURES OF ACCUMULATION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN ENDEMIC SPECIES *ASTRAGALUS IONAE* PALIBIN AND *A. PALIBINII* POLOZHII GROWING ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF KHAKASIA

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Zolotodolinskaya st., 101, Novosibirsk, 630090, Russia, olnevaster@gmail.com

The features of the accumulation of flavonoid glycosides and hydroxybenzoic and hydroxycinnamic acids have been studied in the leaves of endemic *Astragalus ionae* Palibin and *A. palibinii* Polozhij of different ecological and geographical growing conditions of the Republic of Khakasia by HPLC method. Luteolin-7-glucoside, rutin, kaempferol-3-O- β -rutinoside, and 3 quercetin glycosides were identified from 8 glycosides of flavonoids from the leaves of *A. ionae* plants. Six flavonoid glycosides were found in the leaves of *A. palibinii*, luteolin-7-glucoside, rutin, kaempferol-3-O- β -rutinoside, and isorhamnetin-3-O- β -rutinoside were identified. No differences were found in the composition of hydroxybenzoic and hydroxycinnamic acids in plants of the studied taxa. Gallic, *p*-hydroxybenzoic, neochlorogenic, chlorogenic, caffeic, *p*-coumaric, and ferulic acids were identified in the leaves of *A. ionae* and *A. palibinii*. The differences between these species in terms of the content of phenolic compounds are most pronounced in the fact that *A. ionae* plants accumulate more luteolin-7-glucoside, the sum of flavonoid glycosides, and hydroxybenzoic acids. The content of phenolic compounds in plants of different coenopopulations is influenced by ecological and coenotic factors. In arid xerophytic and petrophytic communities more characteristic of these species, more caffeic acid and rutin accumulate, as well as the amount of hydroxycinnamic acids.

Keywords: phenolic compounds, rare species, endemics, *Astragalus ionae* Palib, *A. palibinii* Polozhij, Khakasia.

For citing: Kotsupii O.V., Shemetova T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 216–225. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240212441.

References

1. Vydrina S.N. *Flora Sibiri*. [Flora of Siberia]. Novosibirsk, 1994, vol. 9, pp. 20–74. (in Russ.).
2. *Krasnaya kniga Krasnoyarskogo kraya. V 2 t. T. 2: Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy dikorastushchikh rasteniy i gribov*. [Red Book of the Krasnoyarsk Territory. In 2 vols. Vol. 2: Rare and endangered species of wild plants and mushrooms], ed. N.V. Stepanov. Krasnoyarsk, 2012, 576 p. (in Russ.).
3. Kuminova A.V. *Rastitel'nyy pokrov Khakasii*. [Plant cover of Khakassia]. Novosibirsk, 1976, pp. 40–94. (in Russ.).
4. Guzhva N.N., Luk'yanchikov M.S., Kazakov A.L. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1987, no. 6, pp. 911–912. (in Russ.).
5. Kiseleva A.V., Volkhonskaya T.A., Kiselev V.Ye. *Biologicheski aktivnyye veshchestva lekarstvennykh rasteniy Yuzhnoy Sibiri*. [Biologically active substances of medicinal plants of Southern Siberia]. Novosibirsk, 1991, 136 p. (in Russ.).
6. Voronov I.V., Danilova N.S., Poskachina Ye.R., Semenova V.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2017, vol. 53, no. 3, pp. 425–434. (in Russ.).
7. Kotsupiy O.V., Shemetova T.A., Petruk A.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 67–72. DOI: 10.14258/jcprm.2019024263. (in Russ.).
8. Kotsupiy O.V., Shemetova T.A. *Northern Asia plant diversity: current trends in research and conservation. BIO Web of Conferences*, 2021, vol. 38, article 00063. DOI: 10.1051/bioconf/20213800063.
9. Sidneva O.V. *Turczaninowia*, 2005, vol. 8, no. 4, pp. 73–82. (in Russ.).
10. Kotsupiy O.V., Khranova Ye.P., Vysochina G.I. *Rastitel'nyy mir Aziatskoy Rossii*, 2012, no. 1, pp. 33–38. (in Russ.).
11. Kotsupiy O.V., Stepanova N.V., Vysochina G.I., Petruk A.A. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo uni-versiteta. Seriya Biologiya. Ekologiya*, 2018, no. 24, pp. 3–15. DOI: 10.26516/2073-3372.2018.24.3. (in Russ.).
12. Lomboyeva S.S., Tankhayeva L.M., Olenikov D.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2008, no. 3, pp. 83–88. (in Russ.).
13. Karpova Ye.A., Fershalova T.D., Petruk A.A. *Zhurnal stress-fiziologii i biokhimii*, 2016, vol. 12, no. 3, pp. 44–56. (in Russ.).
14. Khranova Ye.P. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2022, no. 5, pp. 580–594. DOI: 10.15372/SEJ20220508. (in Russ.).
15. *Krasnaya kniga Respubliki Khakasiya: Redkiye i ischezayushchiye vidy rasteniy i gribov*. [Red Book of the Republic of Khakassia: Rare and endangered species of plants and mushrooms], ed. Ye.S. Ankipovich. Novosibirsk, 2012, 288 p. (in Russ.).
16. Kuz'micheva N.A. *Vestnik farmatsii*, 2001, no. 1–2, pp. 62–69. (in Russ.).
17. Boyarskikh I.G., Vasil'yev V.G., Kukushkina T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 2, pp. 89–96. DOI: 10.14258/jcprm.2018023452. (in Russ.).
18. Polyakova L.V. *Flavonoidy v prirodnikh i introduktsionnykh populyatsiyakh predstaviteley sem. bobovykh Sibiri: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk*. [Flavonoids in natural and introduced populations of representatives of the family. legumes of Siberia: abstract dis. ... doc. biol. sciences]. Novosibirsk, 1993, 32 p. (in Russ.).
19. Minayeva V.G. *Flavonoidy v ontogeneze rasteniy i ikh prakticheskoye ispol'zovaniye*. [Flavonoids in plant ontogenesis and their practical use]. Novosibirsk, 1978, 255 p. (in Russ.).
20. Kulbat K. *Biotechnology and Food Science*, 2016, vol. 80, pp. 97–108. (in Russ.).
21. Karakulov A.V., Karpova Ye.A., Vasil'yev V.G. *Turczaninowia*, 2018, vol. 21, no. 2, pp. 133–144. DOI: 10.14258/turczaninowia.21.2.14. (in Russ.).

* Corresponding author.

22. Morreeuw Z.P., Castillo-Quiroz D., Ríos-González L.J., Martínez-Rincón R., Estrada N., Melchor-Martínez E.M., Iqbal H.M.N., Parra-Saldívar R., Reyes A.G. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 4, article 695. DOI: 10.3390/plants10040695.

Received December 29, 2022

Revised February 21, 2023

Accepted October 9, 2023

Сведения об авторах

Коцупий Ольга Викторовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, olnevaster@gmail.com

Шеметова Татьяна Александровна – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, astragalus86@yandex.ru

Information about authors

Kotsupii Olga Viktorovna – candidate of biological sciences, senior researcher, olnevaster@gmail.com

Shemetova Tatyana Aleksandrovna – candidate of biological sciences, junior researcher, astragalus86@yandex.ru