

УДК 615.322:582.734

## ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *POTENTILLA* L.

© Л.И. Тихомирова\*, Н.Г. Базарнова, А.В. Сысоева, Л.В. Щербакова

Алтайский государственный университет, пр. Ленина, 61, Барнаул, 656049  
(Россия), e-mail: L-tichomirova@yandex.ru

Род лапчатка (*Potentilla* L.) – представитель семейства Rosaceae, распространен в умеренном, арктическом и альпийском поясах Северного полушария. Род известен еще с древнейших времен своими целебными свойствами. Современные фармакологические исследования подтверждают традиционное использование экстрактов видов лапчаток при различных заболеваниях. Фитохимия представителей *Potentilla* L. мало изучена. Биотехнология получения возобновляемого сырья разработана только для *Potentilla alba* L.

Цель работы – проведение фитохимического анализа биотехнологического сырья *Potentilla alba* L. и *Potentilla fragarioides* L., выявление особенности элементного состава и накопления биологически активных веществ в сравнении с интактными растениями.

В результате проведенных исследований разработана биотехнология получения фитомассы *P. fragarioides*. Проведена оценка интенсивности и специфики накопления химических элементов органами растений-регенерантов *P. alba* из питательных сред в культуре ткани. Отмечены элементы энергичного накопления – Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Mo Cu, а также элемент сильного накопления – Co. Отмечены особенности элементного состава растительного сырья *P. alba* в зависимости от способа получения. Оценена доброкачественность, содержание водо- и спирторастворимых экстрактивных веществ и некоторых групп биологически активных веществ.

Выявлено, что лапчатка белая и лапчатка земляникоподобная являются концентраторами флавоноидов и дубильных веществ. При этом показатели накопления биологически активных веществ в лапчатке земляникоподобной превышают показатели, установленные для лапчатки белой, как в традиционном, так и в биотехнологическом сырье.

**Ключевые слова:** *Potentilla alba* L., *Potentilla fragarioides* L., растительное сырье, биотехнология получения, элементный состав, фитохимическая характеристика.

### Введение

Лекарственные препараты из растительного сырья имеют основной недостаток: ограниченность природных источников, промышленное использование которых влечет за собой определенные экологические проблемы [1]. Одной из важнейших задач развития фармацевтической и пищевой отраслей промышленности является обеспечение их возобновляемым сырьем с необходимыми свойствами.

Род лапчатка (*Potentilla* L.) – один из больших и полиморфных родов семейства розоцветных флоры Западной Сибири и Горного Алтая [2]. Некоторые представители рода давно используются в народной и официальной медицине, однако их фитохимический состав недостаточно изучен. В настоящий момент

лишь единичные представители рода *Potentilla* L., такие как лапчатка прямостоячая (*Potentilla erecta* L.) и трава лапчатки серебристой (*Potentilla argentea* L.), являются официальным сырьем.

Современные фармакологические исследования в целом подтвердили традиционное использование видов лапчатки и их экстрактов из надземной и/или подземной части, при воспалениях, колитах, некоторых форм рака, вирусных и бактериальных инфекциях, нарушении иммунной системы, сахарном диабете, заболеваниях печени [3].

---

Тихомирова Людмила Ивановна – кандидат биологических наук, заведующая отделом биотехнологии растений ЮСБС АлтГУ, e-mail: L-tichomirova@yandex.ru

Базарнова Наталья Григорьевна – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой органической химии, декан химического факультета, e-mail: bazarnova@chemwood.asu.ru

Сысоева Александра Викторовна – студентка, e-mail: L-tichomirova@yandex.ru

Щербакова Людмила Владимировна – доцент кафедры техноферной безопасности и аналитической химии, e-mail: l.v.sch.1970@mail.ru

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Наиболее изученной в химическом и фармакологическом плане является лапчатка белая (*Potentilla alba* L.) [4–6] – многолетнее травянистое лекарственное растение, 8–25 см высотой, с толстым маловетвистым, длинным, черно-бурым корневищем. Известно, что лекарственные средства *P. alba* оказывают влияние на щитовидную железу, регулируют ее функцию, ликвидируют диффузные изменения, снимают многочисленные токсические явления в организме. Кроме того, *P. alba* применяют при профилактике и терапии заболеваний печени, сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта, в частности язв, а также как антисептическое и ранозаживляющее средство [4].

Проведен фитохимический анализ нетрадиционного возобновляемого сырья *P. alba*, выращенного на основе разработанной биотехнологии. Полученные данные свидетельствуют о том, что по содержанию экстрактивных веществ и основных групп биологически активных веществ биотехнологическое сырье не уступает традиционному, а по некоторым показателям превосходило его. Установлено, что интактные растения лапчатки белой и растения-регенеранты проявляют сопоставимую биологическую активность в отношении вируса герпеса [6, 7].

Еще одним перспективным видом, фитомассу которого можно рассматривать в качестве нового сырья, является лапчатка земляниковидная (*Potentilla fragarioides* L.). Стебли лапчатки земляниковидной от 5 до 25 см высотой, слабые, малооблиственные, как и черешки листьев, покрыты длинными отстоящими волосками, сидящими нередко на бугорках. Прикорневые листья перистые, с 2–3 парами зубчатых листочков. Листочки верхней пары, включая конечный, 1–6 см длиной, 0,6–3 см шириной. Мочковатая корневая система. Цветет в июне-июле. Произрастает по суходольным и лесным лугам, лугово-степным склонам, разреженным лесам, долинам рек, залежам в административных районах Сибири, Томской, Новосибирской, Кемеровской областях, Алтайском крае, Республике Алтай, Красноярском крае, Хакасии, Туве, Иркутской области, Бурятии, Читинской области, Якутии, на Дальнем Востоке, Монголии, Маньчжурии [8]. Растения содержат дубильные вещества (6,2%), флавоноиды.

