

УДК 615.322:[581.524.2:582.736]

UDC 615.322:[581.524.2:582.736]

03.00.00 Биологические науки

Biology

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В
ФИТОТЕРАПИИ НЕКОТОРЫХ
ИНВАЗИОННЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА
БОБОВЫЕ****PROSPECTS OF USING INVASIVE LEGUMES
IN HERBAL MEDICINE**

Шелепова Ольга Владимировна
к.б.н.,
РИНЦ SPIN-код: 2090-0869
старший научный сотрудник

Shelepova Olga Vladimirovna
Cand.Biol.Sci.
RSCI SPIN code=2090-0869

Куклина Алла Георгиевна
к.б.н.
РИНЦ SPIN-код: 7615-4813
старший научный сотрудник

Kuklina Alla Georgievna
Cand.Biol.Sci.
RSCI SPIN code=7615-4813

Виноградова Юлия Константиновна
д.б.н., с.н.с.
РИНЦ SPIN-код: 4296-0816
главный научный сотрудник
ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В.
Цицина РАН, Россия, 127276, Москва,
Ботаническая ул.,4, shelepova-olga@mail.ru

Vinogradova Yulia Konstantinovna
Dr.Sci Biol.
RSCI SPIN code=4296-0816

Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS,
Russia

Авторы предлагают рассмотреть в качестве биоресурсов чужеродные инвазионные растения. Во вторичном ареале они имеют большие, чем на родине, размеры и формируют мощные (обычно одновидовые) заросли. Площадь территории, занятой инвазионными видами, особенно в антропогенно нарушенных местообитаниях, довольно велика, поэтому возможные объемы их ежегодных заготовок достаточно высоки. Основная проблема использования чужеродных видов в фармакологических целях - недостаток сведений о динамике накопления ими химических веществ. Имеющиеся в литературе данные по биохимии вида в естественном ареале не всегда можно приложить к этому же таксону из вторичного ареала в связи со значительными микроэволюционными изменениями растений. В настоящей работе приводятся результаты фитохимического скрининга четырех видов семейства Бобовые, которые сформировали в Средней России инвазионные популяции - *Galega orientalis* Lam., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Robinia pseudoacacia* L. и *Caragana arborescens* Lam. Обобщены сведения по использованию этих видов в народной медицине. Приведены оригинальные данные по содержанию в их листьях и соцветиях фенольных соединений и биофильного кремния. Представлены сведения по фракционному составу флавоноидного комплекса. Учитывая высокую приспособляемость инвазионных видов, проведен анализ фенольных соединений в сырье из разных экотопов. Показано, что аккумуляционная способность в отношении биологически активных

The authors propose to consider alien invasive species as new bioresources. These plants form powerful (usually single-species) thickets in the secondary range and their size are larger than at the native cenosis. The territory occupied by invasive species, especially in disturbed habitats, is quite high, so their possible yield is very high. The main problem of using alien species in the pharmacological purposes is the lack of information about the dynamics of the chemicals accumulation. Available data on the biochemistry in its natural habitat is inadaptable for the same taxon in the secondary range because of significant microevolutionary changes. In this work we present the results of phytochemical screening four legume species, formed invasive populations in the Middle Russia - *Galega orientalis* Lam., *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Robinia pseudoacacia* L. & *Caragana arborescens* Lam. Information about these species as traditional medicine plants is given. Original data on the concentration phenolic compounds and biophile silicon in leaves and inflorescences are presented. Information on the fractional composition of the flavonoid complex is done. Taking into consideration the high adaptability of invasive species, the chemical analysis of the samples from different ecotypes was made. It is shown that accumulation of bioactive agents & biophile silicon isn't depended on the environmental conditions. Concentrations of polyphenolic compounds were at the average level in comparison with medicinal plants. Thus, the combination of flavonoid complex with biophile silicon provides pharmacological significance of studied species, and justifies the needing the further

соединений и кремния слабо зависит от экологических условий произрастания популяций. Концентрации полифенольных соединений у изученных видов находились на уровне средних показателей, полученных при массовом скрининге лекарственных растений. Таким образом, сочетание флавоноидного комплекса с биофильным (органогенным) кремнием обуславливает фармакологическую значимость изученных видов и обосновывает необходимость дальнейшего изучения эффективности использования инвазионных видов растений с целью создания на их основе фитопрепаратов

