

Chemotaxonomic study of *Spiraea aemiliana* compared to the closely species *S. betulifolia* and *S. beauverdiana*

V.A. Kostikova^{1,2*}, A.A. Kuznetsov², E.D. Tishchenko^{2,3}, A.N. Fayzylkhakova^{2,3}

¹Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch Russian Academy of Science, Zolotodolinskaya St. 101, 630090, Novosibirsk, Russia. E-mail: serebryakova-va@yandex.ru

²Tomsk State University, Lenin Ave, 36, 634050, Tomsk, Russia

³Novosibirsk State University, Pirogova St. 2, 630090, Novosibirsk, Russia

The composition and content of phenolic compounds in the leaves of *Spiraea aemiliana* Schneid. from 2 natural populations growing on the Island of Kunashir were studied by HPLC. The chromatographic profiles of *S. aemiliana* and closely related species *S. betulifolia* Pall. and *S. beauverdiana* Schneid. were compared. Nineteen compounds were detected in 40 % water-ethanol extracts from the leaves of *S. aemiliana*. Of these, chlorogenic, p-coumaric and cinnamic acids, quercetin, kaempferol, hyperoside, isoquercitrin, rutin, avicularin, astragalol and dihydroquercetin (taxifolin) were identified. A specific compound in the leaves of *S. aemiliana* is isoquercitrin, not identified in other closely related species. The chromatographic profiles of *S. aemiliana* and *S. betulifolia* are generally very similar. This is additional evidence of the opinion of scientists about the taxonomic rank of *S. aemiliana* as a subspecies, variation, or form of *S. betulifolia*. *Spiraea aemiliana* (the sum of phenolic compounds varies from 16.4 to 23.88 mg/g) is more similar to *S. beauverdiana* in the quantitative content of phenolic compounds. Leaves of *S. aemiliana* contain a lot of hyperoside (up to 9.50 mg/g), which is almost twice as much as that of *S. beauverdiana* (up to 4.3 mg/g) and 6 times that of *S. betulifolia* (up to 1.55 mg/g). The revealed difference in the hyperoside content between the three *Spiraea* taxa is statistically significant.

Key words: *Spiraea aemiliana*; *S. betulifolia*; *S. beauverdiana*; phenolic compounds; high performance liquid chromatography (HPLC); chemotaxonomy

Хемотаксономическое изучение *Spiraea aemiliana* в сравнении с близкородственными видами *S. betulifolia* и *S. beauverdiana*

Костикова В.А.^{1,2*}, Кузнецов А.А.², Тищенко Э.Д.^{2,3}, Файзылхакова А.Н.^{2,3}

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН

ул. Золотолинская, 101, Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: serebryakova-va@yandex.ru

²Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Россия

³Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, г. Новосибирск, 630090, Россия

Методом ВЭЖХ изучены состав и содержание фенольных соединений в листьях *Spiraea aemiliana* Schneid. из 2 природных популяций, произрастающих на острове Кунашир. Проведено сравнение хроматографических профилей *S. aemiliana* и близкородственных видов *S. betulifolia* Pall. и *S. beauverdiana* Schneid. В 40 % водно-этанольных экстрактах из листьев *S. aemiliana* выявлено 19 соединений. Из них идентифицированы хлорогеновая, п-кумаровая и коричневая кислоты, кверцетин, кемпферол, гиперозид, изокверцитрин, rutin, авикулярин, астрагалол и дигидрокверцетин. Специфическим соединением в листьях *S. aemiliana* является изокверцитрин, не идентифицированный у других близких видов. Хроматографические профили *S. aemiliana* и *S. betulifolia* в целом очень сходны. Это является дополнительным доказательством мнения учёных о таксономическом ранге *S. aemiliana* как подвида, вариации или формы *S. betulifolia*. По количественному содержанию фенольных соединений *S. aemiliana* (сумма фенольных соединений варьирует от 16,4 до 23,88 мг/г) более сходна с *S. beauverdiana*. Листья

S. aemiliana содержат много гиперозида (до 9,50 мг/г), что практически в два раза больше, чем у *S. beauverdiana* (до 4,3 мг/г) и в 6 раз у *S. betulifolia* (до 1,55 мг/г). Выявленная разница в содержании гиперозида между тремя таксонами *Spiraea* статистически достоверна.

Ключевые слова: *Spiraea aemiliana*; *S. betulifolia*; *S. beauverdiana*; фенольные соединения; высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ); хемотаксономия

Фенольные соединения широко применяются в хемотаксономических исследованиях из-за их повсеместного распространения в растениях, структурной изменчивости и химической стабильности (Vysochina, 2014; Singh, 2016). С помощью применения более новых биохимических методов изучения вторичных метаболитов, таких как метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) или ВЭЖХ – масс-спектрометрии, появляются возможности создания точных хроматографических профилей. Хемотаксономические исследования помимо фундаментального имеют и прикладное значение, поскольку все вторичные метаболиты обладают той или иной биологической активностью и используются для лечения и профилактики различных заболеваний. Кроме этого хроматографические профили растений («отпечатки пальцев», фингерпринты) широко применяются для оценки качества фармацевтического сырья в России и, особенно, за рубежом (Pavlova, 2015; Sharma et al., 2016).

