

Влияние абиотических факторов среды на накопление фенольных метаболитов *Dasiphora fruticosa*

Е. П. ХРАМОВА

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101
E-mail: khramova@ngs.ru

Статья поступила 10.03.2022

После доработки 21.04.2022

Принята к печати 25.04.2022

АННОТАЦИЯ

Исследованы состав и содержание фенольных соединений в листьях растений *Dasiphora fruticosa*, произрастающих на территории Дальнего Востока, Южной и Восточной Сибири в диапазоне географических координат 43°13'–62°52' с. ш. Состав фенольного комплекса *D. fruticosa* представлен 16–22 компонентами и остается постоянным, его варьирование происходит в основном за счет минорных компонентов. Установлены семь флавонолгликозидов – гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин, кверцитрин, астрагалин, рутинозид кемпферола, два агликона – кверцетин и кемпферол, а также эллаговая кислота и ее гликозид с использованием методов ВЭЖХ и УФ-спектрометрии. Содержание суммарного содержания фенольных соединений в листьях растений варьировалось от 13,5 до 28,3 мг/г, гликозидов кверцетина – от 4,8 до 17,3 мг/г, гликозидов кемпферола – от 0,1 до 1,3 мг/г. Суммарное содержание эллаговых дубильных соединений в листьях изменялось от 6,9 до 12,9 мг/г. Выявлена связь накопления фенольных соединений в листьях *D. fruticosa* с абиотическими факторами. Обнаружено, что с усилением инсоляции на фоне снижения теплообеспеченности и суммы осадков за год и в период с апреля по октябрь содержание всех отдельных компонентов возрастало, за исключением авикулярина, содержание которого, напротив, снижалось. Показано, что содержание фенольных соединений (в сумме и по группам) на 53–75 % определяется теплообеспеченностью, флавонолов – на 50–91 % суммой осадков и на 50–54 % – солнечной радиацией. Накопление эллаговых соединений в листьях у *D. fruticosa* на 60 % определяется теплообеспеченностью, остальные факторы имеют низкую значимость. На накопление фенольных соединений *D. fruticosa* влияют теплообеспеченность, осадки и солнечное излучение.

Ключевые слова: *Dasiphora fruticosa*, фенольные соединения, экологические факторы, изменчивость.

Биосинтез и накопление фенольных соединений в значительной степени зависят от условий окружающей среды. Для большинства растений внешние факторы (свет, температура, влажность, плодородие почвы, засоленность и другие) могут существенно влиять на некоторые процессы, связанные с ростом и развитием растений, в том числе на их способность синтезировать вторичные метаболиты и, в конечном итоге, изменять общий фитохимический профиль растения.

Во многих работах по изучению фенольных соединений в экологическом аспекте “химический” признак рассматривается как самостоятельный показатель или дополняющий другие параметры изменчивости. Эти исследования дают возможность глубже рассмотреть и оценить процессы приспособления растений

и оценить процессы приспособления растений

к разному экологическому окружению, при этом выявляя характер функциональной активности той или иной группы веществ вторичного обмена на популяционном уровне [Полякова, Ершова, 2000]. Изменчивость содержания некоторых фенольных соединений может служить критерием оценки биохимической адаптивной стратегии популяций, выработанной естественным отбором в ходе эволюции [Полякова, 1993; Wink, 2003], обеспечения популяции определенного селективного преимущества [Gouyon et al., 1986].

Кроме того, изменчивость содержания фенольных соединений важна для решения задач хемотаксономии, развития лекарственного ресурсосведения, поиска критериев адаптивной нормы и нормы реакции признаков.

Интерес исследователей к курильскому чаю кустарниковому (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb. = *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz = *Potentilla fruticosa* L.) постоянно растет благодаря высокому содержанию фенольных соединений и широкому спектру фармакологических эффектов [Арьяева и др., 1999; Евстропов и др., 2002; Miliauskas et al., 2004; Tomczyk et al., 2010; Syrpas et al., 2020; Augustynowicz et al., 2021]. Фенольный состав *D. fruticosa* изучен достаточно подробно. Из надземной части растения выделены и идентифицированы 12 флавонолгликозидов – кверцетин-3-β-глюкопиранозид (изокверцитрин), кверцетин-3-β-галактопиранозид (гиперозид), кверцетин-3-β-рутинозид (рутин), кверцетин-3-α-рамнопиранозид (кверцитрин), кверцетин-3-α-арабинофуранозид (авикулярин), кверцетин-3-O-β-D-глюкуроноид, кверцетин-7-O-β-D-глюкуроноид, кемпферол-3-β-рутинозид, рамнетин-3-β-глюкопиранозид, рамнетин-3-β-галактопиранозид, рамнетин-3-α-арабинофуранозид, кемпферол-3-β-глюкозид (астргалин), и четыре ацилированных флавонолгликозида – кверцетин-6''-O-галлат-3-β-D-галактопиранозид, кемпферол-3-O-β-(6''-O-(E)-*n*-кумарил)-глюкопиранозид, тернифлорин и трибулозид, три агликона – кверцетин, кемпферол и рамнетин, два эллаговых соединения – эллаговая кислота и ее гликозид [Федосеева, 1979; Шкель и др., 1997; Ганенко и др., 1988, 1991; Miliauskas et al., 2004a; Малютина и др., 2018; Augustynowicz et al., 2021]. Биологическая роль полифенолов в растении

многообразна. Экстракты из надземной части *D. fruticosa* проявляют разные виды активностей – антиоксидантную, гипогликемическую, иммуномодулирующую, антиаллергическую, антимикробную, противовирусную и др. [Volkhonskaya et al., 1998; Арьяева и др., 1999; Евстропов и др., 2002; Miliauskas et al., 2004a; Tomczyk et al., 2009, 2010, 2013; Jurkštienė et al., 2011; Syrpas et al., 2020; Лобанова и др., 2021]. Современные исследования свидетельствуют, что фармакологический эффект *D. fruticosa* в значительной степени зависит от содержания фенольных компонентов и главным образом флавонолов и эллаговых соединений.

Анализ литературных источников показал, что в зависимости от местообитания, онтогенетического состояния, стадии вегетации, органа растения, условий экстрагирования суммарное содержание фенольных соединений *D. fruticosa* варьируется от 35 до 97 мг/г [Miliauskas et al., 2004b; Tomczyk et al., 2013; Храмова, 2016; Syrpas et al., 2020]. Содержание суммы флавоноидов *D. fruticosa* может изменяться от 0,7 до 30 % [Шкель и др., 1997; Miliauskas et al., 2004b; Триль и др., 2008; Tomczyk et al., 2010, 2013; Храмова, 2014; Андышева и др., 2016; Храмова и др., 2020; Andysheva, Khramova, 2020].

В естественных условиях обитания растения подвергаются действию различных стрессовых факторов, которые могут воздействовать на них одновременно. Эти факторы, особенно абиотические стрессоры (недостаток питательных веществ, сезонные изменения, засоленность почв, ранения, засуха, свет, УФ-излучение, температура, парниковые газы и изменения климата), вызывают значительные нарушения в хемотипах и уровнях биосинтеза фенольных соединений [Mierziak et al., 2014; Yang et al., 2018; Yeshe et al., 2022].

В связи с чем исследование изменений накопления фенольных соединений (в сумме, по группам и отдельным компонентам) в зависимости от эколого-ценотических условий обитания растений, выявление факторов, влияющих на их биосинтез, и определение вклада этих факторов в изменение содержания растений представляет интерес.

