

Эколого-биохимические особенности пятилистика кустарникового при интродукции

Е. П. ХРАМОВА, Н. М. ШКЕЛЬ

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090 Новосибирск, ул. Золото долинская, 101

АННОТАЦИЯ

Установлена связь накопления флавонолов с эколого-географическими условиями естественного произрастания растений. Определена динамика накопления флавонолов в разных органах пятилистика кустарникового по фазам вегетации. С помощью кластерного анализа показано, что различия по биохимическим показателям между экотипами пятилистика кустарникового сохраняются при интродукции. Выделены конкретные экотипы с высоким содержанием флавонолов, которые послужат основой для создания сортов.

В настоящее время использование растений в качестве лекарственного сырья и пищевых продуктов профилактического назначения приобретает все большее значение. Возрастающие потребности в растительном сырье для фармацевтической и пищевой промышленности приводят к увеличению заготовок в местах естественного произрастания и, как следствие, истощению запасов в природе и нарушению природных экосистем. Поэтому определение путей рационального использования и введение перспективных видов в культуру являются весьма актуальными. К таковым относится *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz – пятилистник кустарниковый, полезные свойства которого хорошо известны [1]. Однако важнейшим критерием для введения в культуру лекарственного или пищевого растения является содержание биологически активных веществ. В этом отношении данный вид мало исследован, что сдерживает его хозяйственное использование.

Цель нашей работы – выявить особенности накопления флавонолов пятилистником кустарниковым при интродукции в лесостепную зону Западной Сибири.

Пятилистник кустарниковый содержит большой спектр биологически активных соеди-

нений: дубильные вещества, флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, сапонины, алкалоиды, эфирные масла, кумарины, аскорбиновую кислоту [1–8]. Своими ценными лечебными свойствами, в частности Р-витаминной или капилляроукрепляющей активностью, растение во многом обязано флавонолам, поэтому именно эта группа биологически активных веществ представляла особый интерес в наших исследованиях.

Работа по поиску, отбору материала и интродукции пятилистика кустарникового выполнена канд. биол. наук В. М. Триль. Ею собраны семена этого растения в естественных местообитаниях в Центральном и Юго-Восточном Алтае, Иркутской области и высажены на экспериментальном интродукционном участке в ЦСБС в 1989 г. Для исследования в природных местообитаниях отбирали популяции из различных экологических условий, проявляющихся при широтном и долготном расселении вида и особенно при продвижении вида в горы [9].

Так, с продвижением из низкогорных остепненных мест в Иркутской области (высота 600–800 м) до высокогорных каменистых склонов Юго-Восточного Алтая (хр. Чихачева, высота 2100 м над ур. м.) у пятилистика кустар-

никового прослеживается ряд популяций, в особях которых под влиянием усиливающегося недостатка влаги и тепла наблюдается значительная меж- и внутривидовая изменчивость некоторых морфологических признаков и биологических свойств. Для интродукции брали наиболее продуктивные из них. При переносе особей этих популяций в культуру различия в анатомической структуре листа (толщина пластинки листа, верхнего эпидермиса, палисадной паренхимы), установленные между ними в природе, сохраняются [10]. Объектами нашего изучения были растения семи экотипов, интродуцированные в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН:

Степной иркутский экотип – семена пятилистника кустарникового собраны в Иркутской области в окрестностях г. Иркутска на кустарниково-разнотравных остепненных террасах реки (юго-западный склон), высота 600–800 м над ур. м. Почва пойменно-аллювиальная, супесчаная. В травяном покрове – *Sanguisorba officinalis*, *Galium verum*, *Vicia unijuga*, *Poa sibirica*, *Festuca pratensis*, *Crepis sibirica*, *Thalictrum minus*, *Trollius asiaticus*, *Achillea asiatica*. $2n = 42$.

Степной усть-канский экотип – семена собраны в Центральном Алтае в окрестностях с. Усть-Кан (Канская степь). Кустарниковая луговая степь мелкодерновинно-разнотравно-злаковая. Высота 1200–1300 м над ур. м. Почвы лугово-степные каштановые с примесью щебня, умеренно влажные. Освещенность 100 %. В травяном покрове – *Poa sibirica*, *Festuca pseudovina*, *Agropyron repens*, *Carlina biebersteinii*, *Achillea millefolium*, *Artemisia frigida* и др. Средняя пастбищная нагрузка. $2n = 14$.