В отношении взаимосвязи *S. betulifolia* Pall. и близких к ней *S. beauverdiana* Schneid. и *S. aemiliana* Schneid. ещё много неясного, что происходит, вероятно, как из различий в понимании объёма вида, так и из-за выбора дискриминантных признаков, по которым можно различать эти виды. При изучении изменчивости морфологических признаков подтверждено, что у *S. betulifolia* – голые либо редко опушённые цветоножки и прямой носик листовки, а у *S. beauverdiana* – густое опушение цветоножек и листовок, изогнутый носик листовки (Kostikova, Polyakova 2014, 2018). *Spiraea aemiliana* отличается от них низкой высотой до 30 см и округлыми монетковидными листьями. По габитусу более близка к *S. beauverdiana*, однако у *S. aemiliana* голые веточки соцветий. За пределами России *S. aemiliana* произрастает в Японии (Vorobyev, 1968; Yakubov, 1996).

Spiraea betulifolia проявляет антимикробную активность, на Чукотке используется как суррогат чая, а также она имеет кормовое значение. Сок листьев проявляет фитонцидную активность (Rastitelnyye resursy, 1987; Kiseleva et al., 2011). Листья и цветки *S. betulifolia* и *S. beauverdiana* содержат различные биологически активные вещества и проявляют антиоксидантную и противовирусную активность (Kostikova et al., 2016; Kostikova, Shaldaeva, 2017). Выявлена видоспецифичность качественного состава фенольных соединений в водно-этанольных экстрактах из листьев *S. betulifolia* и *S. beauverdiana*. Обнаружены хеморассы исследуемых спирей (Kostikova, Polyakova, 2018). Состав фенольных соединений *S. aemiliana* не изучен.

Цель настоящего исследования – изучение состава и содержания фенольных соединений в листьях *S. aemiliana* и сравнение её с другими близкородственными видами рода *Spiraea* секции *Calospira* C. Coch, произрастающими в России.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили листья *S. betulifolia* (22 популяции), *S. beauverdiana* (8 популяций) и *S. aemiliana* (2 популяции). Материал был собран в 2003 – 2017 гг. в Амурской, Магаданской, Сахалинской и Камчатской обл., в Еврейской автономной обл., в Хабаровском и Приморском кр. и Респ. Якутия. В данное исследование включены особи, строго попадающие под определение *S. betulifolia*, *S. beauverdiana* и *S. aemiliana*, чтобы выявить специфические различия в составе и содержании фенольных соединений. Особи и выборки со спорным таксономическим статусом, а также особи гибридного происхождения в настоящее исследование не включались. Все сборы проводились в июле – августе, во время созревания листовок. Сырьё высушивали на воздухе в затенённом месте. После сушки сырьё измельчали до 2 – 3 мм и отбирали репрезентативную пробу.

Для изучения фенольных соединений использовали водно-этанольные извлечения (40 % этиловый спирт) из листьев спирей, полученные экстракцией на водяной бане (Kostikova, 2017). Точную навеску (0.5000 г) измельчённого воздушно-сухого материала экстрагировали дважды: сначала 30 мл – в течение 30 минут, затем 20 мл – в течение 20 минут. После фильтрации остаток в колбе и на фильтре промывали 5 мл 40 % этилового спирта. Далее объединенный экстракт концентрировали в фарфоровых чашечках до 10 – 15 мл (точный объём). Анализ проводили в двух повторностях.

1 мл водно-этанольного экстракта разбавляли бидистиллированной водой до 5 мл и пропускали через концентрирующий патрон Диапак С16 (ЗАО «БиоХимМак»). Вещества смывали с патрона небольшим количеством (3 мл) 40 % водно-этанольного раствора, а затем 2 мл 96 % этанола. Объединенный элюат пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм.

Анализ фенольных соединений, содержащихся в элюате, проводили на аналитической ВЭЖХ-системе, состоящей из жидкостного хроматографа «Agilent 1200» (США) с диодно-матричным детектором, автосамплером и системой для сбора и обработки хроматографических данных ChemStation, модифицировав методику T.A. Van Beek (2002). Колонка Zorbax SB-C18, 4.6×150 мм, 5 мкм. Разделение проводили в следующих условиях: градиент от 31 до 33 % метанола, подкисленного в ортофосфорной кислоте (0.1 %) в течение 27 мин., далее в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0.1 %) изменялось от 33 до 46 % за 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°C. Объем вводимой пробы 10 мкл. Детектирование осуществляли при длинах волн $\lambda = 255, 270, 290, 340, 360$ и 370 нм.