Цель исследования заключалась в изучении влияния абиотических факторов на накопление фенольных соединений *Dasiphora*

fruticosa в связи с условиями их обитания для выявления наиболее значимых факторов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения изменчивости содержания фенольных соединений в растениях служили образцы *Dasiphora fruticosa*, произрастающие на территории в диапазоне географических координат 43.13° – 62.08° с. ш., собранные в десяти географически отдаленных местонахождениях, четыре из которых находились на российском Дальнем Востоке, четыре – в Забайкальском крае (Восточная Сибирь) и два – в Хакасии (Южная Сибирь) (рис. 1).

Местообитание 1: Дальний Восток, Амурская область, Бурейский район, крупноглы-

бистые обнажения над р. Бурей. Высота 285 м над ур. м.

Местообитание 2: Дальний Восток, Амурская область, Тындинский район, окрестности с. Могот, берег р. Могот, лиственнично-березовый лес. Высота 591 м над ур. м.

Местообитание 3: Дальний Восток, Магаданская область, Омсукчанский район, г. Каменный Венец. Высота 301 м над ур. м.

Местообитание 4: Забайкальский край, Тунгокоченский район, окрестности с. Усугли, пойма р. Усуглинка. Под пологом березово-лиственничного леса. Высота 636 м над ур. м.

Местообитание 5: Забайкальский край, Тунгокоченский район, березово-лиственничный лес, берег р. Кучегер, между селами Ульдурга и Усугли. Высота 648 м над ур. м.



Рис. 1. Схема сбора образцов *Dasiphora fruticosa*

Местообитание 6: Забайкальский край, Читинская область, Тунгокоченский район, окр. с. Усугли, у руч. Кабаржен. Под пологом березового леса. Высота 642 м над ур. м.

Местообитание 7: Забайкальский край, Шилкинский район, березово-ивовый лес, окр. д. Гырхила, обочина дороги вдоль ручья. Высота – 841 м над ур. м.

Местообитание 8: Хакасия, предгорье Абаканского хребта, Аскизский район, окр. с. Казановка, долинный остепненный луг, высота 937 м над ур. м.

Местообитание 9: Хакасия, предгорье Абаканского хребта, Аскизский район, окр. с. Вершина Теи, лиственничный лес, высота 1467 м над ур. м.

Местообитание 10: Дальний Восток, Приморский край, из коллекции БСИ ДВО РАН (г. Владивосток), куда растения были пересажены с хр. Чандалаз.

Климатические условия районов сбора растительного материала приведены в табл. 1.

Для определения фенольных соединений в водно-спиртовых экстрактах использован метод ВЭЖХ.

Отбирали среднюю пробу с 5–10 особей каждой популяции. Годичные облиственные побеги длиной 15–20 см срезали равномерно по поверхности кроны, отделяли листья, которые сушили в проветриваемом помещении при $T = 25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и помещали в бумажные пакеты. Приготовление растительных экстрактов проводили следующим образом: сухие листья (0,5 г) трижды экстрагировали 70%-м этанолом при $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 3 ч, используя соотношение растительный образец/растворитель 1 : 20 для первой экстракции и 1 : 15 – для второй и третьей экстракций. Извлечения объединяли и измеряли объем, который обычно составлял 50–60 мл. Одновременно брали точную навеску листьев (1,0 г) для определения содержания влаги в образце для пересчета на массу абсолютно сухого сырья. Затем, используя метод твердофазной экстракции (ТФЭ), 1 мл экстракта разбавляли бидистиллированной водой до $V = 5$ мл и пропускали через концентрирующий патрон Диапак С16 (ЗАО “БиоХим-Мак”) для освобождения от примесей гидрофильной природы.

Флавоногликозиды смывали с патрона небольшим количеством 70%-го этанола, агликаны – 96%-го этанола. Элюаты объединя-

ли, измеряли объем, который обычно составлял 5–8 мл, и пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм.

ВЭЖХ-анализ фенольных соединений в образцах растений выполняли на жидкостном хроматографе Agilent 1200 (Agilent Technologies, США) с диодно-матричным детектором, автосамплером и программным обеспечением обработки хроматографических данных ChemStation. Разделение проводили на колонках Zorbax SB-C18, $4,6 \times 150$ мм, 5 мкм. Подвижная фаза: метанол – 0,1%-й раствор ортофосфорной кислоты (31 : 69). Разделение проводили на колонке Zorbax SB-C18, $4,6 \times 150$ мм, 5 мкм в следующих условиях: градиент от 31 до 33 % метанола, подкисленного ортофосфорной кислотой (0,1 %), в течение 27 мин, далее в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты изменялось от 33 до 46 % в течение 11 мин, затем от 46 до 56 % за следующие 12 мин и от 56 до 100 % за 4 мин. Скорость потока элюента 1 мл/мин. Температура колонки $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Объем вводимой пробы 10 мкл. Детектирование осуществляли при $\lambda = 254, 270, 290, 340, 360$ и 370 нм.

Для приготовления подвижных фаз использовали метиловый спирт (ос. ч.), ортофосфорную кислоту (ос. ч.), бидистиллированную воду. Для приготовления стандартных образцов служили образцы кверцетина, кемпферола, рамнетина, рутина и кемпферол-рутинозида (Sigma-Aldrich), астрагалина, авикулярина, гиперозида, изокверцитрина и кверцитрина (Fluka Chemie AG, Швейцария). Стандартные растворы готовили в концентрации 10 мкг/мл в метиловом спирте. Объем вводимой пробы 10 мкл.

Суммарное содержание фенольных соединений оценивали по сумме площадей хроматографических пиков при $\lambda = 360$ нм, так как для многих флавоноидов максимумы поглощения находятся в длинноволновой области (362 ± 14 нм), что позволяет легко отличить их от других классов веществ.

Количественное определение индивидуальных компонентов в образцах растений проводили по методу внешнего стандарта как наиболее оптимальному для хроматографического анализа многокомпонентных смесей.

Для определения флавоногликозидов (гликозидов кверцетина, кемпферола и рамнети-

Т а б л и ц а 1
Основные показатели климата районов исследования (по литературным данным)

Метеостанция	Н, над ур. м.	$T_{\text{воздуха}}, ^\circ\text{C}$	Абсо- лютный максимум и минимум $T_{\text{воздуха}},$ $^\circ\text{C}$	Абсо- лютный минимум $T_{\text{воздуха}},$ $^\circ\text{C}$	Дата послед- него/первого заморозка в воздухе весной и осенью	$\sum t, \text{ мм}$	$\sum t >$ $>10 ^\circ\text{C}$	K_y	Средняя продолжи- тельность безмо- розного периода, дни	Сумма суммарной солнечной радиации Q (VI), мДж/м ²	Продолжи- тельность солнечного сияния, ч	I	VII	год	VI
Владивосток	187	-13,8 18,5 5,0	35	-30	16.04/28.10	641	770	2321	1,2	192	538	2101	132		
Буряя	285	-26,1 20,9 -0,8	36	-50	15.05/23.09	581	635	2370	0,8	130	656	2487	274		
Тында	528	-32,3 17,6 -6,2	36	-50	02.06/03.09	402	439	1575	0,8	92	669	1724	231		
Шилка	477	-26,2 19,7 -3,6	40	-54	31.05/08.09	289	312	2125	0,5	99	663	2600	282		
Тунгокочен	810	-31 15,8 -6,4	35	-54	21.06/18.08	354	381	1415	1,0	57	663	2506	282		
Таштып (Хакасия)	449	-18,9 17,4 0,2	36	-50	09.06/06.09	210	443	1705	0,5	98	612	2016	274		
Омсулчан	526	-33,4 13,2 -11,1	33	-56	12.06/01.08	217	297	854	0,6	49	665	1965	294		

П р и м е ч а н и е. H – высота расположения метеостанции, м над ур. м.; $\sum t$ – сумма осадков, мм; $\sum t > 10 ^\circ\text{C}$ – сумма $T > 10 ^\circ\text{C}$; K_y – коэффициент увлажнения Высоцкого – Иванова ($K_y = R_{\text{IV-X}}/E$, где $E = 1384 - 161,6 \times T_{\text{января}} + 6,245 \times T_{\text{июля}}^2$, по Э. Г. Коломыцу [2010]); Q – сумма суммарной солнечной радиации в июне (мДж/м²) [Научно-прикладной справочник..., 1988, 1989, 1990, 1992; Николаева, 2005; Носкова, Носков, 2016].