study of invasive plant species in order to create new herbal medicines

Ключевые слова: GALEGA ORIENTALIS, LUPINUS POLYPHYLLUS, ROBINIA PSEUDOACACIA, CARAGANA ARBORESCENS, ФЛАВОНОИДЫ, КРЕМНИЙ

Keywords: LUPINUS POLYPHYLLUS, GALEGA ORIENTALIS, ROBINIA PSEUDOACACIA, CARAGANA ARBORESCENS, FLAVONOIDS, SILICON

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России со стороны пациентов, врачей и научных работников возрастает интерес к многовековому опыту народной медицины, включая фитотерапию [1]. Тенденции развития медицинской науки проявляются не только в усложнении новейших фармацевтических технологий, но и в глубоком познании механизмов воздействия средств природного происхождения, особенно при длительных и хронических заболеваниях. Лекарственные растения востребованы для получения фитопрепаратов, не вызывающих тех побочных воздействий, которые отмечаются при применении синтетических лекарств [2]. Возрастающая популярность растительных лекарственных средств, доказавших свою эффективность и безопасность, требует постоянного расширения их арсенала. К сожалению, только 10-15% из произрастающих на нашей планете высших растений исследовано на наличие биологически активных веществ [3].

Перспективным источником растительного сырья, обогащенного физиологически активными веществами, являются виды семейства Бобовые (Fabaceae). Согласно Государственному реестру лекарственных средств, в официальной медицине используются следующие виды этого

семейства: донник лекарственный *Melilotus officinalis* (L.) Lam., леспедеца двуцветная *Lespedeza bicolor* Turcz., леспедеца копеечниковая *L. hedysaroides* (Pall.) Kitag, термопсис ланцетный *Thermopsis lanceolata* R. Br. В народной медицине применяют значительно большее число видов [4; 5].

Однако природные запасы лекарственного растительного сырья в результате антропогенной деятельности неуклонно истощаются. Авторы предлагают рассмотреть в качестве новых ресурсных растений инвазионные виды, поскольку значительная их часть - «беженцы из культуры», обладающие хозяйственно-ценными признаками [6]. Отмечено, что во вторичном ареале активно натурализующиеся виды имеют бóльшие, чем на родине, размеры и формируют мощные (обычно одновидовые) заросли. По площади занимаемой территории инвазионные виды, особенно в антропогенно нарушенных местообитаниях, практически не отличаются от аборигенных видов, и их ресурсный потенциал достаточно высок. Дополнительным аргументом служит и то, что нет необходимости определять научно-обоснованные объемы ежегодных заготовок и разрабатывать рациональные системы эксплуатации зарослей, поскольку целесообразно изымать из фитоценозов **всю** биомассу чужеродных видов, а не сохранять их природные запасы. К тому же, при заготовке инвазионных видов в естественных ценозах реализация значительных запасов хозяйственно-ценного сырья будет сопровождаться сокращением негативного влияния чужеродных растений на биоразнообразии региона.

Основная проблема использования инвазионных видов состоит в практически полном отсутствии сведений об их биологических особенностях во вторичном ареале, в частности о динамике накопления химических веществ и ее зависимости от местообитания. Даже если имеются литературные данные по биохимии того или иного вида в естественном ареале, их не всегда можно приложить к этому же таксону, произрастающему во вторичном ареале в связи со значительными

микроэволюционными изменениями растений в новых почвенно-климатических условиях.

За последние 20 лет чужеродная фракция флоры Средней России пополнилась 79 новыми видами бобовых. Третья часть из них представлена «беженцами» из культуры, сформировавшими вторичный ареал. К наиболее агрессивным инвазионным видам относятся люпин многолистный *Lupinus polyphyllus* Lindl. и робиния лжеакация *Robinia pseudoacacia* L., естественно обитающие в Северной Америке; галега (козлятник) восточная *Galega orientalis* Lam., с первичным ареалом на Кавказе. Потенциально инвазионным видом является, естественно произрастающая в Сибири карагана древовидная - *Caragana arborescens* Lam. Перечисленные виды продолжают широко культивировать, поэтому мы прогнозируем дальнейшее расширение их вторичного ареала и повышение инвазионного статуса [7].

Обзор литературных источников показал, что эти инвазионные виды используются в народной медицине. Так, отвар и настой *G. orientalis* применяют как диуретическое, гипогликемическое, антигельминтное, кардиотоническое и лактогенное средство. Водная настойка из листьев повышает содержание гликогена в печени и сердечной мышце, а спиртовая – является гипотензивным средством [3]. С целью профилактики и лечения сахарного диабета в фитотерапии используют галегу лекарственную *G. officinalis* L. Но инвазионная *G. orientalis* близка ей по фармакологическим показателям и химическому составу и, вероятно, также обладает антидиабетическими свойствами [8].

У *R. pseudoacacia* наиболее ценным народным средством являются настой и отвар цветков, применяемые при заболеваниях почек и мочевого пузыря, а наружно - при ревматизме. Кора и листья отличаются легким слабительным воздействием. Листья обладают вяжущим, противовоспалительным, противовирусным и седативным эффектом [6, 9].