Количественное определение индивидуальных компонентов в образцах растений проводили по методу внешнего стандарта при $\lambda = 360$ нм (Van Beek, 2002). Для приготовления стандартных образцов использовали кофейную и коричневую кислоты («Serva»), хлорогеновую и *l*-кумаровую кислоты, кверцетин («Sigma-Aldrich») эллаговую кислоту, изокверцитрин, рутин, авикулярин, астрагалин и гиперозид («Fluka»). Стандартные растворы готовили в концентрации 10 мкг/мл.

Относительное стандартное отклонение повторяемости при определении фенольных компонентов составило $\sigma_{\text{отн}} = 0,011$, относительное стандартное отклонение по времени удерживания у метода ВЭЖХ – 0,0018.

Математический анализ данных выполнен в ПСП Statistica 10. Изучение сходства и различия спирей по качественному составу фенольных веществ проводили методом кластерного анализа (Ayvazyan et al., 1989). Для проверки статистически достоверных различий в количественном содержании фенольных соединений среди исследованных таксонов использовали односторонний анализ ANOVA и многократный сравнительный тест Шеффе, Scheffe (Glants, 1998; Grzhibovskiy et al., 2016).

Результаты и обсуждение

В водно-этанольных экстрактах из листьев *S. betulifolia* и *S. beauverdiana* методом ВЭЖХ обнаружено 24 фенольных соединения. Из них идентифицированы эллаговая кислота, коричневая кислота и оксикоричные кислоты хлорогеновая и *l*-кумаровая, флавонолы кверцетин, кемпферол, гиперозид, рутин, авикулярин, астрагалин и дигидрофлавонол таксифолин (Kostikova, Polyakova, 2018). Кроме этих соединений в листьях *S. aemiliana* идентифицирован ещё один флавонол – изокверцитрин (рис. 1, табл. 1). Состав фенольных соединений из листьев исследуемых спирей в основном представлен флавонолами и фенолкарбоновыми кислотами. Обнаружен в листьях исследуемых спирей также один флавонол (табл. 1).

Общими соединениями, присутствующими в водно-этанольных экстрактах всех исследуемых видов рода *Spiraea* секции *Calospira*, являются гиперозид, астрагалин, кверцетин, флавонолы № 6 и № 17, флавонол № 11. Практически у всех растений встречаются хлорогеновая, *l*-кумаровая и коричневая кислоты и флавонолы № 16 и № 20.