на в отдельности) проводили анализ агликонов – кверцетина, кемпферола и рамнетина, образующихся после кислотного гидролиза соответствующих гликозидов [van Beek, 2002; Юрьев и др., 2003]. Для проведения кислотного гидролиза к 0,5 мл водно-этанольного извлечения прибавляли 0,5 мл HCl (2 н) и нагревали на кипящей водяной бане в течение 2 ч. После охлаждения разбавленный экстракт пропускали через концентрирующий патрон, агликоны смывали 96%-м этанолом. Далее хроматографировали, применив градиентный режим элюирования. В подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0,1 %) изменялось от 45 до 48 % за 18 мин.

Содержание флавонолгликозидов (отдельно гликозидов кверцетина, кемпферола и рамнетина) в образцах растений рассчитывали по содержанию свободных агликонов, образующихся после кислотного гидролиза. Для пересчета концентрации агликона на соответствующий гликозид применяли известные из литературных данных коэффициенты: 2,504 для кверцетина и 2,588 для кемпферола [van Beek, 2002; Юрьев и др., 2003]. Пересчет концентрации рамнетина проводили по кверцетину.

Содержание флавонолов определяли как сумму гликозидов кверцетина, гликозидов кемпферола и их свободных агликонов.

Опыты проводили в трех аналитических и двух биологических повторностях. Относительное стандартное отклонение повторяемости при определении фенольных компонентов составило $\sigma_{г, отн} = 0,011$, относительное стандартное отклонение по времени удерживания у метода ВЭЖХ – 0,0018.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программ Statistica 8 и Microsoft Excel 2010. Для выделения наиболее важных факторов использовался факторный анализ – метод главных компонент. Для определения формы и силы связи между содержанием фенольных соединений и факторами применялся регрессионный анализ. Теснота связи оценивалась по шкале: слабая ($0,1 < R^2 < 0,3$), умеренная ($0,3 < R^2 < 0,5$), заметная ($0,5 < R^2 < 0,7$), высокая ($0,7 < R^2 < 0,9$) и весьма высокая ($0,9 < R^2 < 0,99$).

Сравнительный анализ хроматограмм водно-этанольных экстрактов из листьев *D. fruticosa* показал, что максимальное число компонентов обнаружено в образцах тунгокоченской популяции (22 компонента), наименьшее – магаданской и тындинской популяций (по 16 компонентов) (табл. 2). Идентифицированы семь флавонолгликозидов – гиперозид (компонент 5), изокверцитрин (компонент 6), рутин (компонент 7), авикулярин (компонент 11), кверцитрин (компонент 13), астрагалин (компонент 14), рутинозид кемпферола (компонент 15), два агликона – кверцетин (компонент 21) и кемпферол (компонент 28), а также эллаговая кислота (компонент 8) и ее гликозид (компонент 9) на основании полученных в процессе хроматографирования в режиме *on-line* спектральных данных (УФ-спектрокопии) и сопоставления времен удерживания пиков веществ на хроматограммах анализируемых образцов с временами удерживания пиков стандартных образцов.

Компоненты 1–3 присутствуют в листьях всех исследуемых образцов. У растений приморской популяции дополнительно обнаружен компонент 4. Гиперозид, изокверцитрин, рутин, эллаговая кислота и ее гликозид, а также авикулярин, компонент 10 и астрагалин свойственны всем 10 образцам вне зависимости от места произрастания. Компонент 12 отсутствует в листьях приморских и хакасских растений. Кверцитрин не найден в листьях растений из Амурской и Магаданской областей, что выделяет их среди исследуемых образцов *D. fruticosa*. Компонента 15 нет в листьях растений бурейской и хакасской популяций, компонента 16 – бурейской, хакасской, тындинской и магаданской. Компонент 17 обнаружен в листьях *D. fruticosa* бурейской и тунгокоченской популяций, компонент 19 – забайкальских, бурейских и хакасских образцов. Компонент 20 свойственен хакасским экземплярам. У всех изучаемых образцов обнаружен кверцетин. Кемпферол не выявлен либо присутствует в следовых количествах у приморских, шилкинских и тындинских экземпляров.

Анализ содержания отдельных компонентов в листьях исследованных растений вы-

Содержание фенольных соединений в листьях *Dasiphora fruticosa* из разных мест произрастания
(мг/г от абсолютно сухой массы)

Компонент	Время выхода компонента, мин	Популяция						
		Примор-ская, 43°80' с. ш. 131°90' в. д.*	Бурей-ская, 49°42' с. ш. 130°08' в. д.	Шилкин-ская, 51°90' с. ш. 116°00' в. д.	Хакас-ская, 53°12' с. ш. 90°02' в. д.	Тунгокон-ченская, 53°53' с. ш. 115°62' в. д.	Тындин-кая, 55°18' с. ш. 124°67' в. д.	Магадан-кая, 62°52' с. ш. 155°80' в. д.
		№ образцов						
		10	1	7	8-9	4-6	2	3
1	10,81	0,15	0,53	1,79	1,02	0,54	0,42	0,81
2	12,06	0,25	1,34	0,56	0,53	2,02	2,92	0,93
3	13,70	0,26	0,10	0,24	0,56	0,54	0,36	1,02
4	16,13	0,17	Н. о.**	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.
Гиперозид	18,00	0,25	0,61	0,59	1,49	2,37	1,32	5,14
Изокверцитрин	18,99	1,51	0,83	2,32	0,71	3,84	1,37	3,33
Рутин	19,91	Н. о.	0,16	Н. о.	0,34	0,08	0,23	0,15
Эллаговая кислота	21,88	3,11	3,27	3,95	2,60	3,82	2,64	0,55
Гликозид эллаговой кислоты	23,22	5,50	3,59	6,13	2,20	8,49	6,07	12,34
10	26,00	Н. о.	0,74	1,58	Н. о.	0,66	0,24	Н. о.
Авикулярин	28,18	0,45	2,70	1,49	1,62	1,91	0,88	1,08
12	29,30	0,76	0,74	2,21	1,36	1,21	0,20	0,82
Кверцитрин	30,49	0,15	Н. о.	0,11	0,35	0,10	Н. о.	Н. о.
Астрагалин	32,19	0,09	0,18	0,36	0,42	0,48	0,12	0,51
Рутинозид кемпферола	33,64	0,12	Н. о.	0,18	Н. о.	0,50	0,13	0,48
16	34,67	0,27	Н. о.	0,34	Н. о.	0,33	Н. о.	Н. о.
17	35,84	Н. о.	0,29	Н. о.	Н. о.	0,32	Н. о.	Н. о.
19	37,77	Н. о.	Н. о.	0,35	Н. о.	0,25	Н. о.	Н. о.
20	39,0	Н. о.	Н. о.	Н. о.	2,58	Н. о.	Н. о.	Н. о.
Кверцетин	40,47	0,08	0,10	0,21	0,30	0,22	0,22	0,25
23	42,16	Н. о.	0,45	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.
25	44,44	0,12	2,03	0,55	Н. о.	0,45	Н. о.	Н. о.
26	46,92	0,12	0,70	0,43	Н. о.	0,30	0,42	0,58
27	47,37	0,13	0,20	0,63	1,20	0,22	0,28	0,26
Кемпферол	48,40	Н. о.	0,06	Н. о.	0,08	0,09	Н. о.	0,09
Суммарное содержание ФС		13,5	18,6	24,0	17,4	28,7	17,8	28,3
В том числе:								
Гликозиды								
кверцетина		4,8	7,3	12,0	8,2	14,5	9,4	17,3
кемпферола		0,1	0,3	0,7	1,1	0,9	0,6	1,3
рамнетина				0,6				
Суммарное содержание эллаговых соединений		8,6	6,9	10,1	9,7	12,3	8,7	12,9

* Географические координаты пунктов сбора образцов.