Антиоксидантные свойства флавоноидов широко известны. Многие гипотезы о влиянии флавоноидов на здоровье человека, включая положительное действие на сердечно-сосудистую систему, антиканцерогенное действие и т.д., также основаны на их антиоксидантных свойствах [9]. Флавоноиды, наряду с другими антиоксидантами, поступающими в организм с пищей, например витаминами Е и С, являются важными компонентами антиоксидантной системы клетки [10–13].

В клетках животных и человека флавоноиды не синтезируются, и присутствие флавоноидов в тканях полностью зависит от потребления в пищу растительных продуктов. В связи с перспективами использования этих веществ в медицине в настоящее время наблюдается значительный рост интереса к исследованию действия флавоноидов на организм человека. За последние два десятилетия число исследований в этой области выросло более чем в десять раз и составляет около пяти тысяч в год. Это приблизительно равно числу публикаций по адресной доставке лекарственных веществ и в два раза превышает число публикаций по генной терапии. Описание флавоноидов присутствует в большинстве работ, в которых анализируется химический состав растений традиционной медицины. Именно присутствием определенных флавоноидов часто объясняют лечебные свойства некоторых растений [14].

В народной медицине используют листья лапчатки земляниковидной. Отвар листьев принимают как вяжущее при диарее, для полоскания при гингивите. Крепким отваром корневищ с корнями промывают ожоги, гнойные раны, полощут рот и горло при стоматитах и ангинах. Отвар травы пьют при кровохарканье при заболеваниях легких, в случае кровотечений при гинекологических заболеваниях [15].

Цель работы – провести фитохимический анализ биотехнологического сырья *Potentilla alba* L. и *Potentilla fragarioides* L., выявить особенности элементного состава и накопления биологически активных веществ в сравнение с интактными растениями.

### **Экспериментальная часть**

*Растительный материал.* Образцы биомассы растений-регенерантов *P. alba* и *P. fragarioides* получены в Лаборатории биотехнологии растений Южно-Сибирского ботанического сада Алтайского государственного университета [16, 17]. Растения-регенеранты *P. alba* и *P. fragarioides* размножали на агаровой питательной среде с минеральной основой Мурасиге-Скуга и выращивали в условиях гидропонной установки CuttingBoard 27, французской фирмы GHE.

Исследованы образцы корневищ лапчатки белой интактных растений, используемые в производстве ЗАО «Эвалар» (Бийск, Россия); образцы надземной и подземной частей традиционного сырья *P. fragarioides*, выращенные в Алтайском крае, Тюменцевском районе в условиях культуры (сбор: конец лета 2016 г).

*Методики исследования.* Исследование элементного состава проводили на атомно-эмиссионном ИСП-спектрометре Optima 7300 DV фирмы Perkin Elmer (США). Для проведения спектрального анализа на ИСП-спектрометре образцы лекарственного растительного сырья предварительно измельчали, навеску в 1 г заливали азотной кислотой, разбавленной дистиллированной водой в соотношении 1 : 1 и помещали в микроволновую печь.

Охлажденный сосуд с минерализованной пробой ставили в вытяжной шкаф и выдерживали до прекращения видимого выделения коричневого дыма. Минерализат был прозрачным. При уменьшении объема его доводят дистиллированной водой до нужного значения. Полученный таким образом раствор пробы переносили в сосуд из кварцевого стекла для проведения идентификации и количественного определения элементов (табл. 1).

При оценке интенсивности накопления химических элементов органами растений-регенерантов из питательной среды рассчитывали коэффициенты накопления (Кн) – отношение содержание элемента в органах к содержанию в среде. Для классификации элементов по данному коэффициенту использовали выделенные А.И. Перельманом группы: 1) энергичного накопления ( $100 > Кн \geq 10$ ); 2) сильного накопления ( $10 > Кн \geq 1$ ); 3) слабого накопления и среднего захвата ( $1 > Кн \geq 0,1$ ); 4) слабого захвата ( $0,1 > Кн \geq 0,01$ ); 5) очень слабого захвата ( $0,01 > Кн \geq 0,001$ ) [18, 19].

Влажность определяли на анализаторе влажности МХ-50 при температуре 105 °С [20]. Зольность определяли методом сжигания в муфельной печи при температуре 600 °С. Экстрактивные вещества извлекали путем последовательной обработки растительного сырья различными растворителями: гексаном, хлороформом, 96% этанолом, водой. Экстракцию проводили в аппарате Сокслета, обработкой образца в соотношении сырье – экстрагент 1 : 15. Обработку растительного сырья водой проводили выдерживанием образца в растворителе при температуре 60 °С.