Луговой теректинский экотип – семена собраны в Центральном Алтае на нижних террасах пологих склонов, занятых манжетково-разнотравным моховым лугом в долине р. Тутыгем. Отроги Теректинского хребта, ущелье Тутыгем, высота 1300–1500 м над ур. м. Почвы черноземовидные, луговые, умеренно увлажненные. Древесный ярус представлен редкостойным лиственничником *Larix sibirica*. Эдификатор кустарникового яруса – пятилистник кустарниковый. В травяном покрове преобладают *Phleum phleoides*, *Festuca pseudovina*, *Alchemilla xanthochlora*, *Gentiana macrophylla*. Сильная пастбищная нагрузка. $2n = 14$.

Луговой семинский экотип – семена собраны на Семинском перевале в окрестностях с. Топучая (Центральный Алтай), где пятилистник кустарниковый произрастает на низинном кустарниково-разнотравном лугу в пойме р. Семы на высоте 1200 м над ур. м., имеет довольно изолированное местообитание на стыке горных хребтов. Возможно, его появление здесь в далеком прошлом как-то было связано с высокогорными ценопопуляциями. Почвы луговые, влажные. В травяном покрове присутствуют *Veratrum lobelianum*, *Trollius asiaticus*, *Filipendula ulmaria*, *Ranunculus* sp., *Bistorta major*, *Galium boreale*, *Thalictrum flavum*, *Sanguisorba officinalis*, *Carex* sp., *Geranium pratense*, *Lupinaster pentaphyllus*, *Vicia cracca*, *Pimpinella saxifraga* и др. Умеренная пастбищная нагрузка. $2n = 42$.

Лугово-степной экотип – семена собраны в Юго-Восточном Алтае в окрестностях с. Курай, на южном склоне, занятом мелкозлаково-разнотравно-злаковым лугом по временному водотоку. Напоминает местообитания "тундростепи". Высота 1700–1800 м над ур. м. Почвы горно-луговые сырые в месте произрастания, вокруг – степные каштановые с примесью щебня. Освещенность 100 %. Травяной покров представлен *Festuca rubra*, *Carlina biebersteinii*, *Potentilla bifurca*, *Ranunculus* sp. Сильная пастбищная нагрузка. $2n = 42$.

Субальпийский экотип – семена собраны в Юго-Восточном Алтае на Курайском хребте в окрестностях с. Курай на субальпийском манжетково-разнотравном лугу на границе лесного и альпийского поясов. Высота 2200 м над ур. м. Почвы горно-луговые, влажные. Кустарниковый ярус образует *Pentaphylloides fruticosa*. Травяной покров составляют *Alchemilla xanthochlora*, *Geranium pratense*, *Bistorta major*, *Saussurea frolovii*, *Gentiana pneumonanthe*, *Stemmacantha carthamoides*, *Trollius asiaticus* и др. Умеренная пастбищная нагрузка. $2n = 42$.

Галечниковый экотип – семена растений собраны в Юго-Восточном Алтае на западном склоне хр. Чихачева, в галечниковой пойме ручья на высоте 2100 м над ур. м. Почвы плохо выражены, галечник. Освещенность 100 %. В кустарниковом ярусе присутствуют *Pentaphylloides fruticosa*, *Salix arbuscula*, редко *Comarum salesovianum*. В травяном покрове преобладают *Agropyron cristatum*, *Galium boreale*,

Poa sibirica, *Festuca rubra*. Травяной покров редкий, близок по составу к тундростепям. $2n = 42$.

Природные условия районов естественного произрастания пятилистника кустарникового и района интродукции резко отличаются по рельефу, климату, почвообразовательным процессам и другим факторам.

Если рельеф Горного Алтая представляет собой сочетание систем горных хребтов, нагорий и межгорных впадин, то характерной особенностью рельефа Иркутской области является значительная расчлененность Среднесибирского плоскогорья долинами рек Ленского и Ангарского бассейнов, а рельеф Новосибирска – дренированная равнина.

Разница в основных климатических показателях большая [11–13]. Район интродукции пятилистника кустарникового имеет высоту над уровнем моря 169 м, т. е. в 4–12 раз меньшую по сравнению с районами естественного произрастания (Центральный Алтай – 1200–1500 м, Юго-Восточный Алтай – 1700–2200 м, Иркутская область – 600–800 м над ур. м.). Среднегодовое количество осадков в районе интродукции в 1,5–2 раза больше и среднегодовая температура превышает природную в 2–22 раза. Среднемесячные температуры воздуха самого холодного месяца выше на 3–10°, самого теплого – на 0,3–10°. Продолжительность безморозного периода больше в 2 раза по сравнению с Горным Алтаем.