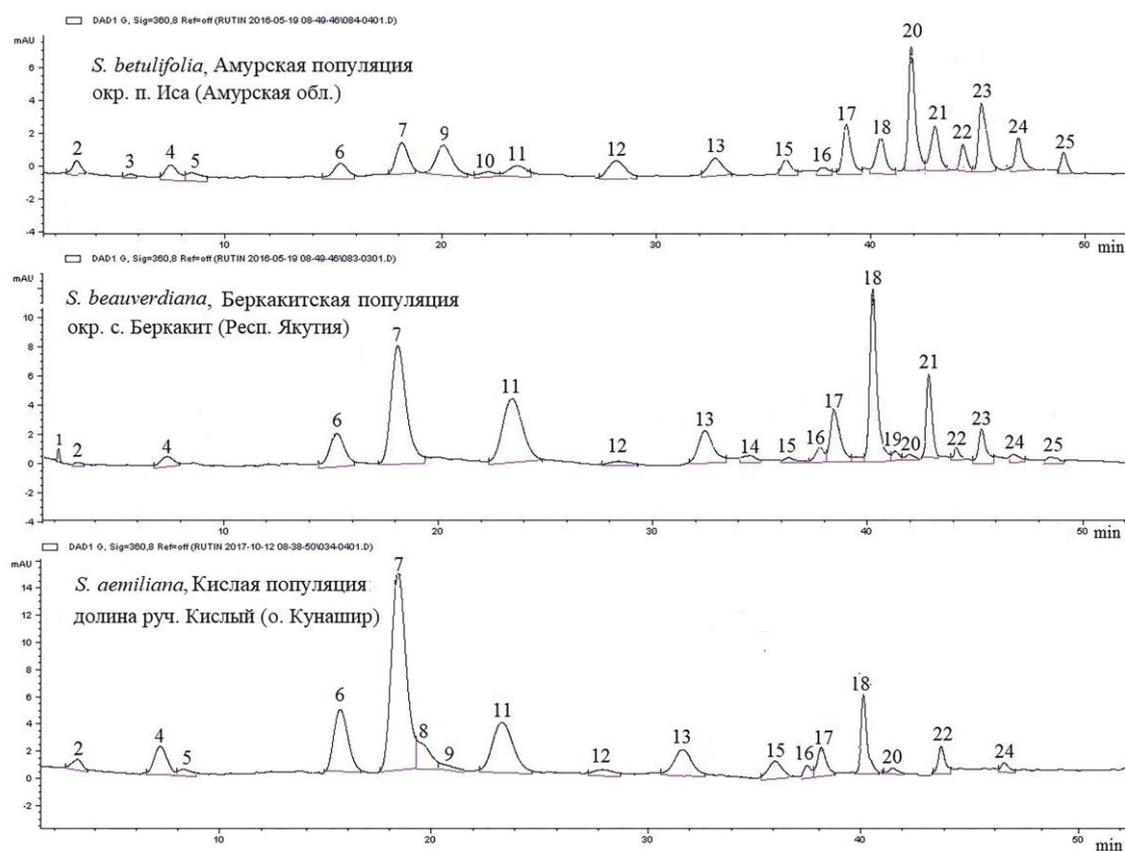


Рис. 1. Хроматограммы 40 % водно-этанольных экстрактов из листьев растений рода *Spiraea* секции *Calospira* при 360 нм. По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – сигнал детектора, е.о.п.

Figure 1. HPLC - Chromatograms of 40 % water-ethanol extracts of leaves of the species of the genus *Spiraea*, *Calospira* section detected by HPLC-DAD at 360 nm. On the X-axis – retention time, min; on the Y-axis – the detector signal, unit of the optical density.

Разнообразие состава фенольных соединений в экстрактах из листьев *S. aemiliana* (16–17 соединений) такое же, как и в листьях *S. betulifolia* (от 9 до 22 соединения) и *S. beauverdiana* (от 14 до 21 компонента).

Spiraea betulifolia отличается от *S. beauverdiana* наличием рутина, авикулярина и эллаговой кислоты в водно-

этанольных экстрактах из листьев, а также неидентифицированного соединения № 3. В листьях *S. beauverdiana* в следовых количествах обнаружен рутин только в растениях из Магаданской обл. и Хабаровского кр., а авикулярин – только у растений из респ. Якутия. Специфичными соединениями в экстрактах из листьев *S. beauverdiana* являются фенолоксилолы № 1 и № 19, которые отсутствуют у *S. betulifolia* (Kostikova, Polyakova, 2018). В листьях *S. aemiliana* идентифицирован изокверцитрин, не выявленный у других видов. Во всех образцах *S. aemiliana* обнаружены специфичные соединения для *S. betulifolia* рутин и авикулярин, однако отсутствуют эллаговая кислота и соединение № 3. В листьях *S. aemiliana* не выявлены фенолоксилолы № 1 и № 19, которые являются маркерными для *S. beauverdiana*.

Таблица 1 Характеристика фенольных соединений, обнаруженных в экстрактах из листьев растений рода *Spiraea* секции *Calospira*

Table 1. Characterization of phenolic compounds in extracts from leaves of the species of the genus *Spiraea*, *Calospira* section

№ пика	Соединение	Время удерживания (tr), мин	Спектральная характеристика λ_{max} , нм
1	фенолоксилола*	2,3	230, 320
2	хлорогеновая кислота	3,2	244, 300 пл, 330
3	компонент 3	5,9	-
4	<i>l</i> -кумаровая кислота	7,9	226, 293 пл, 320
5	таксифолин (дигидрокверцетин)	8,5	290
6	флавонол*	15,2	250, 265 пл, 355
7	гиперозид	18,0	255, 268 пл., 355
8	изокверцитрин	19,3	259, 266 пл., 358
9	рутин	20,0	256, 358
10	эллаговая кислота	22,0	255, 300 пл, 370
11	флавонол*	23,8	250, 340
12	авикулярин	28,4	260, 270 пл, 360
13	астрагалин	32,5	265, 300 пл., 350
14	фенолоксилола*	34,2	240, 300 пл., 330
15	коричная кислота	35,9	216, 270
16	флавонол*	37,8	260, 300 пл., 360
17	флавонол*	38,1	265, 300 пл., 355
18	кверцетин	40,6	255, 372
19	фенолоксилола*	41,5	225, 300 пл, 315
20	флавонол*	42,0	255, 300 пл, 355
21	фенолоксилола*	43,1	255, 265, 315
22	фенолоксилола*	44,0	235, 300 пл, 315
23	флавонол*	45,7	270, 300 пл, 350
24	кемпферол	46,9	266, 370
25	флавонол*	48,3	250, 300 пл, 360

Примечание: «–» – вещество не идентифицировано. * – группа веществ определена по спектральным характеристикам (Zargometov, 1974; Klyshev et al., 1978).