Таблица 1. Содержание элементов в органах интактных и растений-регенерантов *P. alba*

Элементы	Интактные		Растения-регенеранты	
	корневища с корнями, ЗАО «Эвалар»	3-летние корневища [34]	корневища с корнями	трава
<i>макроэлементы, г</i>				
K	3,2±0,1	3,4	*	*
Ca	*	11,5	*	1,6±0,5
Mg	1,6±0,5	2,3	1,4±0,4	1,2±0,3
P	1,4±0,4	1,2	3,4±0,1	3,3±0,9
Na	*	0,029	*	0,50±0,01
Fe	0,50±0,04	0,09	0,94±0,06	0,20±0,06
<i>микроэлементы, мг</i>				
Al	600±60	110	55±4	16±4
Mn	40±12	47	122±36	192±57
Zn	29±6	34	243±49	141±28
Ti	15±5	<0,5	<5,0	<5,0
Ba	15±4	27	12±4	<5,0
Cu	8±2	6,3	23±4	1,6±0,3
Sr	2,7±0,6	94	30±9	6±1
V	2,3±0,6	0,6	1,1±0,3	0,21±0,05
Ni	1,1±0,4	0,49	0,8±0,3	0,4±0,1
Mo	0,9±0,3	0,61	–	4±1
Co	0,3±0,1	0,085	1,3±0,5	0,3±0,1
<i>ультрамикроэлементы, мг</i>				
Sb	<0,1	<0,5	0,14±0,07	<0,1
Sn	<0,1	12	0,14±0,05	0,24±0,09
Se	<0,1	<0,034	<0,1	<0,1
Ag	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1
Cr	<0,1	0,17	<0,1	<0,1
Be	<0,05	<0,005	<0,05	<0,05

Примечание. \* – содержание элемента превышало максимальный порог чувствительности прибора. «–» – нет данных.

*Определение содержания некоторых групп биологически активных веществ.* Для количественного определения содержания флавоноидов в экстрактах лапчатки использована методика, основанная на их способности образовывать окрашенный комплекс с раствором  $AlCl_3$ . В качестве экстрагента использовался 90% спирт этиловый, содержащий 10% раствор серной кислоты. Оптическую плотность полученного раствора измеряли на спектрофотометре UV-Vis Cary 60 при длине волны 430 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм. В качестве раствора сравнения использовали раствор полученного извлечения в 95% этиловом спирте [21, 22]. Расчет суммы флавоноидов проводили в пересчете на кверцетин. Количественное содержание дубильных веществ определяли перманганатометрическим методом по методике [21].

*Биотехнология получения сырья P. alba и P. fragarioides.* Разработанный нами способ получения лекарственного растительного сырья лапчатки, является сопряженным методом клонального микроразмножения и выращиванием в условиях гидропоники [7, 16, 17].

*Микроклональное размножение P. fragarioides.* В качестве эксплантов использовали вызревшие семена из коллекции Южно-Сибирского ботанического сада. Перед стерилизацией семена *P. fragarioides* промывали под проточной водой в течение 15–25 мин. Стерилизацию проводили в условиях ламинарного бокса 1% раствором сульфохлорантина 10 мин. Затем трижды промывали стерильной дистиллированной водой. Этот способ стерилизации позволял получить 70% эксплантов стерильными и жизнеспособными. Питательные среды для этапа введения в культуру ткани готовили по прописи Мурасиге-Скуга (MS) без добавления фитогормонов.

Через 20–30 суток развившиеся побеги пересаживали на среды размножения MS с добавлением 1,0–0,5 мкМ кинетина и 0,25 ИМК (3-индолилмасляной кислоты) и 0,05 мкМ ГК (гибберелловой кислоты) для микроразмножения. Образовавшиеся конгломераты микропобегов легко делятся на одиночные, которые пересаживают на свежие среды. Для длительного получения активно пролиферирующей культуры необходимо использовать схему чередования сред с высоким и низким содержанием БАП через один пассаж. В результате чего получают стерильную культуру *P. fragarioides* со стабильным коэффициентом размножения  $5,3 \pm 0,4$ . Число побегов на один эксплант за один пассаж составляло от 2 до 15 штук. Укореняли побеги на среде Мурасиге-Скуга дополненной 1,0 мкМ ИМК (рис. 1).

Адаптацию растений-регенерантов к нестерильным условиям и выращивание сырья *P. fragarioides* проводили на гидропонной установке, используя  $\frac{1}{4}$  минерального состава среды MS.



Рис. 1. Этап собственно микроразмножения *P. fragarioides* (А). Растение-регенерант *P. fragarioides* (Б).

### Обсуждение результатов

Анализ элементного состава *P. alba* в культуре *in vitro*. Количественной мерой интенсивности накопления химических элементов растениями является коэффициент накопления ( $K_n$ ), отражающий степень биофильности элементов, а также интенсивность их вовлечения в биологический круговорот. На основе полученных данных были выявлены элементы энергичного накопления для *P. alba* в культуре *in vitro* – Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Mo Cu, а также элемент сильного накопления – Co (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициент накопления элементов в органах растений-регенерантов *P. alba*

Содержание, мг/кг	Питательная среда MS	Корневища с корнями		Трава	
		содержание	<i>Кн</i>	содержание	<i>Кн</i>
Ca	120,1	–	–	1573±472	13,1
Mg	36,6	1456±437	39,8	1195±358	32,6
Fe	5,6	939±62	167,7	201±56	35,9
Mn	5,5	122±36	22,1	192±57	34,8
Zn	1,9	243±47	128,0	141±28	74,0
Mo	0,1	40±16	396,7	4±1	36,43
Co	0,07	1,3±0,5	18,8	0,3±0,1	4,9
Cu	0,01	23±4	2268,0	1,6±0,3	164,0

Примечание. «–» – нет данных.