Настой листьев, цветков и корней *C. arborescens* используют при головной боли, изжоге, заболеваниях печени, атеросклерозе и гиповитаминозах. Отвар ее листьев оказывает сильное антибактериальное воздействие, а кору и корни относят к антимикробным, противовоспалительным и жаропонижающим средствам, помогающим при острых респираторных заболеваниях [10]. Из корней близкородственной караганы уссурийской *C. ussuriensis* (Regel) Pojark. получают общеукрепляющие препараты, широко известные в китайской медицине, а ее листья входят в многокомпонентный сбор, рекомендуемый при мочекаменной болезни [11].

Компрессы из отваров зеленой массы, корней и цветков *L.polyphyllus* и из его семян используют в народной медицине: они помогают при воспалении седалищного нерва и болезнях суставов - артрите и радикулите. Отвары зеленой массы применяют также для профилактики и лечения опухолей, болезней печени, селезенки и язв на коже [12].

В настоящей работе приводятся результаты массового скрининга 4-х видов растений семейства Бобовые. В европейской части России они сформировали инвазионные популяции, в некоторых регионах Урала и Сибири – широко культивируются. Количественное определение биологически активных соединений и отдельных форм кремния представляет несомненный интерес для оценки перспективности использования растительного сырья с целью создания на его основе фитопрепаратов различной фармакологической активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период 2010-2013 гг. изучено 16 образцов (листья и соцветия) на модельных видах растений семейства Бобовые.

L. polyphyllus: № 1 – Москва, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН), посадки; № 2 – Смоленская обл. (Сафоновский р-

н), луговина на заброшенном поле; № 3 – Калужская обл. (Спас-Деменский р-н), куртина на разнотравном лугу.

G. orientalis: № 4 – Москва (ГБС РАН), экспозиционные посадки; № 5 – Белгородская обл. (Борисовский р-н) – куртина на кордоне заповедника «Лес на Ворскле»; № 6 – Смоленская обл. (Хиславичский р-н), по краю поля с зерновыми культурами; № 7 – Смоленская обл. (Кардымовский р-н), заброшенное поле; № 8 – Карачаево-Черкессия (Тебердинский заповедник, гора Малая Хатипара), верхняя граница лесного пояса, выс. 2000 м над ур. моря.

R. pseudoacacia: № 9 – Москва (ГБС РАН), посадки в дендрарии; № 10 – Москва (р-н Владыкино), городские посадки; № 11 – Смоленская обл. (Хиславичский р-н, дер. Стайки), посадки на улице; № 12 – г. Астрахань, городской парк.

C. arborescens: № 13 – Москва (ГБС РАН), в отделе флоры; № 14 – Москва (р-н Коньково), посадки вдоль улицы; №15 – Московская обл. (Балашихинский р-н), опушка лесопарка; № 16 – Московская обл. (Звенигородский р-н), высокий берег реки Сторожка, одичала.

Материал собирали с 10-12 растений из каждой популяции в фазе бутонизации - начала цветения, так как ранее в работах ряда авторов [13; 14] установлено, что максимальный выход биологически активных соединений наблюдается именно в данную фазу онтогенеза.

Биохимическое исследование образцов проведено в лабораториях ГБС РАН и Института биохимии им. А.Н. Баха РАН. Воздушно-сухие растительные образцы промывали 70%-ным этанолом для удаления пыли и частичек почвы. Затем вторично высушивали, измельчали и растирали в агатовой ступке и просеивали через сито с отверстиями 0,5 мм. Сумму флавоноидов определяли на спектрофотометре СФ-16. Анализ фенольных соединений включал исследование простых полифенолов, фенолкарбоновых кислот и полифенолов дифенилпропаноидной группы

по ранее опубликованной методике [15]. Кроме того, в растительном материале определяли минеральную и органогенную формы кремния, используя специально подобранные растворители и условия. Из образцов выделяли связанный с органическим веществом кремний, при этом аморфная форма и поликремниевые кислоты оставались в нерастворенном состоянии [16]. Полученные результаты обрабатывали статистически с использованием программы Microsoft Excel. В работе представлены усредненные результаты биологической и аналитической повторностей. Допустимая ошибка данных не превышает нормы ($P \leq 5\%$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом того, что растениям свойственна определенная дискретность биохимического состава, выделение видов растений, способных аккумулировать те или иные биологически активные вещества является весьма актуальной и нереализованной задачей. Важность и сложность решения этой проблемы связана с тем, что биохимический профиль растения формируется под влиянием как генетически сложившегося видоспецифического аккумулятивно-химического аппарата растения, так и экологических условий произрастания. В условиях отличающихся геохимических параметров, например, таких как почвы, чрезвычайно интересно проследить, характерна ли одному и тому же виду растений, произрастающему в разных регионах, аккумуляционная способность в отношении тех или иных биологически активных соединений.