** Н. о. – компонент отсутствует или его содержание находится ниже предела обнаружения (0,01 мг/г).

явил особенности их накопления в зависимости от места произрастания. Так, в листьях *D. fruticosa* из Магаданской области обнаружено наибольшее содержание гликозида эллаговой кислоты (12,34 мг/г), гиперозида (5,14 мг/г), компонента 3 (1,02 мг/г), астрагалина (0,51 мг/г) и кемпферола (0,9 мг/г) при минимуме эллаговой кислоты (0,55 мг/г) по сравнению с остальными образцами. В листьях приморских растений содержание большинства компонентов минимально. По содержанию рутина, кверцитрина и кверцетина выделены растения хакасской популяции, по содержанию эллаговой кислоты – растения из Забайкальского края. Максимум авикулярина (2,70 мг/г) обнаружен в листьях *D. fruticosa* из Бурейского района Амурской обл. В целом можно отметить тенденцию в накоплении гиперозида, изокверцитрина и рутина, кверцетина, кемпферола и, напротив, в снижении биосинтеза авикулярина и кверцитрина в листьях *D. fruticosa* при продвижении вида с юга на север. Возможно, падение уровня авикулярина связано с уменьшением его растворимости по мере снижения тепла и суммы осадков, поскольку гликоновой частью молекулы авикулярина является пентозид (арабинозид), к тому же находящийся в форме фуранозы, тогда как остальные гликозиды имеют шестичленные пиранозные формы. Гликоновая часть кверцитрина представлена гексозидом (рамнозид), но так же, как и авикулярин, может находиться в фуранозной форме. Отмечено высокое содержание рутинозида кемпферола в листьях *D. fruticosa* из тунгокоченской и магаданской популяций.

Суммарное содержание фенольных соединений в листьях *D. fruticosa* из географически удаленных пунктов варьируется от 13,5 до 28,7 мг/г, максимально накапливаясь в растениях из тунгокоченской и магаданской популяций, минимально – в приморских экземплярах.

По результатам анализа агликонов, образующихся после кислотного гидролиза гликозидов, установлено два агликона: кверцетин и кемпферол, за исключением экземпляров *D. fruticosa*, собранных в Шилкинском районе Забайкальского края, у которых дополнительно обнаружен рамнетин.

Установлено, что во всех образцах вне зависимости от места произрастания преобладают производные кверцетина, их доля в составе флавонолов составляет от 89 до 98 %.

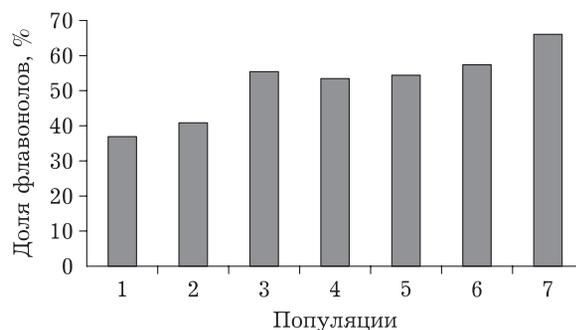


Рис. 2. Доля флавонолов в суммарном содержании фенольных соединений (%) в листьях *Dasiphora fruticosa* из разных мест произрастания: 1 – приморская, 2 – бурейская, 3 – шилкинская, 4 – хакасская, 5 – тунгокоченская, 6 – тындинская, 7 – магаданская

На долю кемпферол-производных приходится от 2 % в приморских образцах до 11 % в хакасских. Доля рамнетин-производных в листьях шилкинской популяции составляет 4 %.

В целом доля флавонолов в суммарном содержании фенольных соединений в листьях растений изучаемых образцов составляет от 37 до 67 %, достигая максимума в магаданских экземплярах. Обращает на себя внимание, что доля флавонолов в листьях *D. fruticosa* возрастает по мере продвижения вида на север (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Метаболизм фенольных соединений и их накопление зависят от экологических особенностей видов и факторов окружающей среды. Разнообразные внешние воздействия, в частности высокая или низкая температура, условия влажности, избыток УФ-радиации и др., индуцируют специфический фермент – фенилаланинаммиак-лиазу (ФАЛ), активация которого приводит к увеличению количества флавоноидов в клетках растений, защищая их от стрессового воздействия [Запрометов, 1993].

Выявленные различия в накоплении фенольных соединений в листьях *D. fruticosa*, скорее всего, связаны с климатическими условиями районов сбора образцов, которые значительно различаются по уровню тепла, количеству осадков, солнечной радиации. Так, Республика Хакасия и Забайкальский край характеризуются резко-континентальным кли-

матом с жарким летом и малыми осадками [Научно-прикладной справочник ..., 1989; Николаева, 2005; Носкова, Носков, 2016]. В Омсукчанском районе Магаданской области климат суровый субарктический, с коротким прохладным летом и малым количеством осадков [Научно-прикладной справочник ..., 1990]. Климат Амурской области сочетает черты резко-континентального и муссонного, что выражается большими годовыми и суточными амплитудами температур воздуха и резким преобладанием летних осадков [Научно-прикладной справочник..., 1992]. Приморский край выделяется умеренным муссонным климатом с теплым и влажным летом [Научно-прикладной справочник..., 1988]. Исследуемые районы различаются и по обилию солнечного сияния. Наибольших значений солнечное сияние достигает в Забайкальском крае – в среднем до 2506 ч [Носкова, Носков, 2016]. Наименьшее число часов солнечного сияния наблюдается в Тындинском районе – северном районе Амурской области (1734 ч). При этом необходимо учитывать, что радиационный режим Сибири и Дальнего Востока определяется географическими особенностями. В июне–июле продолжительность дня наибольшая в году и возрастает с увеличением широты. Благодаря такому распределению длина дня и возможная продолжительность солнечного сияния в летние месяцы, в особенности в июне–июле, уменьшаются с севера на юг. В Забайкалье, Хакасии, юго-восточной части Амурской области, где отмечается преимущественно резко-континентальный климат, а также в Магаданской области в конце весны и начале лета (май, июнь) отмечается ясная погода и большая продолжительность солнечного сияния. По мере продвижения к востоку, особенно в районы, подверженные в той или иной мере действию муссона (Приморский край, Тындинский район Амурской обл.), продолжительность солнечного сияния снижается из-за пасмурности, дождей и туманов. В соответствии с длительностью светового дня распределение суммарной солнечной радиации носит зональный характер. Самые большие его значения наблюдаются между 58–65° с. ш. в июне–июле [Климатические параметры..., 1979].