Таким образом, природно-климатические условия естественного произрастания пятилистника кустарникового резко отличаются от условий в районе интродукции – лесостепной зоне Западной Сибири. Изменяются режим увлажнения, колебания амплитуды температур, продолжительность солнечного сияния, почвенный покров и другие факторы, что не может не отразиться на росте и развитии, продуктивности растений и накоплении биологически активных веществ в новых условиях выращивания.

Флавоноловый состав интродуцированного пятилистника кустарникового представлен кверцетином, кемпферолом, кверцитрином, изокверцитрином и астрагалином [2–5, 14]. Для определения их содержания брали по 20 особей каждого экотипа. Срезали молодые облиственные побеги длиной 15–20 см и разделяли на листья, стебли и репродуктивные органы.

Образцы собирали в разные фазы развития: начала вегетации, бутонизации, массового цветения, плодоношения. Количественное содержание флавонолов определяли хроматоспектрофотометрическим методом [15].

Результаты изучения накопления суммы флавонолов в различных органах растений пятилистника кустарникового разных экотипов представлены в табл. 1.

Как видно из приведенных в таблице данных, наибольшее содержание флавонолов отмечено в листьях, бутонах и цветках, наименьшее – в стеблях и плодах.

В накоплении флавонолов в стеблях растений пятилистника кустарникового всех экотипов наблюдается следующая закономерность: наименьшее количество флавонолов отмечено в период начала вегетации, в фазе бутонизации происходит повышение содержания данных веществ до максимума и затем постепенное снижение количества флавонолов в фазе цветения и плодоношения. Исключением являются растения степного иркутского экотипа, у которых минимум количества флавонолов отмечен в фазе плодоношения (0,56 %). Следует отметить, что наибольшее количество флавонолов в стеблях в фазе бутонизации найдено в растениях лугового семинского (1,57 %), субальпийского (1,38 %) и степного иркутского экотипов (1,37 %).

Общее количество флавонолов в листьях пятилистника кустарникового претерпевало более существенные колебания, чем в стеблях: максимальное содержание отмечено в фазе бутонизации, затем следует снижение в фазе цветения и вновь небольшой подъем в фазе плодоношения, за исключением растений субальпийского и галечникового экотипов, у которых наблюдается снижение содержания флавонолов и в фазе плодоношения (см. табл.1).

Неодинаковый характер накопления флавонолов в листьях пятилистника кустарникового у различных экотипов ясно виден на рис. 1 и 2. В период бутонизации в накоплении флавонолов у растений различных экотипов наблюдается определенная тенденция. По количеству флавонолов, содержащихся в листьях растений в фазе бутонизации, от наибольшего к наименьшему экотипы можно расположить в следующий ряд: степной иркутский – степной устьканский – луговой теректинский – лугово-степ-

Таблица 1

Содержание суммы флавонолов в надземных органах пятилистника кустарникового по фазам развития (на абс. сух. массу, %)