Проведён кластерный анализ всех исследуемых образцов видов рода *Spiraea* секции *Calospira* по составу фенольных соединений (рис. 2, табл. 2). *Spiraea betulifolia* и *S. beauverdiana* хорошо отличаются по составу

фенольных соединений. Ранее выявлены по 2 хеморасы этих видов (Kostikova, Polyakova, 2018). *Spiraea aemiliana* по хроматографическому профилю более сходна с *S. betulifolia*. Исследованные образцы *S. aemiliana* на дендрограмме образуют отдельный подкластер в кластере *S. betulifolia* и более сходны с образцами *S. betulifolia* из Охотской, Шикотанской и Курильской популяций. Поэтому по составу фенольных соединений признать видовую самостоятельность таксона *S. aemiliana* невозможно. Однако некоторые морфологические отличия *S. aemiliana* (высота растения до 30 см и округлая монетковидная листовая пластинка) и наличие изокверцитрина в ее листьях подтверждает мнение некоторых учёных о таксономическом ранге *S. aemiliana* как подвида, разновидности или формы *S. betulifolia*. Например, G. Koidzumi (1909) придал *S. aemiliana* ранг разновидности *S. betulifolia* Pall. var. *aemiliana* (C.K. Schneid.) Koidz., считая её синонимом *S. beauverdiana*. Этой же точки зрения придерживался J. Ohwi (1965) во «Flora of Japan». Н. Нара (1952) перевел этот таксон в ранг подвида *Spiraea betulifolia* Pall. subsp. *aemiliana* (C.K. Schneid.) Н. Нара. В.В. Якубов (1996) отмечает, что на Южных Курильских островах довольно часто встречается форма *S. betulifolia* с мелкими монетковидными листьями, внешне похожая на близкий вид *S. beauverdiana*, но отличающаяся от неё совершенно голыми веточками соцветий.

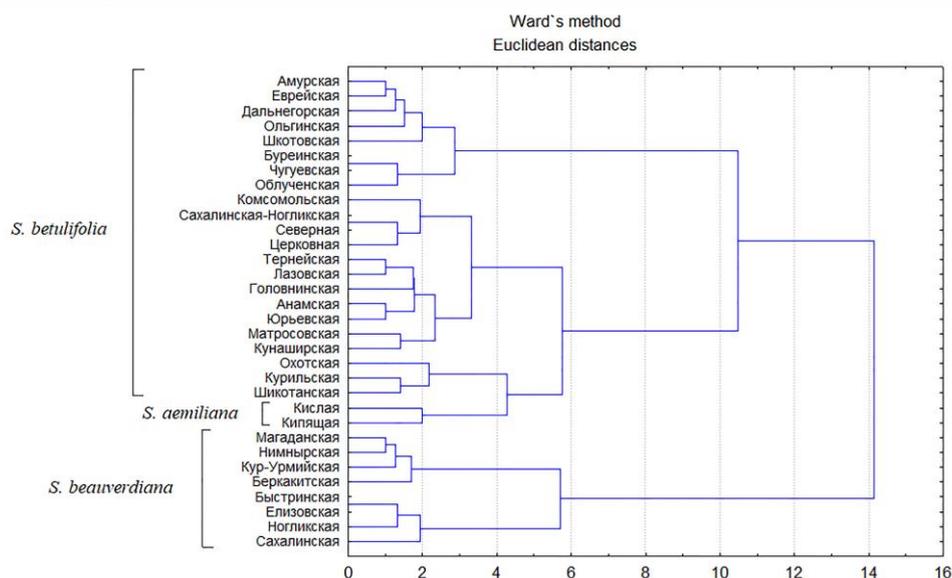


Рис. 2. Дендрограмма сравнения растений рода *Spiraea* секции *Calospira* по составу фенольных соединений в листьях.

Fig. 2. Dendrogram of comparison of the species of the genus *Spiraea*, *Calospira* section by composition of phenolic compounds in leaves.