В качестве факторов, влияющих на содержание фенольных соединений, выбраны сумма температур выше 10 °C ($\Sigma t > 10$ °C), количество осадков за период с апреля по октябрь

(Σr), коэффициент увлажнения (K_y), высота над ур. м. (H), сумма суммарной солнечной радиации в июне (Q), продолжительность светового сияния за год (ПСС), продолжительность светового сияния в июне (ПСС VI), продолжительность светового дня в июне (ПСД), высота над ур. м. (см. табл. 1).

Для выделения наиболее важных факторов использовался факторный анализ – метод главных компонент. Результаты анализа представлены на графике (рис. 3).

Численные нагрузки даны в табл. 3 для данных по содержанию фенольных соединений и климатических показателей.

Выделено два общих фактора – фактор 1 и фактор 2. Фактор 1 отвечает за теплообеспеченность и солнечное сияние, фактор 2 – за влагообеспеченность и высоту над уровнем моря (ур. м.). С продвижением вида на север суммарное содержание фенольных соединений *D. fruticosa* возрастает на фоне снижения тепла, осадков и увеличения солнечного сияния, что хорошо согласуется с исследованиями ряда авторов для других видов [Минаяева, 1978; Turunen, Latola, 2005; Stark et al., 2008]. В литературе отмечается, что слишком высокая температура воздуха может ингибировать биосинтез флавоноидов, а низкая температура – активировать этот процесс [Cheynier et al., 2013]. Также в этой работе показано, что при увеличении дозы УФ-радиации повышается содержание флавонолов, особенно кверцетина и кемпферола [Cheynier et al., 2013]. В ряде работ сообщалось, что дефицит влаги способствует накоплению фенольных соединений [Yeshi et al., 2022]. В гидролизатах экстрактов из корней и побегов *Arabidopsis thaliana* в ответ на дефицит влаги накапливались кверцетин и особенно кемпферол [Shojaie et al., 2016].

Связь накопления фенольных соединений в листьях *D. fruticosa* и некоторыми факторами среды оценена с использованием регрессионного анализа (табл. 4). Установлено, что содержание ФС на 53–75 % определяется теплообеспеченностью. Чем ниже сумма эффективных температур ($\Sigma t > 10$ °C), тем выше содержание ФС (в сумме и по группам) в листьях *D. fruticosa*. Обнаруженная связь оценивается как заметная для гликозидов кемпферола, суммарного содержания фенольных соединений и эллаговых соединений ($R^2 = 0,53–0,60$).

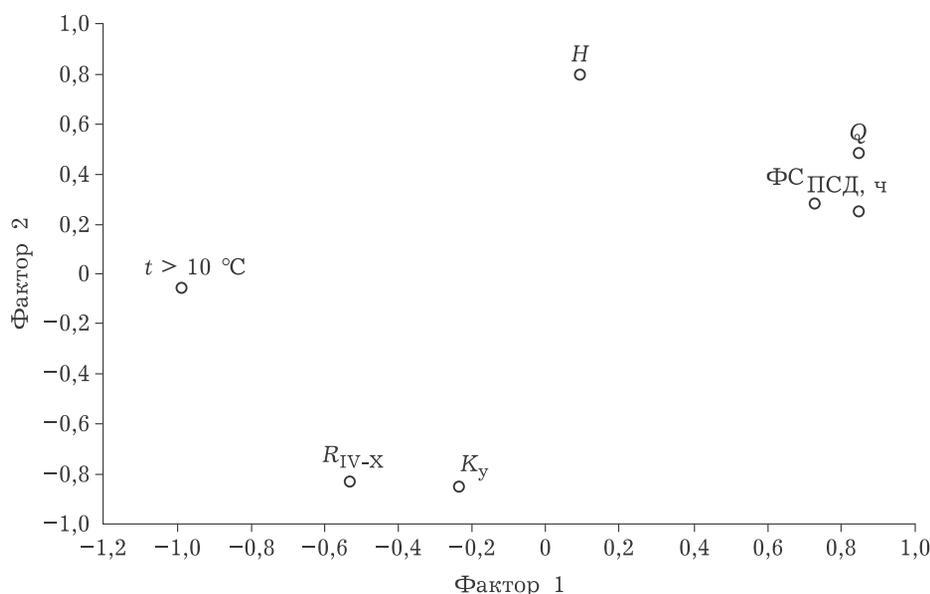


Рис. 3. Факторное решение для данных: суммарное содержание фенольных соединений в листьях *Dasiphora fruticosa* из разных географических пунктов, климатические показатели

Для флавонолов и гликозидов кверцетина – как высокая ($R^2 = 0,73-0,75$) (рис. 4).

Отмечена значимая обратная связь накопления фенольных соединений с суммой осадков за год (рис. 5). Чем меньше осадков, тем выше содержание суммарного содержания фенольных соединений, суммы флавонолов, агликонов и их гликозидов. Для гликозидов кверцетина, гликозидов кемпферола и суммы флавонолов она оценивается как высокая

($R^2 > 0,7$), для агликонов и суммарного содержания фенольных соединений – как заметная ($0,5 < R^2 < 0,7$). Для эллаговых соединений зависимости от осадков не наблюдалось.

Поскольку образцы растений отбирались в вегетационный период, предпринята попытка оценить связь накопления фенольных соединений с суммой осадков за период с апреля по октябрь. В целом, теснота связи фенольных соединений с этим климатическим фак-

Т а б л и ц а 3

Факторные нагрузки по данным накопления суммарного содержания фенольных соединений в листьях *Dasiphora fruticosa*, климатических показателей и географического положения популяций

Компонента	Фактор 1	Фактор 2
Содержание ФС	0,731563	0,286108
Сумма температур выше 10 °C ($\Sigma t > 10$ °C)	-0,987567	-0,051435
Коэффициент увлажнения (K_y)	-0,235062	-0,845994
Количество осадков за IV–X (Σr), мм	-0,531296	-0,826371
Высота над ур. м. (H), м	0,093159	0,801371
Продолжительность светового дня в июне (ПСД), ч	0,847696	0,254051
Сумма суммарной солнечной радиации в июне (Q), мДж/м ²	0,851081	0,492723
Expl.Var	3,299608	2,432612
Prp.Totl	0,471373	0,347516

П р и м е ч а н и е. Отмеченные жирным шрифтом нагрузки $> 0,70000$.

Значения коэффициентов детерминации (R^2) между содержанием фенольных соединений в экстрактах листьев *Dasiphora fruticosa* и некоторыми климатическими факторами

Факторы	Фенольное соединение					
	Суммарное содержание ФС	Флавонолы	Гликозиды кверцетина	Гликозиды кемпферола	Агликоны	Эллаговые дубильные соединения
$\Sigma t > 10$ °С	0,55*	0,73	0,75	0,53	0,33	0,6
r (год), мм	0,64	0,79	0,74	0,74	0,55	0,28
r (IV–X), мм	0,36	0,56	0,49	0,91	0,84	0,08
K_y	0,16	0,26	0,21	0,52	0,57	0
H , м над ур. м.	0,11	0,13	0,1	0,32	0,36	0,01
Q (VI), мДж/м ²	0,48	0,46	0,46	0,24	0,19	0,15
ПСС (год), ч	0,11	0,01	0,01	0,03	0,07	0,02
ПСС (VI), ч	0,54	0,52	0,49	0,52	0,51	0,06
ПСД, ч	0,2	0,39	0,39	0,49	0,48	0,12

* Выделенные жирным шрифтом коэффициенты детерминации (R^2) имеют значимую тесноту связи.