Согласно данным литературы лапчатка белая содержит алюминий, цинк и марганец в количествах, превышающих критерий степени концентрирования минеральных элементов для нетрадиционных растений в 1,7, 2,5 и 3,0 раза соответственно. В мажорных концентрациях содержатся кальций, кремний, бор, железо, никель [23].

Оценивая растения-регенеранты *P. alba* как источник получения лекарственного растительного сырья, отмечали особенность накопления элементов. Так, в корнях растений-регенерантов содержание марганца в 3 раза больше, чем у интактных растений, фосфора – в 2,5, а Fe – в 1,8 раза.

Растения, концентрирующие марганец, применяют для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, для поддержания нормальных функций половых желез и опорно-двигательного аппарата, нервной системы. Молибден участвует в осуществлении процессов оплодотворения и развития зародыша растений, вместе с железом входит в состав фермента нитратредуктазы, восстанавливает нитраты и фиксирует молекулярный азот, участвует в обмене витаминов. Молибден задерживает фтор в организме человека и предупреждает кариес зубов [24]. Содержание молибдена в растениях составляет 0,0005–0,002%. По нашим данным в траве и корнях растений-регенерантов *P. alba* в 11,1 и 4,2 раза больше содержится молибдена, чем у интактных растений (табл. 1).

Химические элементы растений в высоких концентрациях могут проявлять токсическое действие. Содержание микроэлементов в корнях и корневищах растений-регенерантов и интактных растений *P. alba* сравнивали с допустимыми нормами. Изученные нами микроэлементы-биофилы Mn, Zn находились на уровне средних значений для растительности континентов, Fe – значительно выше. Содержание тяжелых и токсичных металлов Pb, Cd, Cr, Be, Ni, Pb и мышьяка не превышало нормального уровня в растениях и допустимый уровень для БАДов, чая на растительной основе и лекарственного растительного сырья (табл. 3), а для Sb в биотехнологическом сырье необходимо провести дополнительные исследования. Так, по данным О.А. Ельчиной [24], содержание сурьмы в лекарственных растениях экологически чистого региона Северного Алтая находилось от 0,038 мг/кг до 6,6 мг/кг сухого вещества.

*Сравнительная фитохимическая характеристика сырья P. alba и P. fragarioides.* Содержание влаги, а также золы в растительном сырье, служит одним из числовых показателей, характеризующим его доброкачественность. Лекарственное растительное сырье не должно содержать влаги выше допустимых норм. Для большинства видов растительного сырья допустимый предел влажности обычно достигает до 15% [25]. Полученные значения для корневищ с корнями и травы лапчатки земляниковидной находятся в допустимых пределах (табл. 4).

Содержание экстрактивных веществ, извлеченных различными по природе растворителями и различными методами, определяли количественно после отгонки растворителя на ротационном испарителе под вакуумом, расчет проводился с учетом влажности.

Суммарное содержание экстрактивных веществ в корнях и корневищах лапчатки белой составляет 26,2%. Наибольшее количество экстрактивных веществ, как следует из таблицы 6, извлеклось водой. По литературным данным известно, что водой извлекаются флавоноиды, полисахариды, аминокислоты и дубильные вещества [32].

Таблица 3. Содержание микроэлементов в подземной части *P. alba* и нормирование содержания, мг/кг сухого вещества

Показатель	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Sb	Be	Cr	Ni	As
Традиционное сырье	504±14	40±12	29±6	8±2	0,3±0,8	0,09±0,04	<0,10	<0,05	<0,10	1,1±0,4	0,3±0,1
Биотехнологическое сырье	939±27	122±36	243±49	23±4	0,6±0,1	0,02±0,01	0,14±0,07	<0,05	<0,10	0,8±0,3	0,2±0,1
Нормирование содержания [26–31]											
Низкое	<50	<20	<20	<5	–	–	–	–	–	–	–
Нормальное	50–250	25–250	25–250	6–15	2–14	0–0,5	–	–	0–0,5	0–8	–
Токсическое	–	>500	>400	>20	–	>100	–	–	–	>80	–
Среднее	200	205	30	8,0	1,25	0,035	0,06	0,01	1,8	2,0	0,5
ПДК для БАД	–	–	–	–	6,0	1,0	–	–	–	–	–
ПДК для чая	–	–	–	100	10,0	1,0	–	–	1,0	–	3,0
ГФ XIII издания	–	–	–	–	6,0	1,0	–	–	–	–	0,5

Примечание. «–» – нет данных.

Таблица 4. Результаты анализа исходного лекарственного сырья (*P. alba*, *P. fragarioides*)

Показатель	<i>P. alba</i>		<i>P. fragarioides</i>		
	корневища с корнями интактных растений	биотехнологическое сырье	корневища с корнями интактных растений	трава интактных растений	биотехнологическое сырье
Влажность, %	4,8±0,2	3,9±0,2	4,8±0,1	5,7±0,4	4,7±0,1
Зольность, % на а.с.в.	7,6±0,4	5,7±0,7	3,8±0,4	7,8±0,2	–

Примечание. «–» – нет данных.