В зависимости от места произрастания близкородственные виды могут накапливать разные вещества. *Spiraea betulifolia* занимает равнинно-низкогорные лесные территории средних и южных областей Азиатской России (Yakubov, 1996; Koropachinskiy, Vstovskaya, 2002). Мажорными соединениями в листьях *S. betulifolia* являются рутин (до 6,93 мг/г) и авикулярин (до 3,05 мг/г) (табл. 2). По содержанию этих компонентов *S. betulifolia* статистически достоверно отличается от двух других видов (при $P \leq 0,05$). *Spiraea beauverdiana* и *S. aemiliana* содержат меньше рутина и авикулярина в листьях и по результатам теста Шеффе не различаются между собой по их содержанию. *Spiraea beauverdiana* приобрела новые адаптационные признаки (густое опушение органов, тенденция к общему сокращению размеров растения), что позволило ей расселиться в более высокогорные (гольцовые) тундровые территории северной части ареала (Koropachinskiy, Vstovskaya, 2002; Kostikova, Polyakova 2014, 2018). В листьях *S. beauverdiana* повышается содержание многих идентифицированных веществ – гиперозида (до 4,3 мг/г), кверцетина (до 4,88 мг/г), кемпферола (до 0,84 мг/г), астрагалина (до 2,45 мг/г), *n*-кумаровой кислоты (до 1,58 мг/г) (табл. 2). Выявлена статистически достоверная разница между содержанием этих веществ у *S. beauverdiana* и *S. betulifolia*. Исследованные популяции *S. aemiliana* собраны в хвойных фитоценозах: в стланиковых зарослях – «Кипящая» популяция и в еловом замшелом лесу – «Кислая» популяция. *Spiraea aemiliana* подвергается действию сольфатарных полей, где большинство экологических факторов находятся в высокой степени напряжённости (Vatserionova, Koranina, 2016). По количественному содержанию фенольных соединений *S. aemiliana* более сходна с *S. beauverdiana* (табл. 2). Листья *S. aemiliana* содержат много гиперозида от 3,19 до 9,50 мг/г, что практически в два раза больше, чем у *S. beauverdiana* (до 4,3 мг/г) и в 6 раз у *S. betulifolia* (до 1,55 мг/г). Тест Шеффе показал достоверную разницу в содержании гиперозида у трёх изученных видов (табл. 2). Спиреи статистически достоверно различаются также и по содержанию кверцетина, количество которого в листьях *S. aemiliana* в два с половиной раза меньше (до 1,90 мг/г), чем у *S. beauverdiana* (до 4,88 мг/г), но выше чем у *S. betulifolia* (до 1,06 мг/г). Содержание изокверцитрина, обнаруженного только в листьях *S. aemiliana*, варьирует от 0,63 до 1,06 мг/г. Содержание в листьях *S. aemiliana* и *S. beauverdiana* астрагалина, *n*-кумаровой кислоты и кемпферола практически одинаковое. Статистически достоверно больше содержится этих веществ в листьях *S. aemiliana* и *S. beauverdiana*, по сравнению с *S. betulifolia*. По содержанию хлорогеновой и коричной кислот и дигидрокверцетина не выявлено различия между тремя видами спирей (табл. 2).

Суммарное содержание всех фенольных соединений в листьях *S. aemiliana* лежит в пределах суммарного содержания фенольных соединений у *S. beauverdiana* (12,7–24,52 мг/г) и составило от 16,4 до 23,88 мг/г. Разницы в содержании суммы фенольных соединений между *S. beauverdiana* и *S. aemiliana* не выявлено. Сумма фенольных соединений в листьях *S. betulifolia* (5,44–15,75 мг/г) ниже и статистически достоверно отличается от других исследуемых видов.

Таблица 2. Различия в содержании идентифицированных фенольных соединений в экстрактах из листьев трёх видов рода *Spiraea*

Table 2. Differences in the content of the identified phenolic compounds in extracts from leaves of three species of the genus *Spiraea*

Соединение	Содержание, мг/г		
	<i>S. betulifolia</i> (n* = 22)	<i>S. beauverdiana</i> (n = 8)	<i>S. aemiliana</i> (n = 2)
хлорогеновая кислота	<u>0 – 0,56**</u> 0,24 ± 0,04a***	<u>0,05 – 0,97</u> 0,40 ± 0,10a	<u>0,14 – 0,40</u> 0,27 ± 0,13a
<i>l</i> -кумаровая кислота	<u>0 – 0,77</u> 0,29 ± 0,04b	<u>0,29 – 1,58</u> 0,73 ± 0,15a	<u>0,56 – 1,26</u> 0,91 ± 0,35a
дигидрокверцетин	<u>0 – 0,34</u> 0,15 ± 0,03a	<u>0 – 0,63</u> 0,12 ± 0,08a	<u>0 – 0,57</u> 0,29 ± 0,29a
гиперозид	<u>0,13 – 1,55</u> 0,63 ± 0,09c	<u>1,03 – 4,30</u> 2,19 ± 0,41b	<u>3,19 – 9,50</u> 6,35 ± 3,16a
изокверцитрин	–	–	<u>0,63 – 1,06</u> 0,85 ± 0,22
рутин	<u>0,52 – 6,93</u> 2,60 ± 0,37a	<u>0 – 0,47</u> 0,10 ± 0,07b	<u>0,16 – 0,25</u> 0,21 ± 0,05b
эллаговая кислота	<u>0 – 1,01</u> 0,25 ± 0,05	–	–
авикулярин	<u>0,28 – 3,05</u> 1,26 ± 0,15a	<u>0 – 0,25</u> 0,03 ± 0,03b	<u>0,30 – 0,49</u> 0,40 ± 0,10a,b
астрагалин	<u>0,27 – 1,20</u> 0,55 ± 0,05b	<u>0,45 – 2,45</u> 1,45 ± 0,26a	<u>0,75 – 1,81</u> 1,28 ± 0,53a,b
коричная кислота	<u>0 – 0,40</u> 0,14 ± 0,02a	<u>0 – 0,78</u> 0,19 ± 0,09a	<u>0,08 – 0,91</u> 0,50 ± 0,42a
кверцетин	<u>0 – 1,06</u> 0,30 ± 0,07c	<u>2,27 – 4,88</u> 3,25 ± 0,37a	<u>1,34 – 1,90</u> 1,62 ± 0,28b
кемпферол	<u>0 – 0,50</u> 0,09 ± 0,03b	<u>0,22 – 0,84</u> 0,49 ± 0,07a	<u>0,23 – 0,73</u> 0,48 ± 0,25a