тором ниже, чем с суммой осадков за год, за исключением гликозидов кемпферола (рис. 6). Связь между содержанием гликозидов кемпферола и суммой осадков за апрель–октябрь оценивается как весьма высокая ($R^2 =$

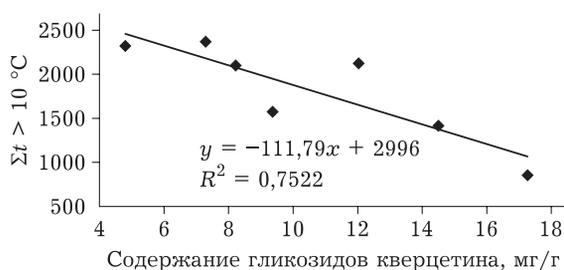


Рис. 4. Зависимость содержания гликозидов кверцетина в листьях *Dasiphora fruticosa* от суммы эффективных температур ($\Sigma t > 10$ °С)

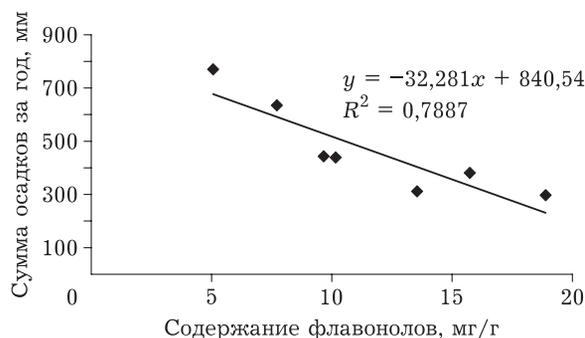


Рис. 5. Зависимость содержания флавонолов в листьях *Dasiphora fruticosa* от суммы осадков за год

$= 0,91$). Содержание агликонов и флавонолов определяется на 84 и 56 % количеством осадков за период с апреля по октябрь соответственно, чем меньше осадков, тем выше содержание этих соединений. Кроме того, гликозиды кемпферола и свободные агликоны на 52–57 % зависят от коэффициента увлажнения (K_y) (см. табл. 4).

Продолжительность солнечного сияния в июне на 49–54 % определяет содержание флавонолов, гликозидов кверцетина и кемпферола, их агликонов и суммарное содержание фенольных соединений в целом (рис. 7). Следует заметить, что продолжительность солнечного сияния за год не оказывает вли-

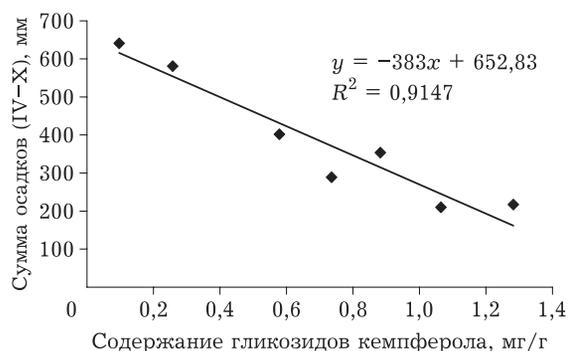


Рис. 6. Зависимость содержания гликозидов кемпферола в листьях *Dasiphora fruticosa* от суммы осадков (R_{IV-X} , мм) в вегетационный период

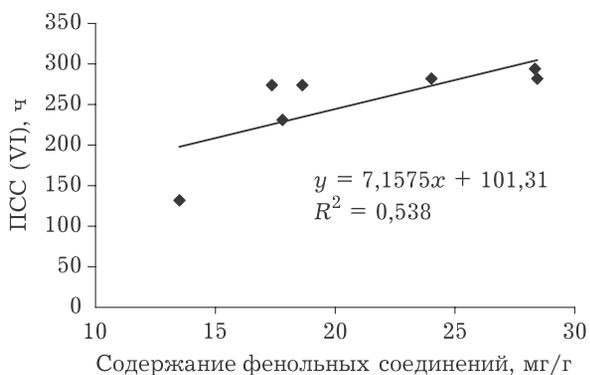


Рис. 7. Зависимость содержания фенольных соединений в листьях *Dasiphora fruticosa* от продолжительности солнечного сияния (ПСС) в июне

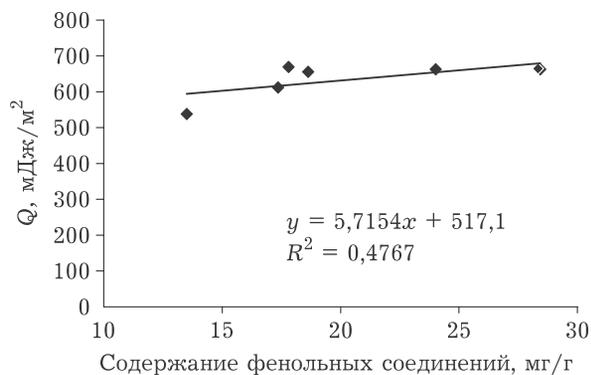


Рис. 8. Зависимость содержания фенольных соединений в листьях *Dasiphora fruticosa* от суммы суммарной солнечной радиации (Q)

нения на накопление фенольных соединений в листьях *D. fruticosa*.

Накопление гликозидов кверцетина, флавонолов и фенольных соединений на 46–48 % определяется суммой суммарного солнечного излучения в июне (Q) (рис. 8). Чем больше УФ-излучение, тем выше содержание соединений в листьях *D. fruticosa*.

Продолжительность светового дня в июне (ПСД, ч) на 48–49 % влияет на содержание гликозидов кемпферола и агликонов (рис. 9).

Полученные результаты свидетельствуют, что на накопление полифенолов в листьях *D. fruticosa* оказывают влияние теплообеспеченность, сумма осадков и УФ-излучение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследование состава и содержания фенольных соединений в листьях *D. fruticosa* в природных популяциях показало значительные изменения и их зависимость от абиотических факторов.

Выявлено, что качественный состав основного фенольного комплекса *D. fruticosa* остается постоянным, его варьирование происходит в основном за счет минорных компонентов.

Содержание суммарного содержания фенольных соединений у *D. fruticosa* варьировалось от 13,5 до 28,3 мг/г в зависимости от местообитания, гликозидов кверцетина – от 4,8 до 17,3 мг/г, гликозидов кемпферола – от 0,1 до 1,3 мг/г. Суммарное содержание эллаговых дубильных соединений в листьях растений изменялось от 6,9 до 12,9 мг/г. Обнаружено, что с продвижением вида с юга на север, усилением инсоляции на фоне низкотемпературного стресса, снижением осадков содержание всех отдельных компонентов возрастало, за исключением авикулярина, содержание которого, напротив, снижалось.