Таблица 5. Содержание экстрактивных веществ интактных растений в корнях и корневищах лапчатки белой и растений-регенерантов, выделенных различными растворителями

Растворитель	Содержание экстрактивных веществ <i>P. alba</i> , % на а.с.в. (±0,5)	
	интактные растения	растения-регенеранты
Гексан	1,8	1,3
Хлороформ	1,9	4,3
Этанол (96%)	4,8	7,3
Вода	17,7	6,1
Общее содержание экстрактивных веществ, %	26,2	19,1

*Количественное определение некоторых групп биологически активных веществ.* Локализуются флавоноиды в различных органах растений, но чаще в надземных: цветках, листьях, плодах; значительно меньше их в стеблях и подземных органах (солодка, шлемник байкальский, стальник полевой). Содержание флавоноидов в растениях различно – в среднем 0,5–5,0%, иногда достигает 20% (в бутонах софоры японской). Нами выявлено высокое содержание флавоноидов в листьях интактных растений лапчатки земляникоидной, которое составило 19,0%. Содержание флавоноидов в сырье *P. fragarioides* превышает содержание в *P. alba* в 6 раз в корнях и корневищах интактных растений и в 4 раза – в биотехнологическом сырье (рис. 2). В связи с этим лапчатку земляникоидную следует характеризовать как ценное флавоноидоносное растение.

Из группы флавоноидов у растений лапчатки земляникоидной выделен D-катехин, являющийся сильным антиоксидантом [32]. Косман с соавторами отмечает наличие (+)-катехина в составе фенольных соединений фракции веществ, растворенных в воде и у *P. alba* [33].

Наши исследования не противоречат данным полученным учеными из Центрального ботанического сада НАН Беларуси, г. Минск. В результате проведенной работы выявлено, что накопление флавоноидов в процессе жизненного цикла растений происходит неодинаково. Максимальное содержание флавоноидов для *P. recta* L. и *P. rupestris* L. наблюдалось в фазу массовой бутонизации и составило в листьях 2,85±0,02% и 4,15±0,02%; в генеративных органах – 1,81±0,03% и 10,1±0,04%, у *P. alba* достигало своего пика в фазу массового цветения растения – в листьях 2,33±0,01% и в генеративных органах – 2,69±0,006% и незначительно падало в фазу вторичного цветения таксона *P. alba*, что может представлять интерес и служить практической рекомендацией для оптимизации заготовки лекарственного растительного сырья. В подзем-

ной части растений трех таксонов максимальное накопление флавоноидов приходилось в фазу массового цветения: *P. recta* – 1,81±0,03, *P. rupestris* – 0,26±0,01, *P. alba* – 2,69±0,01 [34].

Большинство фармакологических эффектов (например, противовирусных и антимикробных, иммуномодулирующих, гепатопротекторных и противовоспалительных) у видов лапчатки можно объяснить большим количеством конденсированных и гидролизуемых танинов, присутствующих в наземной и подземной частях [3]. Нами определено содержание дубильных веществ в биотехнологическом сырье двух видов лапчатки в сравнении с интактными растениями (рис. 3). В корнях и корневищах интактных растений содержание дубильных веществ составило 8,7% для лапчатки белой, 12,1% – для лапчатки землянико-видной; в растениях, полученных биотехнологическим путем, установлено содержание дубильных веществ 6,4% для лапчатки белой и 13,1% – для лапчатки землянико-видной. Полученные результаты говорят о том, что *P. fragarioides* является наиболее ценным растением, чем лапчатка белая с точки зрения накопления дубильных веществ. Эта особенность позволяет использовать лапчатку землянико-видную в народной медицине, как уже отмечалось [9], в качестве настойки, проявляющей вяжущий эффект.

В ходе исследований биомассы, полученной в условиях Центральной агроклиматической зоны Беларуси, обнаружено, что максимальное накопление дубильных веществ в надземной части у всех трех видов *Potentilla* L. происходит в фазу массового цветения растений: *P. alba* L. – 16,4±0,03%, *P. recta* L. – 17,8±0,09%, *P. rupestris* L. – 13,3±0,05% и незначительно падает в фазу вторичного цветения *P. alba* L. – 13,8±0,06%, *P. recta* L. – 14,6±0,10%. Наименьшее же накопление дубильных веществ наблюдается в фазу конца вегетации растения [34].

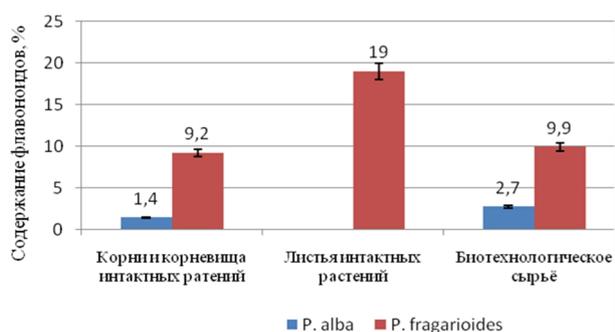


Рис. 2. Содержание флавоноидов в растительном сырье *Potentilla alba* L. и *Potentilla fragarioides* L.

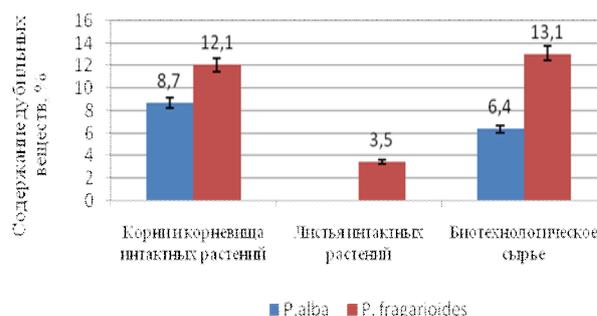


Рис. 3. Содержание дубильных веществ в растительном сырье *Potentilla alba* L. и *Potentilla fragarioides* L.