Экотип	Органы растения	Начало вегетации	Бутонизация	Цветение	Плодоношение
Степной иркутский	Листья	4,84 ± 0,40	14,03 ± 1,35	4,32 ± 0,32	5,80 ± 0,57
	Стебли	0,79 ± 0,10	1,37 ± 0,14	1,18 ± 0,08	0,56 ± 0,07
	Репродуктивные	–	8,15 ± 0,98	9,80 ± 0,64	2,31 ± 0,42
Степной усть-канский	Листья	4,96 ± 0,42	13,66 ± 1,00	5,75 ± 0,46	7,92 ± 0,72
	Стебли	0,22 ± 0,04	0,81 ± 0,10	0,89 ± 0,10	0,42 ± 0,07
	Репродуктивные	–	6,18 ± 0,69	8,67 ± 1,21	1,91 ± 0,28
Луговой теректинский	Листья	5,13 ± 0,63	12,66 ± 1,24	5,25 ± 0,45	7,87 ± 0,71
	Стебли	0,16 ± 0,03	0,94 ± 0,13	0,95 ± 0,12	0,51 ± 0,07
	Репродуктивные	–	6,02 ± 0,72	8,92 ± 0,85	3,48 ± 0,62
Луговой семинский	Листья	5,04 ± 0,63	6,67 ± 0,72	4,48 ± 0,41	6,52 ± 0,94
	Стебли	0,19 ± 0,03	1,57 ± 0,17	1,06 ± 0,13	0,53 ± 0,04
	Репродуктивные	–	6,16 ± 0,50	10,94 ± 1,15	2,76 ± 0,46
Лугово-степной	Листья	5,26 ± 0,53	10,68 ± 0,98	4,06 ± 0,21	7,32 ± 0,89
	Стебли	0,24 ± 0,04	1,01 ± 0,11	0,77 ± 0,08	0,37 ± 0,04
	Репродуктивные	–	6,93 ± 0,74	10,14 ± 0,95	1,84 ± 0,26
Субальпийский	Листья	4,91 ± 0,51	8,88 ± 0,96	5,41 ± 0,49	5,28 ± 1,03
	Стебли	0,12 ± 0,02	1,38 ± 0,17	0,98 ± 0,14	0,49 ± 0,08
	Репродуктивные	–	8,05 ± 1,89	8,15 ± 1,19	2,00 ± 0,62
Галечниковый	Листья	5,45 ± 1,19	8,21 ± 1,24	7,32 ± 1,07	6,23 ± 1,94
	Стебли	0,17 ± 0,04	1,21 ± 0,30	0,70 ± 0,14	0,36 ± 0,06
	Репродуктивные	–	7,08 ± 2,01	6,22 ± 1,23	3,21 ± 0,53

ной – субальпийский – галечниковый – луговой семинский.

В. М. Триль и А. Д. Кулешов [10], изучая анатомическое строение листа этих же растений лугового (теректинского), степного (усть-канского), лугово-степного, субальпийского и галечникового экотипов пятилистника кустарникового при интродукции, выявили четкое различие между ними и составили подобный ряд. В ряду от лугового до галечникового экотипа идет увеличение таких признаков, как толщина пластинки листа, толщина мезофилла, главным образом, за счет увеличения палисадной паренхимы, уменьшается извилистость клеток верхнего и нижнего эпидермиса. Авторы объясняют изменение анатомических признаков разными экологическими условиями в местах естественного произрастания растений.

Следует отметить, что и фенольные соединения как вещества вторичного биосинтеза характе-

ризуются значительной пластичностью, проявляющейся в заметной изменчивости качественного состава компонентов и их количества в зависимости от экологических условий [15–16].

В отличие от фазы бутонизации в период цветения наблюдается несколько иная зависи-

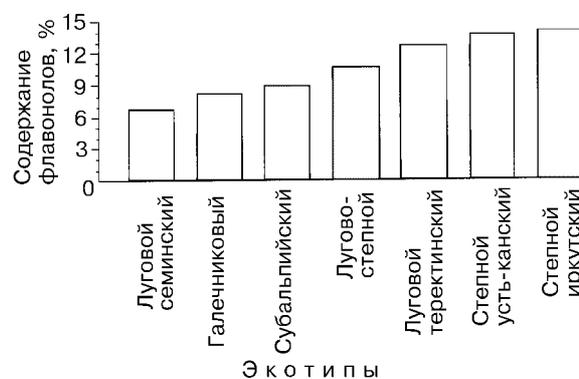


Рис. 1. Содержание флавонолов в листьях растений разных экотипов пятилистника кустарникового в фазе бутонизации.

мость накопления флавонолов от естественного местообитания растений (см. рис. 2).

Наибольшее содержание флавонолов выявлено у растений из Юго-Восточного Алтая – галечникового (7,32 %) и субальпийского (5,41 %) экотипов. Минимум их обнаружен в листьях растений лугово-степного (4,06 %) и степного иркутского (4,32 %) экотипов.

Из литературных данных известно, что в природных условиях с повышением высоты произрастания растений над уровнем моря содержание флавоноидов в растениях увеличивается [17–19]. Многие авторы объясняют этот факт усилением солнечной радиации и увеличением доли УФ-света. В нашей работе мы отмечаем в период цветения тенденцию к увеличению содержания флавонолов в листьях пятилистика кустарникового в направлении из мест естественного произрастания с более мягким климатом (Иркутской обл.) к местам естественного произрастания с более суровыми условиями (Юго-Восточный Алтай).