Показано, что содержание фенольных соединений (в сумме и по группам) на 53–75 % определяется теплообеспеченностью, флавонолов – на 50–91 % суммой осадков и на 50–54 % – солнечной радиацией. Более высокая

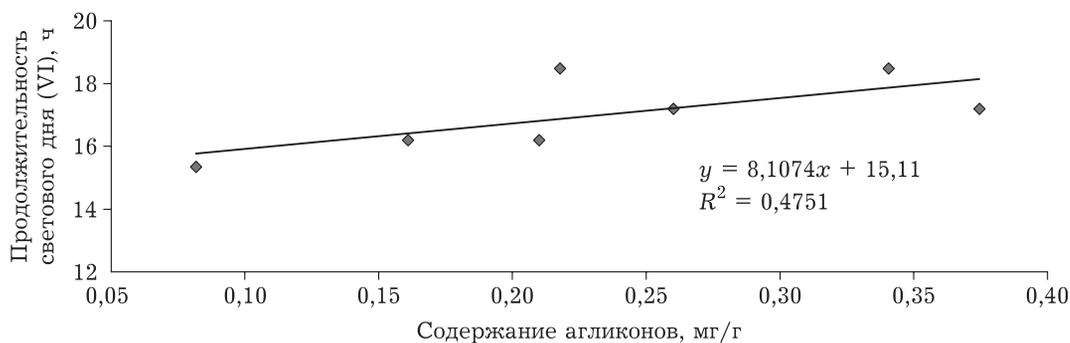


Рис. 9. Зависимость содержания агликонов в листьях *Dasiphora fruticosa* от продолжительности светового дня в июне (ПСД VI)

зависимость обнаружена между содержанием гликозидов кемпферола и суммой осадков (91 %), что находит подтверждение у других авторов. Накопление эллаговых соединений в листьях у *D. fruticosa* на 60 % определяется температурным фактором, остальные факторы для этого показателя имеют низкую значимость.

Выделены факторы, вносящие наиболее значимый вклад в накопление фенольных соединений *D. fruticosa*, – это теплообеспеченность, сумма осадков (годовая и за период с апреля по октябрь) и УФ-излучение.

Автор выражает благодарность и признательность за предоставленные образцы м. н. с. Елене Владимировне Андышевой (АФ БСИ ДВО РАН), к. б. н. с. н. с. Марине Александровне Лебедевой (ЦСБС СО РАН), к. б. н. с. н. с. Вере Андреевне Костиковой (ЦСБС СО РАН).

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН по проекту ААА-А-А21-121011290025-2 “Анализ биоразнообразия, сохранение и восстановление редких и ресурсных видов растений с использованием экспериментальных методов”.

ЛИТЕРАТУРА

- Андышева Е. В., Храмова Е. П., Крестов П. В. Морфологические и биохимические особенности рода *Dasiphora* (Rosaceae) российского Дальнего Востока и Байкальской Сибири // Комаровские чтения. 2016. Вып. LXIV. С. 72–100.
- Арьяева М. М., Ажунова Т. А., Николаев С. М., Асеева Т. А., Асеева Е. Е., Лесиовская Е. Е., Николаева И. Г. Влияние экстракта из побегов *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz на течение экспериментального сахарного диабета // Раст. ресурсы. 1999. Т. 35, вып. 1. С. 91–97.
- Ганенко Т. В., Верещагин А. Л., Семенов А. А. Химический состав *Potentilla fruticosa*. 3. Флавоноиды и свободные стеринны // Химия природ. соединений. 1991. № 2. С. 285.
- Ганенко Т. В., Луцкий В. И., Ларин М. Ф., Верещагин А. Л., Семенов А. А. Химический состав *Potentilla fruticosa*. 1. Флавоноиды // Химия природ. соединений. 1988. № 3. С. 451.
- Евстропов А. Н., Бурова Л. Г., Грек О. Р., Захарова Л. Н., Волхонская Т. А. Применение полифенольного комплекса, экстрагированного из пятилистника кустарникового (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz), для профилактики Коксаки-вирусной инфекции // Бюл. сиб. медицины. 2002. № 4. С. 27–31.
- Запроматов М. Н. Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях М.: Наука, 1993. 272 с.
- Климатические параметры Восточно-Сибирского и Дальневосточного экономических районов (Научно-справочное пособие) / под ред. Л. Н. Анапольской, И. Д. Копцева. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 390 с.
- Коломыц Э. Г. Локальные коэффициенты увлажнения и их значение для экологических прогнозов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 5. С. 61–72.
- Лобанова И. Е., Филиппова Е. И., Кукушкина Т. А., Протченко М. А., Храмова Е. П., Мазуркова Н. А., Высочина Г. И. Сравнительная оценка противовирусной активности экстрактов некоторых высших растений в отношении вируса гриппа *A in vitro* // Химия в интересах устойчивого развития. 2021. Т. 29. С. 675–682. doi: 10.15372/KhUR2021346 [Lobanova I. E., Filippova E. I., Kukushkina T. A., Protchenko M. A., Khramova E. P., Mazurkova N. A., Vysochina G. I. Comparative Evaluation of the Antiviral Activity of Extracts of Some Higher Plants against Influenza A Virus *in vitro* // Chemistry for Sustainable Development. 2021. Vol. 29. P. 675–682. doi: 10.15372/CSD2021346].
- Малютина А. Ю., Правлоцкая А. В., Новиков О. О., Писарев Д. И. Изучение компонентного состава полифенолов травы *Pentaphylloides fruticosa* L. // Фармация и фармакология. 2018. Т. 6 (2). С. 135–150. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2018-6-2-135-150> [Malyutina A. Yu., Pravlotskaya A. V., Novikov O. O., Pisarev D. I. Study of the Component Composition of Polyphenols of the Kuril Tea Plant (*Pentaphylloides fruticosa* L.) // Pharmacy & Pharmacology. 2018. Vol. 6 (2). P. 135–150. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2018-6-2-135-150>].
- Минаева В. Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 253 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 26. Приморский край. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 416 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 23. Бурятская АССР, Читинская область / под ред. Л. В. Ковель. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 550 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 33. Магаданская область, Чукотский автономный округ Магаданской области / под ред. Л. В. Ковель. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 566 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 25. Хабаровский край, Амурская область / под ред. З. Н. Пильниковой. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 558 с.
- Николаева З. Н. Агроклиматический мониторинг Южно-Минусинской котловины: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 2005. 20 с.
- Носкова Е. В., Носков Д. Н. Пространственно-временная характеристика продолжительности солнечного сияния на территории Забайкальского края // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2016. Т. 22, № 1. С. 28–36.
- Полякова Л. В. Флавоноиды в природных и интродукционных популяциях представителей сем. бобовых Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1993. 32 с.
- Полякова Л. В., Ершова Э. А. Изменчивость фенольных соединений у некоторых травянистых и древесных растений от межпопуляционного до внутриндивидуального (эндогенного) уровня // Химия раст. сырья. 2000. № 1. С. 121–129.