**Заключение**

Разработана биотехнология получения фитомассы *P. alba* и *P. fragarioides*. Отмечены особенности элементного состава растительного сырья *P. alba* в зависимости от способа получения. Содержание тяжелых и токсичных металлов Pb, Cd, Cr, Be, Ni, Pb и мышьяка не превышало нормального уровня в растениях и допустимый уровень для БАДов, чая на растительной основе и лекарственного растительного сырья.

Проведен фитохимический анализ сырья представителей рода *Potentilla* L: *P. alba*, *P. fragarioides*. Содержание флавоноидов в листьях интактных растений лапчатки землянико-видной составило 19,0%, что превышает содержание в *P. alba* в 6 раз в корнях и корневищах интактных растений и в 4 раза – в биотехнологическом сырье. Содержание дубильных веществ в корнях и корневищах интактных растений лапчатки белой составило 8,7%, для лапчатки землянико-видной – 12,1%; в растениях, полученных биотехнологическим путем, установлено содержание дубильных веществ 6,4% для лапчатки белой и 13,1% – для лапчатки землянико-видной

Лапчатка белая и лапчатка землянико-видная накапливают значительное количество флавоноидов и дубильных веществ и являются потенциальными источниками этих веществ для человека. При этом показатели накопления биологически активных веществ в лапчатке землянико-видной превышают значения, установленные для лапчатки белой.

## Список литературы

1. Племенков В.В. Природные соединения – основной базис поиска химиотерапевтических субстанций // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы IV Всероссийской научной конференции. Барнаул. 2009. Т. 2. С. 11–14.
2. Курбатский В.И. Род *Potentilla* L. В горах южной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск. 1984.
3. Tomczyk M., Latté K.P. *Potentilla* – A review of its phytochemical and pharmacological profile // J. Ethnopharmacol. 2009. Vol. 122. Pp. 184–204. doi: 10.1016/j.jep.2008.12.022
4. Смык Г.К. Новые культуры в народном хозяйстве и медицине: В 2 ч. Киев, 1976. Ч. 1. С. 41–42.
5. Tomczyk M., Pleszczynska M., Wiater A. Variation in total polyphenolics contents of aerial parts of *Potentilla* species and their anticarcinogenic activity // Molecules. 2010. Vol. 15, N7. Pp. 4639–4651.
6. Базарнова Н.Г., Тихомирова Л.И., Фролова Н.С., Микушина И.В. Выделение и анализ экстрактивных веществ лапчатки белой (*Potentilla alba* L.), выращенной в различных условиях // Химия растительного сырья. 2016. №1. С. 43–51.
7. Тихомирова Л.И., Ильичёва Т.Н., Базарнова Н.Г., Сысоева А.В. Способ получения лекарственного растительного сырья лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) в условиях гидропоники // Химия растительного сырья. 2016. №3. С. 59–66.
8. Флора Сибири. Rosaceae / под ред. А.В. Положий, Л.И. Мальшева. Новосибирск, 1988. Т. 8. 199 с.
9. Hooper L., Kroon P.A., Rimm E.B., Cohn J.S., Harvey I., Le Cornu K.A., Ryder J.J., Hall W.L., Cassidy A. Flavonoids, flavonoid-rich foods, and cardiovascular risk: a meta-analysis of randomized controlled trials // Am. J. Clin. Nutr. 2008. Vol. 88. Pp. 38–50.
10. Terao J. Dietary flavonoids as antioxidants // Forum Nutr. 2009. Vol. 61. Pp. 87–94.
11. Костюк В.А., Потапович А.И. Биорадикалы и биоантиоксиданты. Минск, 2004. 174 с.
12. Es-Safi N.E., Ghidouche S., Ducrot P.H. Flavonoids: hemisynthesis, reactivity, characterization and free radical scavenging activity // Molecules. 2007. Vol. 12. Pp. 2228–2258.
13. Korkina L.G., Afanas'ev I.B. Antioxidant and chelating properties of flavonoids // Adv. Pharmacol. 1997. Vol. 38. Pp. 151–163.
14. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пушино, 2013. 310 с.
15. Растения Прибайкалья [Электронный ресурс]. URL: <http://Baikalflora.narod.ru/>
16. Патент №2525676 (РФ). Способ получения лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) / Л.И. Тихомирова, В.Н. Буркова. 2014.
17. Патент № 2570623 (РФ). Способ получения лекарственного растительного сырья лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) в условиях гидропоники / Л.И. Тихомирова, Н.Г. Базарнова. 2015.
18. Перельман А.И. Геохимия. М., 1989. 528 с.
19. Афанасьева Л.В. Содержание микроэлементов в ягодах *Vaccinium vitis-idaea* в Южном Прибайкалье // Химия растительного сырья. 2016. №3. С. 103–108.
20. Оболенская А.В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991. 320 с.
21. Музычкина Р.А., Корулькин Д.Ю., Абилов Ж.А. Технология производства и анализ фитопрепаратов. Алматы, 2011. 360 с.
22. Музычкина Р.А. Реакции и реактивы для химического анализа некоторых групп БАВ в лекарственном растительном сырье. Алматы. 2002. 283 с.
23. Семенова Е.Ф., Преснякова Е.В. Химический состав лапчатки белой и применение ее с лечебной целью // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские чтения. 2001. №5. URL: [http://chem.kstu.ru/butlerov\\_comm/vol2/cd-a2/data/jchem&cs/russian/n5/1vt103/103.htm](http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/vol2/cd-a2/data/jchem&cs/russian/n5/1vt103/103.htm)
24. Ельчианинова О.А., Рождественская Т.А., Черных Е.Ю. Микроэлементы-биофилы и тяжелые металлы в лекарственных растениях Северного Алтая // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: материалы Международной конференции. Горно-Алтайск, 2008. С. 51–55.
25. Шемерянкина М.И. Анализ тритерпеновых гликозидов в субстанции из астрагалагерстистоцветкового // Хим.-фарм. журнал. 1986. №1. С. 63–65.
26. СанПин 2.3.2.560-96. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности продуктов. М., 1996.
27. СанПин 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности продуктов. М., 2001.
28. Добровольский В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение. 1997. №4. С. 431–441.
29. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск, 1991. 151 с.
30. Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л. Содержание микроэлементов в лекарственных растениях разных экосистем озера Коктокольского (Западное Забайкалье) // Химия растительного сырья. 2016. №2. С. 53–59.
31. Государственная фармакопея РФ. XIII изд. М., 2015. [Электронный ресурс]. URL: [www.femb.ru/feml](http://www.femb.ru/feml)
32. Plants For A Future. *Potentilla fragarioides* L. URL: <http://www.pfaf.org/database/plants.php?Potentilla+fragarioides>
33. Косман В.М., Фаустова Н.М., Пожарицкая О.Н., Шиков А.Н., Макаров В.Г. Накопление биологически активных веществ в подземных частях лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) в зависимости от срока культивирования // Химия растительного сырья. 2013. №2. С. 139–146.