Отмеченные различия в накоплении флавонолов у разных экотипов обусловлены, по-видимому, их различной экологической природой, выработанной в процессе адаптивной эволюции и проявляющейся в разной реакции на сходные воздействия внешней среды. Это свидетельствует о разном уровне приспособления вида к различным экологическим условиям и большой его пластичности. Как указывает М. В. Культиасов [20], предшествующая история развития растений сказывается на стойкости приобретенных ими признаков.

В репродуктивных органах пятилистика кустарникового в отличие от листьев и стеблей

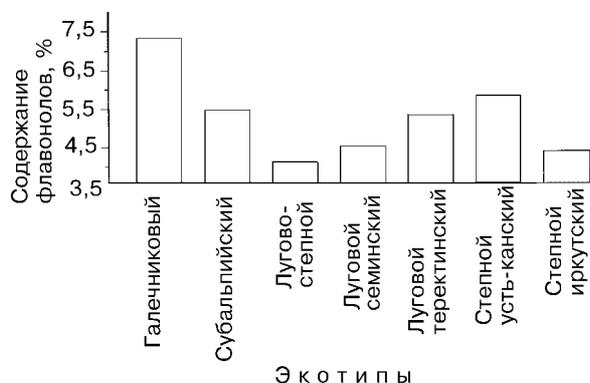


Рис. 2. Содержание флавонолов в листьях пятилистика кустарникового разных экотипов в фазе цветения.

наблюдается иная зависимость. Практически для растений всех экотипов максимальное содержание флавонолов отмечено в фазе цветения, минимальное – в фазе плодоношения, исключение составляют растения галечникового экотипа, у которых максимум отмечен в фазе бутонизации. Высокое содержание флавонолов в бутонах обнаружено у растений степного иркутского (8,15 %) и субальпийского (8,05 %) экотипов. Наиболее низкие показатели в фазе бутонизации выявлены у растений из Центрального Алтая.

В цветках высокое содержание флавонолов отмечено у растений лугового семинского (10,94 %), лугово-степного (10,14 %) и степного иркутского (9,80 %) экотипов, меньше – у растений галечникового (6,22 %) и субальпийского (8,15 %) экотипов.

В фазе плодоношения общее содержание флавонолов в плодах у растений всех экотипов существенно уменьшается.

Для определения близости по биохимическим признакам у растений различных экотипов пятилистика кустарникового проведен кластерный анализ. В качестве меры сходства использовали Евклидово расстояние (Ej. k.). Проанализировав весь массив данных по количеству флавонолов (в сумме, по группам и индивидуальным компонентам) в различных органах и в разные фазы развития растений, мы обнаружили, что наибольшее различие между экотипами наблюдается в фазе бутонизации.

На дендрограмме сходства (рис. 3) выделено 2 основных кластера.

В первый кластер вошли субальпийский, галечниковый и луговой (семинский) экотипы. Наибольшая степень сходства обнаружена у растений галечникового и субальпийского экотипов, к ним примыкает луговой (семинский). Именно эти растения интродуцированы из мест естественного обитания, климатические условия которых резко отличаются от остальных. Семена растений галечникового и субальпийского экотипов собраны в Юго-Восточном Алтае, отличающемся суровыми климатическими условиями; растения лугового (семинского) экотипа, хотя и относятся к низкогорным районам Алтая (1200 м над ур. м.), имеют довольно изолированное местообитание на стыке горных хребтов. Следует отметить, что данные популяции – гексаплоиды ($2n = 42$) [21].

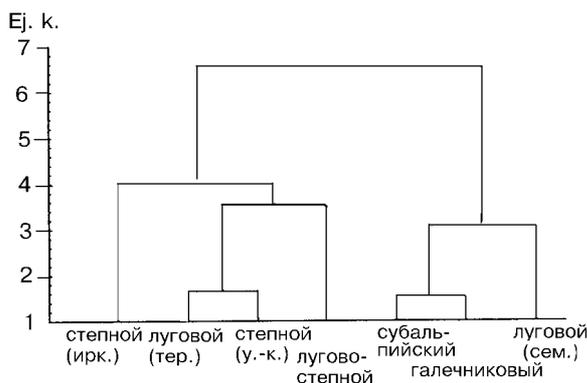


Рис. 3. Дендрограмма сходства экотипов пятилистика кустарникового.