Проведенный нами анализ растительного сырья показал, что в его составе, наряду с биологически активными продуктами первичного обмена, присутствуют физиологически активные соединения вторичного обмена. Известно, что зачастую именно этими соединениями обусловлена фармакологическая ценность растения.

В листьях и соцветиях 4-х видов идентифицировано наличие целого спектра соединений фенольной природы – фенолкарбоновые кислоты и их производные, конденсированные и полимерные вещества (табл. 1).

Таблица 1. Фракционный состав фенольных соединений (ФС) в листьях и соцветиях растений семейства Бобовые, % на абсолютно сухую массу

Вид	Органы	Фенолкарбоновые кислоты и их эфиры		Конденсированные и полимерные ФС
		оксибензойные	оксикоричные	
<i>Galega orientalis</i>	листья	<u>0,44-0,55*</u> 0,51**	<u>0,14-0,15</u> 0,14	<u>0,67-0,79</u> 0,71
	соцветия	<u>0,40-0,44</u> 0,41	<u>0,10-0,13</u> 0,11	<u>0,84-0,90</u> 0,88
<i>Lupinus polyphyllus</i>	листья	<u>0,32-0,43</u> 0,40	<u>0,14-0,17</u> 0,16	<u>0,72-0,90</u> 0,85
	соцветия	<u>0,42-0,51</u> 0,47	<u>0,10-0,11</u> 0,10	<u>0,84-0,94</u> 0,87
<i>Robinia pseudoacacia</i>	листья	<u>0,44-0,50</u> 0,49	<u>0,10-0,15</u> 0,14	<u>1,10-1,60</u> 1,52
<i>Caragana arborescens</i>	листья	<u>0,44-0,52</u> 0,47	<u>0,12-0,17</u> 0,14	<u>0,64-0,75</u> 0,72
	соцветия	<u>0,34-0,42</u> 0,40	<u>0,10-0,12</u> 0,10	<u>0,43-0,55</u> 0,53

Примечание: в числителе* – пределы колебаний содержания соединения; в знаменателе** – среднее для проанализированных образцов

Оксибензойные и оксикоричные кислоты и их производные занимают важнейшее место в ряду природных полифенольных соединений. Производные оксибензойной кислоты, в частности, О-оксибензойной кислоты (салицилаты), оказывающие антисептическое и ранозаживляющее воздействие. Не менее ценными являются конденсированные дубильные вещества, проявляющие высокую Р-витаминную активность и оказывающие противоопухолевое, антиоксидантное, антигипоксическое и антисклеротическое воздействие.

Учитывая высокую экологическую приспособляемость данных инвазионных видов к условиям внешней среды, нами был проведен анализ фенольных соединений в сырье из разных экотопов. Исследования показали, что условия произрастания не влияют на характер распределения фенольных соединений по морфологическим структурам. Так, максимальное содержание оксибензойной и оксикоричной кислот и их

производных для всех типов сырья изученных нами видов наблюдалось в листьях, более низкие уровни зафиксированы в соцветиях. В то же время закономерностей в накоплении конденсированных дубильных веществ не выявлено. Максимальное их содержание зафиксировано в листьях *R.pseudoacacia*, тогда как у *G. orientalis* и *L. polyphyllus*, напротив, соцветия содержат больше конденсированных дубильных веществ, нежели листья (см. табл. 1). Отмеченные нами концентрации полифенольных соединений у изученных видов находились на уровне средних показателей, полученных при массовом скрининге лекарственных растений [15].

В листьях и соцветиях изученных растений выявлено наличие соединений флавоноидной группы, которые имеют широкий спектр фармакологического действия. Большинство из них обладает высокой Р-витаминной активностью. В настоящее время на основе флавоноидов получены препараты с ярко выраженной противовоспалительной, противоязвенной активностью и антивирусного действия. Флавоноиды отличаются слабой токсичностью, что позволяет применять их в лечебной практике длительными курсами.

В фазу бутонизации - начало цветения в листьях *R. pseudoacacia* зафиксировано максимальное содержание суммы флавоноидов - 2,53-2,70%, минимальное – у *C. arborescens* 2,12-2,40%, промежуточное место занимают *L. polyphyllus* (2,30-2,51%) и *G. orientalis* (2,42-2,55%). В соцветиях *L. polyphyllus*, *G. orientalis* и *C. arborescens* содержание суммы флавоноидов составило 1,36-1,57%, что в 1,2- 1,5 раза ниже, чем в листьях данных видов. Полученные нами данные в целом согласуются с результатами, приводимыми для других регионов [8; 13; 17].