34. Китаева М.В., Кот А.А., Спиридович Е.В. Сравнительная характеристика видов *Potentilla* L. – *Potentilla alba*, *Potentilla recta* L. и *Potentilla rupestris* L. – в качестве продуцентов получения биологически активных веществ вторичного происхождения в условиях Центральной агроклиматической зоны Беларуси // Бюллетень Брянского отделения РБО. 2014. №1(3). С. 67–70.

Поступило в редакцию 3 августа 2017 г.

После переработки 29 января 2018 г.

*Tikhomirova L.I.*\*, *Bazarnova N.G.*, *Sysoeva A.V.*, *Shcherbakova L.V.* PHYTOCHEMICAL ANALYSIS OF BIOTECHNOLOGICAL RAW MATERIALS OF REPRESENTATIVES OF THE GENUS *POTENTILLA* L.

*Altai State University, Lenina av., 61, Barnaul (Russia), e-mail: L-tikhomirova@yandex.ru*

The genus *Potentilla* (*Potentilla* L.) is a member of the family Rosaceae, widespread in temperate, Arctic and Alpine zones of the Northern hemisphere. The genus is known since ancient times for its healing properties. Modern pharmacological studies have confirmed traditional use of the extracts of *Potentilla* species in various diseases. Phytochemistry representatives of *Potentilla* L. are poorly understood. Biotechnology for the production of renewable raw materials is only developed for *Potentilla alba* L.

Objective – to conduct phytochemical analysis of biotechnological raw materials and *Potentilla alba* L. *Potentilla fragarioides* L., identification of features of the elemental composition and accumulation of biologically active substances in comparison with intact plants.

The result of the research developed in biotechnology for the production of biomass of *P. fragarioides*. The evaluation of the intensity and specificity of accumulation of chemical elements in bodies of regenerated plants of *P. alba* from the nutrient media in tissue culture. The elements of vigorous accumulation of Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Mo Cu, and the element of a strong accumulation of Co. These features of the elemental composition of plant material *P. alba*, depending on the production method. Estimated purity, content of water and alcohol-soluble extractives, and certain groups of biologically active substances.

It is revealed that white *Potentilla* and cinquefoil *zemlyannikova* are the hub of flavonoids and tannins. The incidences of accumulation of biologically active substances in the bloodroot *zemljanchik* exceed the targets set for the white cinquefoil, both traditional and biotechnological raw materials.

**Keywords:** *Potentilla alba* L. *Potentilla fragarioides* L., plant material, biotechnology for the production, elemental composition, phytochemical characteristics.

#### References

1. Plemenkov V.V. *Novye dostizheniia v khimii i khimicheskoi tekhnologii rastitel'nogo syr'ia. Materialy IV Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii.* [New achievements in chemistry and chemical technology of plant raw materials. Materials of the IV All-Russian Scientific Conference]. Barnaul, 2009, vol. 2, pp. 11–14. (in Russ.).

---

\* Corresponding author.