Примечание: «–» – вещество не обнаружено. * = n – количество проанализированных образцов. Значения: ** = минимум–максимум; *** = среднее ± ошибка среднего, далее результаты сравнения по тесту Шеффе (P≤0,05).

Заключение

Изучены состав и содержание фенольных соединений в листьях *S. aemiliana* из 2 природных популяций, произрастающих на острове Кунашир. Проведено сравнение хроматографических профилей *S. aemiliana* и близкородственных видов *S. betulifolia* и *S. beauverdiana*. В экстрактах из листьев *S. aemiliana* методом ВЭЖХ выявлено 19 соединений. Из них идентифицированы хлорогеновая, *l*-кумаровая и коричная кислоты, кверцетин, кемпферол, гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин, астрагалин и дигидрокверцетин. Специфичным соединением в листьях *S. aemiliana* является изокверцитрин, не идентифицированный у других близких видов. Хроматографические профили *S. aemiliana* и *S. betulifolia* в целом оказались очень сходными. Это является дополнительным доказательством мнения учёных о таксономическом ранге *S. aemiliana* как подвида, вариации или формы *S. betulifolia*.

Мажорными компонентами в листьях *S. betulifolia* являются рутин (до 6,93 мг/г) и авикулярин (до 3,05 мг/г). В листьях *S. beauverdiana* повышается содержание гиперозида (до 4,3 мг/г), кверцетина (до 4,88 мг/г), кемпферола (до 0,84 мг/г), астрагалина (до 2,45 мг/г) и *l*-кумаровой кислоты (до 1,58 мг/г), тогда как содержание рутина и авикулярина незначительно. По количественному содержанию фенольных соединений *S. aemiliana* (16,4 до 23,88 мг/г) более сходна с *S. beauverdiana*. Листья *S. aemiliana* содержат много гиперозида (до 9,50 мг/г), что практически в два раза больше, чем у *S. beauverdiana* (до 4,3 мг/г) и в 6 раз у *S. betulifolia* (до 1,55 мг/г).

Благодарности

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-00106 мол_а.