Агликоновый состав флавоноидов у изученных видов довольно прост – это флавонолы рутин, кемпферол и кверцетин (табл. 2).

Таблица 2. Фракционный состав флавоноидного комплекса в листьях и соцветиях растений, % на абсолютно сухую массу

Соединения	<i>Galega orientalis</i>		<i>Lupinus polyphyllus</i>		<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Caragana arborescens</i>	
	листья	соцветия	листья	соцветия	листья	листья	соцветия
Рутин	0	0	0	0	0	<u>0,40-</u> <u>0,55*</u> <u>0,47**</u>	0
Кемпферол	0	0	0	0	0	<u>0,40-0,48</u> <u>0,42</u>	0
Кемпферол-3-О-гликозид	0	0	0	0	0	<u>0,30-0,45</u> <u>0,38</u>	0
Кверцетин	0	0	0	0	0	<u>0,15-0,24</u> <u>0,2</u>	0
Кверцетин-3-О-гликозид	<u>0,82-0,92</u> <u>0,87</u>	<u>0,70-0,72</u> <u>0,71</u>	<u>0,67-0,79</u> <u>0,75</u>	<u>0,70-0,78</u> <u>0,73</u>	<u>0,78-1,04</u> <u>0,86</u>	<u>0,45-0,70</u> <u>0,54</u>	<u>0,30-0,54</u> <u>0,34</u>
Кверцетин-3-О-галактозид	<u>0,48-0,55</u> <u>0,53</u>	<u>0,42-0,47</u> <u>0,44</u>	<u>0,44-0,57</u> <u>0,51</u>	<u>0,34-0,47</u> <u>0,42</u>	<u>0,51-0,57</u> <u>0,53</u>	0	0
Лютеолин-7-О-гликозид	<u>0,52-0,59</u> <u>0,55</u>	<u>0,30-0,36</u> <u>0,34</u>	<u>0,40-0,48</u> <u>0,44</u>	<u>0,18-0,24</u> <u>0,21</u>	<u>0,44-0,51</u> <u>0,48</u>	<u>0,20-0,42</u> <u>0,29</u>	<u>0,24-0,28</u> <u>0,26</u>
Диосметин-7-О-гликозид	<u>0,09-0,12</u> <u>0,10</u>	0	<u>0,48-0,55</u> <u>0,51</u>	0	0	0	<u>0,35-0,55</u> <u>0,43</u>
Апигенин-7-О-гликозид	<u>0,52-0,60</u> <u>0,56</u>	0	<u>0,19-0,33</u> <u>0,26</u>	0	<u>0,30-0,34</u> <u>0,32</u>	0	<u>0,35-0,58</u> <u>0,42</u>
Акацетин-7-О-гликозид	0	0	0	0	<u>0,33-0,40</u> <u>0,38</u>	0	<u>0,15-0,27</u> <u>0,21</u>

Примечание: в числителе* – пределы колебаний содержания соединения; в знаменателе** – среднее значение для проанализированных образцов

Гликозиды на их основе разнообразны, и основными флавоноловыми гликозидами исследованных видов являются производные кверцетина: кверцетин-3-О-гликозид, кверцетин-3-О-галактозид, лютеолин-7-О-гликозид, диосметин-7-О-гликозид, апигенин-7-О-гликозид, акацетин-7-О-гликозид.

Рутин, кемферол и кверцетин являются наиболее эффективными восстановителями супероксидного аниона – соединения, образующегося в больших количествах при нарушении функционирования ферментов окислительного метаболизма. Кроме того, они способны окисляться растительными пероксидазами с достаточно высокой скоростью. Окисление флавоноидов является неотъемлемым этапом нормального роста и развития растения, в результате происходит образование полимерных соединений и в ходе окислительной трансформации

флавоноидов расходуется внутриклеточный кислород и вода. Гликозиды флавоноидов гораздо более инертные вещества, они в меньшей степени подвержены окислению пероксидазным ферментом. Так, скорость окисления кверцетин-3-О-гликозида в 100 раз меньше по сравнению со скоростью окисления агликона [18]. Защитные функции данных соединений несколько ниже по сравнению с флавонолами.

В листьях и соцветиях растений всех исследованных видов идентифицирован кверцетин и его производные (см. табл. 2). Максимальный уровень данных соединений зафиксирован в листьях, при этом количественные показатели снижаются в следующем ряду: *G.orientalis* (1,40%) \geq *R. pseudoacacia* (1,39%) > *L. polyphyllus* (1,26%) > *C.arborescens* (0,74%). И если в составе флавоноидного комплекса листьев *C.arborescens* идентифицирован наиболее склонный к окислению флавонол кверцетин, то у трех других видов присутствовали только его более инертные гликозированные формы – кверцетин-3-О-гликозид (доминантный компонент) и кверцетин-3-О-галактозид.