2. Kurbatskii V.I. *Rod Potentilla L. V gorakh iuzhnoi Sibiri : avtoref. dis... kand. biol. nauk.* [The genus *Potentilla* L. In the mountains of southern Siberia: avtoref. dis ... cand. Biol. sciences.]. Tomsk, 1984. (in Russ.).
3. Tomczyk M., Latté K.P. *J. Ethnopharmacol.*, 2009, vol. 122, pp. 184–204. doi: 10.1016/j.jep.2008.12.022
4. Smyk G.K. *Novye kul'tury v narodnom khoziaistve i meditsine.* [New cultures in the national economy and medicine] Kiev, 1976, part 1, pp. 41–42. (in Russ.).
5. Tomczyk M., Pleszczynska M., Wiater A. *Molecules*, 2010, vol. 15, no. 7, pp. 4639–4651.
6. Bazarnova N.G., Tikhomirova L.I., Frolova N.S., Mikushina I.V. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2016, no. 1, pp. 43–51. (in Russ.).
7. Tikhomirova L.I., Il'icheva T.N., Bazarnova N.G., Sysoeva A.V. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2016, no. 3, pp. 59–66. (in Russ.).
8. *Flora Sibiri. Rosaseae.* [Flora of Siberia. Rosaseae]. Ed. A.V. Polozhii, L.I. Malyshev. Novosibirsk, 1988, vol. 8, 199 p. (in Russ.).
9. Hooper L., Kroon P.A., Rimm E.B., Cohn J.S., Harvey I., Le Cornu K.A., Ryder J.J., Hall W.L., Cassidy A. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2008, vol. 88, pp. 38–50.
10. Terao J. *Forum Nutr.*, 2009, vol. 61, pp. 87–94.
11. Kostiuk V.A., Potapovich A.I. *Bioradikaly i bioantioxidanty.* [Bioradicals and bioantioxidants]. Minsk, 2004, 174 p. (in Russ.).
12. Es-Safi N.E., Ghidouche S., Ducrot P.H. *Molecules*, 2007, vol. 12, pp. 2228–2258.
13. Korkina L.G., Afanas'ev I.B. *Adv. Pharmacol.*, 1997, vol. 38, pp. 151–163.
14. Tarakhovskii Iu.S., Kim Iu.A., Abdrasilov B.S., Muzafarov E.N. *Flavonoidy: biokhimiia, biofizika, meditsina.* [Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine]. Pushchino, 2013, 310 p. (in Russ.).
15. *Rasteniia pribaiikal'ia.* [Plants of the Baikal region]. URL: <http://Baikalflora.narod.ru/> (in Russ.).
16. Patent №2525676 (RU). 2014. (in Russ.).
17. Patent № 2570623 (RU). 2015. (in Russ.).
18. Perel'man A.I. *Geochemiia.* [Geochemistry]. Moscow, 1989, 528 p. (in Russ.).
19. Afanas'eva L.V. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2016, no. 3, pp. 103–108. (in Russ.).
20. Obolenskaia A.V. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellulozy.* [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1991, 320 p. (in Russ.).
21. Muzychkina R.A., Korul'kin D.Iu., Abilov Zh.A. *Tekhnologiia proizvodstva i analiz fitopreparatov.* [Technology of production and analysis of phytopreparations]. Almaty, 2011, 360 p. (in Russ.).
22. Muzychkina R.A. *Reaktsii i reaktivy dlia khimicheskogo analiza nekotorykh grupp BAV v lekarstvennom rastitel'nom syr'e.* [Reactions and reagents for chemical analysis of some BAS groups in medicinal plant raw materials]. Almaty, 2002, 283 p. (in Russ.).
23. Semenova E.F., Presniakova E.V. *Khimiia i komp'iuternoe modelirovanie. Butlerovskie chteniia*, 2001, no. 5, URL: [http://chem.kstu.ru/butlerov\\_comm/vol2/cd-a2/data/jchem&cs/russian/n5/1vr103/103.htm](http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/vol2/cd-a2/data/jchem&cs/russian/n5/1vr103/103.htm). (in Russ.).
24. El'chinina O.A., Rozhdestvenskaia T.A., Chernykh E.Iu. *Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaia i sopredel'nykh regionov: nastoiashchee, proshloe, budushchee: materialy mezhdunarodnoi konferentsii.* [Biodiversity, Ecology Problems of Mountainous Altai and Adjacent Regions: Present, Past, Future: Materials of the International Conference]. Gorno-Altai, 2008, pp. 51–55. (in Russ.).
25. Shemeriankina M.I. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*, 1986, no. 1, pp. 63–65. (in Russ.).
26. *SanPin 2.3.2.560-96. Gigienicheskie trebovaniia k bezopasnosti i pishchevoi tsennosti produktov.* [Sanitary rules and norms 2.3.2.560-96. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of products]. Moscow, 1996. (in Russ.).
27. *SanPin 2.3.2.1078-01. Gigienicheskie trebovaniia k bezopasnosti i pishchevoi tsennosti produktov.* [Sanitary rules and norms 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of products]. Moscow, 2001. (in Russ.).
28. Dobrovolskii V.V. *Pochvovedenie*, 1997, no. 4, pp. 431–441. (in Russ.).
29. Il'in V.B. *Tiazhelye metally v sisteme pochva-rastenie.* [Heavy metals in the soil-plant system]. Novosibirsk, 1991, 151 p. (in Russ.).
30. Sosorova S.B., Merkusheva M.G., Ubugunov L.L. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2016, no. 2, pp. 53–59. (in Russ.).
31. *Gosudarstvennaia farmakopeia RF.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. XIII ed., Moscow, 2015. URL: [www.femb.ru/feml](http://www.femb.ru/feml). (in Russ.).
32. Plants For A Future. *Potentilla fragarioides* L. URL: <http://www.pfaf.org/database/plants.php?Potentilla+fragarioides>
33. Kosman V.M., Faustova N.M., Pozharitskaia O.N., Shikov A.N., Makarov V.G. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2013, no. 2, pp. 139–146. (in Russ.).
34. Kitaeva M.V., Kot A.A., Spiridovich E.V. *Biulleten' Brianskogo otdeleniia Russkogo botanicheskogo obshchestva*, 2014, no. 1(3), pp. 67–70. (in Russ.).

Received August 3, 2017

Revised January 29, 2018