Второй кластер составляют луговой (теректинский), степной (усть-канский), лугово-степной и степной (иркутский) экотипы. Наиболее сходны степной (усть-канский) и луговой (теректинский). Растения этих экотипов интродуцированы из мест естественного обитания, климатические условия которых более близки к условиям района интродукции. К ним примыкает лугово-степной экотип. Степной (иркутский) имеет наименьшее сходство со всеми изучаемыми экотипами, что можно объяснить его происхождением (Восточная Сибирь).

Полученные результаты показывают, что растения различных экотипов сохраняют различия по биохимическому признаку в культуре.

Таким образом, проведенные нами исследования по количественному определению флавонолов у пятилистика кустарникового в зависимости от органа и фазы развития растений показали, что максимальное их накопление происходит в листьях в фазу бутонизации, а в репродуктивных органах – в фазу цветения. Установлена связь накопления флавонолов в растениях пятилистика кустарникового разных экотипов в одинаковых условиях интродукции с эколого-географическими условиями их естественного произрастания. На основании проведенных исследований для лесостепной зоны Западной Сибири наиболее перспективны по накоплению флавонолов растения степного

(иркутского и усть-канского) и лугового (теректинского) экотипов.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Телятьев. Полезные растения Центральной Сибири, Иркутск, 1987.
2. E. C. Bate-Smith, *J. Linnean Soc. London. Botany*, 1961, **58**: 370, 39–54.
3. А. И. Шретер, Лекарственная флора советского Дальнего Востока, М., Медицина, 1975.
4. Г. М. Федосеева, *Химия природ. соединений*, 1979, 4, 575–576.
5. Растительные ресурсы СССР, Л., Наука, Ленинград-дние, 1987.
6. Т. В. Ганенко, В. И. Луцкий, М. Ф. Ларин и др. *Химия природ. соединений*, 1988, 3, 451.
7. Т. В. Ганенко, А. А. Семенов, Там же, 1989, 6, 856.
8. Т. В. Ганенко, А. Л. Верещагин, А. А. Семенов, Там же, 1991, 2, 285.
9. Е. В. Тюрина, Ускорение интродукции растений Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1989, 34–46.
10. В. М. Триль, А. Д. Кулешов, Экологические проблемы интродукции растений на современном этапе, Тез. докл. международ. конф., Краснодар, 1993, 587–590.
11. Агроклиматические ресурсы Иркутской области, Л.: Гидрометеоздат, 1977.
12. Агроклиматические ресурсы Новосибирской области, Л., Гидрометеоздат, 1971.
13. Агроклиматический справочник по Горно-Алтайской автономной области, Л., Гидрометеоздат, 1962.
14. Н. М. Шкель, Е. П. Храмова, Е. В. Кузаков и др., *Химия в интересах устойчивого развития*, 1997, **5**: 1, 123–127.
15. В. Г. Минаева, Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1978.
16. Л. В. Полякова, Флавоноиды в природных и интродукционных популяциях представителей сем. Бобовых Сибири, Автореф. дис.... д-ра биол. наук, Новосибирск, 1993.
17. В. Г. Минаева, Т. А. Волхонская, А. В. Киселева, Полезные растения природной флоры Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1967, 109–114.
18. А. Г. Валуцкая, Закономерности накопления флавонолов у некоторых видов рода *Vupleurum* в Юго-Восточном Алтае, Автореф. дис.... канд. биол. наук. Томск, 1969.
19. П. М. Жибоедов, Физиолого-биохимические аспекты адаптации растений на Кольском Севере, Апатиты, 1991, 13–23.
20. М. В. Культиасов, Теоретические основы и организация исследовательских работ в системе АН СССР по эколого-историческому методу флор Кавказа, Средней Азии и Дальнего Востока в целях интродукции, М.-Л., 1953, 48–53.
21. В. М. Триль, Т. А. Волхонская, А. А. Красников, Хемосистематика и эволюционная биохимия высших растений, Тез. докл. 4 Всесоюз. совещ., М., 1990, 93–95.

**Ecological and Biochemical Peculiarities
of *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz
under Introduction**

E. P. KHRAMOVA, N. M. SHKEL

The dependence of flavonols accumulation on the ecological and geographic conditions of natural growth of the plants is established. The time course of accumulation of flavonols in different parts of *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz in phases of vegetation is defined. Cluster analysis showed, that the differences in the biochemical indicators between the ecotypes of *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz persist under introduction. Particular ecotypes with a high content of flavonols which will be used for breeding reseach were selected .