В соцветиях содержание гликолизированных форм кверцетина было в 1,3-1,8 раза ниже: *L. polyphyllus* (1,15%) \geq *G. orientalis* (1,15%) > *C.arborescens* (0,34%).

У всех четырех видов обнаружен также гликозид лютеолина, причем в листьях его содержание в 1,2-2,1 раза выше, чем в соцветиях. В листьях *C.arborescens* в значительном количестве зафиксированы рутин, кемферол и его производные, а в соцветиях – гликозиды диосметина, апигенина и акацетина. Последние два гликозида присутствуют также в листьях *R.pseudoacacia*, а гликозиды диосметина и апигенина – в листьях *G.orientalis* и *L. polyphyllus*.

Согласно данным анализа, экологические условия не оказали влияния на качественный состав флавоноидного комплекса, размах варьирования содержания отдельных соединений не превышал 25%.

Наряду с биологически активными продуктами вторичного метаболизма, в органах исследованных растений определено содержание различных форм кремния. Как отмечалось М.П. Колесниковым [16], растения поглощают кремний из почвенного раствора в виде ионов (SiO_3^{2-}) и (SiO_4^{4-}), а также в виде собственно монокремниевых кислот (H_2SiO_3 и H_4SiO_4), которые впоследствии в клеточном соке превращаются в кремнегель $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$. Затем происходит его биохимическое связывание с полимерами клетки (белками и углеводами) и аккумуляция на поверхности клеточных стенок, в покровных тканях (поверхностные слои эпидермиса листьев и корней, кора), либо в различных видах фитолитов (органоминеральные образования-глобулки, слагающие механическую ткань растений). Формирование покровных и проводящих тканей растения, по сути, сопровождается образованием двойного кутикулярного слоя в межклетниках и внутри клеток, представляющего собой кремнецеллюлозную мембрану. На химическом уровне в растительной клетке кремний представлен ортокремниевыми эфирами простых аминокислот, оксиаминокислот, липидов, фосфолипидов, белков, пектинов, полисахаридов и лигнина [16]. В растениях доля кремния, связанного с органическими соединениями, составляет не менее 40% от его общего содержания. При этом в большинстве растений преобладающей формой органического кремния является форма, связанная с высокомолекулярными соединениями, доля которых от общего количества органически связанного кремния достигает 80%.

В результате проведенного анализа отмечено, что максимальное количество общего кремния содержится в листьях *C. arborescens* (1,02%), у остальных видов - 0,81-0,86% (табл. 3). Минеральный растворимый кремний, входящий в состав водорастворимой ортокремниевой кислоты и ее эфиров, в листьях и соцветиях изученных видов растений находится примерно на одном уровне (0,10-0,14%). Содержание органогенного

кремния несколько выше в листьях (0,57-0,62%), нежели в соцветиях (0,49-0,53%).

Таблица 3. Содержание различных форм кремния в органах растений семейства Бобовые, в % на абсолютно сухую массу

Виды	Органы	Общий кремний (± 0,05)	Органогенный кремний (± 0,05)	Растворимый кремний (± 0,01)	Нерастворимый кремний (± 0,01)
<i>Galega orientalis</i>	листья	<u>0,78-0,84*</u> 0,81**	<u>0,57-0,65</u> 0,61	<u>0,09-0,12</u> 0,10	<u>0,09-0,11</u> 0,10
	соцветия	<u>0,70-0,75</u> 0,71	<u>0,48-0,55</u> 0,50	<u>0,09-0,11</u> 0,10	<u>0,10-0,14</u> 0,12
<i>Lupinus polyphyllus</i>	листья	<u>0,78-0,85</u> 0,82	<u>0,58-0,64</u> 0,62	<u>0,08-0,12</u> 0,10	<u>0,09-0,12</u> 0,10
	соцветия	<u>0,70-0,77</u> 0,74	<u>0,50-0,55</u> 0,53	<u>0,09-0,11</u> 0,10	<u>0,10-0,12</u> 0,11
<i>Robinia pseudoacacia</i>	листья	<u>0,81-0,94</u> 0,86	<u>0,55-0,62</u> 0,57	<u>0,12-0,14</u> 0,13	<u>0,14-0,20</u> 0,14
<i>Caragana arborescens</i>	листья	<u>0,93-1,15</u> 1,0,2	<u>0,55-0,71</u> 0,62	<u>0,12-0,15</u> 0,14	<u>0,20-0,30</u> 0,25
	соцветия	<u>0,69-0,84</u> 0,76	<u>0,47-0,53</u> 0,49	<u>0,10-0,12</u> 0,11	<u>0,12-0,20</u> 0,15