References

- Ayvazyan S. A. (1989). *Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizheniye razmernosti*. Moscow. 607 p. (in Russian).
- Glants S. (1998). *Mediko-biologicheskaya statistika*. Moscow. 459 p. (in Russian).
- Grzhibovskiy A.M., Ivanov S.V., Gorbatova M.A. (2016). Sravneniye kolichestvennykh dannykh trekh i boleye nezavisimyykh vyborok s ispolzovaniyem programmnoy obespecheniya Statistica i SPSS: parametricheskiye i neparametricheskiye kriterii. *Nauka i zdorovye. Metodologiya nauchnykh issledovaniy*, 4, 5–36. (in Russian).
- Hara H. (1952). *Spiraea betulifolia* Pall. subsp. *aemiliana*. (C.K.Schneid.) H. Hara. *J. Fac. Sci. Univ.* 3, 6, 77.
- Kiseleva T.I., Chindyayeva L.N., Tsybulya N.V. (2011). Biologicheskiye osobennosti i antimikrobnnyye svoystva vidov roda *Spiraea* L. v Novosibirsk. *Vestnik Irkut. gosudar. selskokhoz. akad.*, 44-1, 65–72. (in Russian).
- Klyshev L.K., Bandyukova V.A., Alyukina L.S. (1978). *Flavonoidy rasteniy*, Alma-Ata, 220 p. (in Russian).
- Koidzumi G. (1909). Notes on Japanese Rosaceae. Subfam. I. Spiraeoideae. *Bot. Mag.*, 23, 165–168.
- Koropachinskiy I.Yu. & Vstovskaya T.N. (2002). Drevesnyye rasteniya Aziatskoy Rossii. Novosibirsk, 707 p. (in Russian).
- Kostikova V.A. & Shaldaeva T.M. (2017). The Antioxidant Activity of the Russian Far East Representatives of the Genus *Spiraea* L. (Rosaceae Juss.). *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 43 (7), 100–104. DOI: [10.1134/S1068162017070081](https://doi.org/10.1134/S1068162017070081)
- Kostikova V.A. (2017). Opredeleniye optimalnykh usloviy ekstraktsii dlya issledovaniya sostava fenolnykh soyedineniy *Spiraea betulifolia* Pall. metodom HPLC. *Khimiya rastitel'nogo syria*, 1, 159–162. DOI: 10.14258/jcprm.2017011417. (in Russian).
- Kostikova V.A., Polyakova T.A. (2014). Eco - Geographical Variability of *Spiraea betulifolia* Pall. and *S. beauverdiana* Schneid. on the Morphological and Biochemical Markers. *Contemporary Problems of Ecology*, 7(3), 315–323.
- Kostikova V.A., Filippova E.I., Vysochina G.I., Mazurkova N.A. (2016). Protivovirusnaya aktivnost rasteniy roda *Spiraea* (Rosaceae), proizrastayushchikh v aziatskoy chasti Rossii. *Proceed. Int. Conf. dedicated to 70 years of CSBG SO RAN "Sokhraneniye raznoobraziya rastitel'nogo mira v botanicheskikh sadakh: traditsii. sovremennost. Perspektivy"*, Novosibirsk, 156–157. (in Russian).
- Kostikova V.A., Polyakova T.A. (2018). Morfologicheskaya i biokhimicheskaya izmenchivost rasteniy roda *Spiraea* L. seksii *Calospira* C. Koch. v rossiyskoy chasti areala. *Byulleten MOIP*, 4, 50–65 (in Russian).
- Ohwi J. (1965). *Flora of Japan*. Washington, 1067 p.
- Pavlova L.V. (2015). *Ekstraktsionno-khromatograficheskoye opredeleniye fiziologicheskii-aktivnykh komponentov tsvetkov "Romashki aptechnoy" i listyev "Evkalipta prutovidnogo"*. Thesis of Doctoral Dissertation. Samara, 176 p. (in Russian).
- Polozhiy A.V. (1988). Rod *Spiraea* L. – Tavolga. In *Flora Sibiri*, 8, 10-20 (in Russian).
- Rastitelnyye resursy SSSR: Tsvetkovyye rasteniya. ikh khimicheskii sostav. ispolzovaniye; Semeystva Hydraginaceae – Haloragaceae. (1987). Leningrad, 99–101. (in Russian).
- Sharma D.K., Kim S.G., Lamichhane R., Lee K.H., Poudel A., Jung H.J. (2016). Development of UPLC fingerprint with multicomponent quantitative analysis for quality consistency evaluation of herbal medicine "Hyangsapyeongwisan". *J. Chromatogr. Sci.*, 54(4), 536–546. DOI: [10.1093/chromsci/bmv182](https://doi.org/10.1093/chromsci/bmv182)
- Singh R. (2016). Chemotaxonomy: A Tool for Plant Classification. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 4(2), 90–93.
- Van Beek TA. (2002). Chemical analysis of *Ginkgo biloba* leaves and extracts. *J Chromatogr A*, 967, 21–35.
- Vatserionova E.O., Kopanina A.V. (2016). Osobennosti struktury molodykh stebly *Spiraea beauverdiana* v usloviyakh solfatarnykh poley kaldery vulkana Golovnina, ostrov Kunashir. *Byulleten Botanicheskogo sada-instituta*, 15, 8–10. (in Russian).
- Vorobyev D.P. (1968). *Dikorastushchiye derevia i kustarniki Dalnego Vostoka*. Opredelitel. Leningrad, 278 p. (in Russian).
- Vysochina G.I. (2004). Fenolnyye soyedineniya v sistematike i filogenii semeystva grechishnykh. Novosibirsk, 240 p. (in Russian).
- Yakubov V.V. (1996). Rod Tavolga – *Spiraea* L. In *Sosudistyye rasteniya Sovetskogo Dalnego Vostoka*. Sankt-Petersburg, 8, 130–136 (in Russian).
- Zaprometov M.N. (1974). *Osnovy biokhimii fenolnykh soyedineniy*. Moscow, 213 p. (in Russian).

Citation:

Kostikova, V.A., Kuznetsov, A.A., Tishchenko, E.D., Fayzylkhakova, A.N. (2019). Chemotaxonomic study of *Spiraea aemiliana* compared to the closely species *S. betulifolia* and *S. beauverdiana*. *Acta Biologica Sibirica*, 5 (3), 15-21.

Submitted: 02.05.2019. Accepted: 10.06.2019

crossref <http://dx.doi.org/10.14258/abs.v5.i3.6352>



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).