- Триль В. М., Стальная М. И., Иващенко Т. А. Курильский чай в природе и культуре (перспективы его использования). Майкоп: Магарин О. Г., 2008. 264 с.
- Федосеева Г. М. Фенольные соединения *Potentilla fruticosa* // Химия природ. соединений. 1979. № 4. С. 575–576.
- Храмова Е. П. Состав и содержание флавонолов *Pentaphylloides fruticosa* в природе и культуре // Химия раст. сырья. 2014. № 1. С. 185–193.
- Храмова Е. П. Род *Pentaphylloides* Hill (Rosaceae) Азиатской России (фенольные соединения, элементный состав в природе и культуре, хемотаксономия): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2016. 32 с.
- Храмова Е. П., Кукушкина Т. А., Шалдаева Т. М., Сыева С. Я. Биохимические показатели кустарников (курильский чай и сабельник) из Горного Алтая // Химия раст. сырья. 2020. № 1. С. 189–197. doi: <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2020015145>
- Шкель Н. М., Храмова Е. П., Кузаков Е. В., Волхонская Т. А., Триль В. М. Фенольные соединения *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz // Химия в интересах устойчивого развития. 1997. Т. 5, № 1. С. 123–127. [Shkel N. M., Khramova E. P., Kuzakov E. V., Volkhonskaya T. A., Tril V. M. Phenolic Compounds in *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz under Introduction // Chemistry for Sustainable Development. 1997. Vol. 5, N 1. P. 117–120].
- Юрьев Д. В., Эллер К. И., Арзамасцев А. П. Анализ флавонолгликозидов в препаратах и БАД на основе экстракта *Gingo biloba* // Фармация. 2003. № 2. С. 7–9.
- Andysheva E. V., Khramova E. P. Phenolic compounds of *Dasiphora fruticosa* plants from natural populations in the south of the Russian Far East // International Conferences “Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept”. 2020. BIO Web of Conferences 24, 00002 (2020). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400002>
- Augustynowicz D., Peter Latté K., Tomczyk M. Recent phytochemical and pharmacological advances in the genus *Potentilla* L. sensu lato – An update covering the period from 2009 to 2020 // Journal of Ethnopharmacology. 2021. Vol. 266. P. 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113412>
- Cheyrier V., Comte G., Davies K. M., Lattanzio V., Martens S. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology // Plant Physiol. Biochem. 2013. Vol. 72. P. 1–20. doi: [10.1016/j.plaphy.2013.05.009](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.009).
- Gouyon P. H., Vernet Ph., Guillermin J. L., Valdeyron G. Polymorphisms and environment: the adaptive value of the oil polymorphisms in *Thymus vulgaris* L. // Heredity. 1986. Vol. 57, part 1. P. 59–66.
- Jurkštienė V., Pavilionis A., Garšvienė D., Juozulynas A., Samsonienė L., Daukšienė D., Jankauskienė K., Šimonienė-Kazlauskienė G., Stankevičius E. Investigation of the Antimicrobial Activity of Rhaponticum (*Rhaponticum Carthamoides* D. C. Iljin) and Shrubby Cinquefoil (*Potentilla Fruticosa* L.). // *Medicina*. 2011. Vol. 47, N 3:24. P. 174–179. <https://doi.org/10.3390/medicina47030024>.
- Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. Flavonoids as Important Molecules of Plant Interactions with the Environment // *Molecules*. 2014. Vol. 19. P. 16240–16265.
- Miliauskas G., van Beek T. A., Venskutonis P. R., Linsen J. P.H., de Waard P., Sudhölter E. J. Antioxidant activity of *Potentilla fruticosa* // J. Sci. of Food and Agriculture, 2004a. Vol. 84. P. 1997–2009.
- Miliauskas G., Venskutonis P. R., van Beek T. A. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts // *Food Chemistry*. 2004b. N 85. P. 231–237.
- Shojaie B., Mostajeran A., Ghanadian M. Flavonoid dynamic responses to different drought conditions: Amount, type, and localization of flavonols in roots and shoots of *Arabidopsis thaliana* L. // *Turkish J. Biol.* 2016. Vol. 40. P. 612–622. doi: [10.3906/biy-1505-2](https://doi.org/10.3906/biy-1505-2)
- Stark S., Julkunen-Tiitto R., Holappa E., Mikkola K., Nikula A. Concentrations of Foliar Quercetin in Natural Populations of White Birch (*Betula pubescens*) Increase with Latitude // *J. Chem. Ecol.*, 2008. Vol. 34. P. 1382–1391.
- Syrpas M., Subbarayadu K., Kitryte V., Venskutonis R. High-Pressure Extraction of Antioxidant-Rich Fractions from Shrubby Cinquefoil (*Dasiphora fruticosa* L. Rydb.) Leaves: Process Optimization and Extract Characterization // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. N 457. [10.3390/antiox9060457](https://doi.org/10.3390/antiox9060457). (Antioxidants 9(6):457). doi: [10.3390/antiox9060457](https://doi.org/10.3390/antiox9060457)
- Tomczyk M., Latté K. P. *Potentilla* – A review of its phytochemical and pharmacological profile // *J. Ethnopharmacol.* 2009. Vol. 122, Is. 2. P. 184–204. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.12.022>
- Tomczyk M., Paduch R., Wiater A., Pleszczyńska M., Kandefer-Szerszeń M., Szczodrak J. The influence of aqueous extracts of selected *Potentilla* species on normal human colon cells // *Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research*. 2013. Vol. 70, N 3. P. 523–531.
- Tomczyk M., Pleszczyńska M., Wiater A. Variation in Total Polyphenolics Contents of Aerial Parts of *Potentilla* Species and Their Anticarcinogenic Activity // *Molecules*. 2010. Vol. 15, N 7. P. 4639–4651. <https://doi.org/10.3390/molecules15074639>
- Turunen M., Latola K. UV-B radiation and acclimation in timberline plants // *Environmental Pollut.* 2005. Vol. 137, Issue 3. P. 390–403.
- van Beek T. A. Chemical analysis of *Gingo biloba* leaves and extracts // *J. Chromatography A*. 2002. N 967. P. 21–35.
- Volkhonskaya T. A., Shkel N. M., Grek O. R., Evstropov A. N., Khramova E. P. Phenolic Compounds of *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz and Their Antiviral and Immunostimulative Activities // *Int. Conf. on Natural Products and Physiologically Active Substances (ICNPAS-98)*. Novosibirsk, 1998. P. 34.
- Wink M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective // *Phytochemistry*. 2003. Vol. 64. P. 3–19.
- Yang L., Wen K. S., Ruan X., Zhao Y. X., Wei F., Wang Q. Response of Plant Secondary Metabolites to Environmental Factors // *Molecules*. 2018. Vol. 23 (4). P. 762. <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>
- Yesi K., Crayn D., Ritmejerjytė E., Wangchuk P. Plant Secondary Metabolites Produced in Response to Abiotic Stresses Has Potential Application in Pharmaceutical Product Development // *Molecules*. 2022. Vol. 27 (313). <https://doi.org/10.3390/molecules27010313>

Influence of abiotic environmental factors on the accumulation of phenolic metabolites of *Dasiphora fruticosa*

E. P. KHRAMOVA

Central Siberian Botanical Garden of SB RAS
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101
E-mail: khramova@ngs.ru

The composition and content of phenolic compounds in leaves of *Dasiphora fruticosa* plants growing in the Far East, Southern and Eastern Siberia in the range of geographical coordinates 43°13'–62°52' N was studied. The composition of the phenolic complex of *D. fruticosa* is represented by 16–22 components and remains constant, its variation occurs mainly due to minor components. Seven flavonolglycosides – hyperoside, isoquercitrin, rutin, avicularin, quercitrin, astragalin, kaempferol rutinoside, two aglycones – quercetin and kaempferol, and ellagic acid and its glycoside were determined using HPLC and UV spectrometry. The total content of phenolic compounds in plant leaves ranged from 13.5 to 28.3 mg/g, that of quercetin glycosides from 4.8 mg/g to 17.3 mg/g, and that of kaempferol glycosides from 0.1 to 1.3 mg/g. The total content of ellagic tannins in leaves varied from 6.9 mg/g to 12.9 mg/g. It was found that as *D. fruticosa* moved from south to north, increased insolation on the background of low-temperature stress, drought, content of all individual components increased, except for avicularin, the content of which, on the contrary, decreased. It was shown that the content of phenolic compounds (in total and in groups) is 53–75 % determined by temperature, of flavonols by 50–91 % by drought and by 50–54 % by solar radiation. Accumulation of ellagic compounds in leaves of *D. fruticosa* is 60 % determined by temperature, the other factors are of low importance. The factors making a significant contribution to the accumulation of phenolic compounds in *D. fruticosa* are air temperature, drought and UV radiation.

Key words: *Dasiphora fruticosa*, phenolic compounds, abiotic environmental factors, variability.