Примечание: в числителе* – пределы колебаний содержания соединения; в знаменателе** – среднее для проанализированных образцов

Следует отметить, что экологические условия оказали влияние на процесс накопления кремния и его форм в растениях - повышенные концентрации данных соединений характерны для сырья, собранного из дичающих озеленительных посадок. Однако выявленные нами концентрации общего и органогенного кремния у изученных видов несколько ниже средних показателей, характерных для лекарственных растений, исследованных по аналогичной методике [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование биохимического состава инвазионных видов растений, вторичные ареалы которых с каждым годом расширяются, является новым перспективным направлением в рациональном освоении природных ресурсов.

Наиболее агрессивные инвазионные виды семейства Бобовые – *G. orientalis*, *L. polyphyllus*, *R. pseudoacacia* и *C. arborescens* обогащены флавоноидами и одновременно являются кремниефильными растениями.

Аккумуляционная способность в отношении биологически активных соединений и кремния слабо зависит от экологических условий произрастания популяций изученных видов и является видоспецифическим признаком.

Сочетание флавоноидного комплекса с биофильным (органогенным) кремнием обуславливает фармакологическую значимость изученных видов и обосновывает необходимость дальнейшего изучения эффективности использования данных видов, инвазионных в Европейской части России, с целью создания на их основе фитопрепаратов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят к. б. н. М.П. Колесникова за методические консультации по проведению аналитических работ, а также к. б. н. Е.В. Ткачёву и сотрудников ГБС РАН, оказавших помощь в сборе образцов растительного материала.

Работа выполнена в рамках темы «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» тематического плана ГБС РАН и при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований ОБН РАН «Рациональное использование биологических ресурсов России: фундаментальные основы управления» и гранта РФФИ № 15-29-02556.

Литература

1. Вопросы рационального использования и сырьевая база лекарственных растений России: Учебное пособие по фармакогнозии / Под ред. Г.И. Олешко, 2-е изд. - Пермь, 2006. - 172 с.
2. Ковалева Н.Г. Лечение растениями. - М.: Медицина, 1972. - 352 с
3. Биологически активные вещества растительного происхождения. В 2 т. / Б.Н. Головкин, Р.Н. Руденская, И.А. Трофимова, А.И. Шретер. - М.: Наука, 2001. Т. 1. - 350 с.; Т. 2. - 764 с.
4. Николаев А.Б. Некоторые сведения об использовании лекарственных растений в народной медицине. - М.: ВИЛР, 1973. - 62 с.

5. Цицилин А.Н. Русские лекарственные растения: 550 сборов для лечения детей и взрослых. - М.: Эксмо, 2010. - 736 с.
6. Виноградова Ю.К., Куклина А.Г. Ресурсный потенциал инвазионных видов растений. Возможности использования чужеродных видов. -М: ГЕОС, 2012. - 186 с.
7. Виноградова Ю.К., Куклина А.Г., Ткачева Е.В. Инвазионные виды растений семейства Бобовых: Люпин, Галега, Робиния, Аморфа, Карагана. - М.: АБФ, 2014. - 304 с.
8. Османова Н.А., Пряхина Н.И. Некоторые фармакологические свойства надземной части *Galega officinalis* L. и *Galega orientalis* Lam. // Растит. ресурсы. 2003. Т. 39. Вып. 4. - С. 119 - 129.
9. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения. Фармакогнозия: учебное пособие /под ред. Г.П. Яковлева. - СПб., 2006. - 845 с.
10. Хасаншина А.Р. Ботанико-фармакогностическое изучение караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.). Автореф. дис. ... канд. фарм. н. - М., 2010. - 24 с.
11. Полещук В.А. Распространение и биологическая продуктивность *Caragana ussuriensis* (Regel) Rojark. в дубовых лесах Южного Приморья // Сибирский экологический журн. 2011. Т. 4. № 3. - С. 322 - 326.
12. Новиков М. Н., Тысленко А.М., Еськов А.И. Многолетний люпин в Нечерноземной зоне России. Владимир: ГНУ ВНИИОУ Россельхозакадемии. 2011. - 12 с.
13. Семенова Н.В. Фітохімічне вивчення листя, квіток, бутонів робінії псевдоакації *Robinia pseudoacacia* L. // Фармокологія та фармація. 2010. № 1. - С. 28 - 30.
14. Olennikov D., Tankhaeva L., Partilkhayev V. Chemical investigation of *Caragana arborescens* shoots // NPC. 2013. Vol. 8. - P. 1 - 2.
15. Колесников М.П., Гинс В.К. Фенольные соединения в лекарственных растениях // Прикладная биохимия и микробиология. 2001. Т. 37, № 4. - С. 457 - 465.
16. Колесников М.П. Формы кремния в растениях // Успехи биологической химии. 2001. Т. 41. - С. 301 - 332.
17. Партилкаев В. В., Танхаева Л. М., Оленников Д. Н. Содержание фенольных соединений в побегах сибирских видов *Caragana* // Химия растительных соединений. 2013. № 1. - С. 143 - 150.
18. Червяковский Е.М., Курченко В.П., Костюк В.А. Роль флавоноидов в биологических реакциях с переносом электронов // Труды Белорусского гос. ун-та. Сер.: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2009. Т. 4, ч. 1. - С. 9 – 26.

References

1. Voprosy racional'nogo ispol'zovaniya i syr'evaja baza lekarstvennyh rastenij Rossii: Uchebnoe posobie po farmakognozii / Pod red. G.I. Oleshko, 2-e izd. Perm', 2006. 172 s.
2. Kovaleva N.G. Lechenie rastenijami. - М.: Medicina, 1972. - 352 s
3. Biologicheski aktivnye veshhestva rastitel'nogo proishozhdenija. V 2 t. / B.N. Golovkin, R.N. Rudenskaja, I.A. Trofimova, A.I. Shreter. - М.: Nauka, 2001. Т. 1. - 350 s.; Т. 2. - 764 s.
4. Nikolaev A.B. Nekotorye svedeniya ob ispol'zovanii lekarstvennyh rastenij v narodnoj medicine. - М.: VILR, 1973. 62 s.
5. Cicilin A.N. Russkie lekarstvennye rastenija: 550 sborov dlja lechenija detej i vzroslyh. - М.: Jeksmo, 2010. 736 s.

6. Vinogradova Ju.K., Kuklina A.G. Resursnyj potencial invazionnyh vidov rastenij. Vozmozhnosti ispol'zovanija chuzherodnyh vidov. - M: GEOS, 2012. 186 s.
7. Vinogradova Ju.K., Kuklina A.G., Tkacheva E.V. Invazionnye vidy rastenij semejstva Bobovyh: Ljupin, Galega, Robinija, Amorfa, Karagana. - M.: ABF, 2014. - 304 s.
8. Osmanova N.A., Prjahina N.I. Nekotorye farmakologicheskie svojstva nadzemnoj chasti Galega officinalis L. i Galega orientalis Lam. // Rastit. resursy. 2003. T. 39. Vyp. 4. - S. 119 - 129.
9. Lekarstvennoe syr'e rastitel'nogo i zhivotnogo proishozhdenija. Farmakognozija: uchebnoe posobie /pod red. G.P. Jakovleva. SPb., 2006. - 845 s.
10. Hasanshina A.R. Botaniko-farmakognosticheskoe izuchenie karagany drevovidnoj (Caragana arborescens Lam.). Avtoref. dis. ... kand. farm. nauk - M., 2010. 24 s.
11. Poleshhuk V.A. Rasprostranenie i biologicheskaja produktivnost' Caragana ussuriensis (Regel) Pojark. v dubovyh lesah Juzhnogo Primor'ja // Sibirskij jekologicheskij zhurn. 2011. T. 4. № 3. - S. 322 - 326.
12. Novikov M. N., Tyslenko A.M., Es'kov A.I. Mnogoletnij ljupin v Nechernozemnoj zone Rossii. Vladimir: GNU VNIIOU Rossel'hozakademii. 2011. 12 s.
13. Semenova N.V. Fitohimichne vivchennja listja, kvitok, butoniv robinii psevdokacii Robinia pseudoacacia L. // Farmokologija ta farmacija. 2010. № 1. S. 28 - 30.
14. Olennikov D., Tankhaeva L. , Partilkaev V. Chemical investigation of Caragana arborescens shoots // NPC. 2013. Vol. 8. R. 1 - 2.
15. Kolesnikov M.P., Gins V.K. Fenol'nye soedinenija v lekarstvennyh rastenijah // Prikladnaja biohimija i mikrobiologija. 2001. T. 37, № 4. - S. 457 - 465.
16. Kolesnikov M.P. Formy kremnija v rastenijah // Uspehi biologicheskoi himii. 2001. T. 41. - S. 301-332.
17. Partilkaev V. V., Tanhaeva L. M., Olennikov D. N. Soderzhanie fenol'nyh soedinenij v pobegah sibirskih vidov Caragana // Himija rastitel'nyh soedinenij. 2013. № 1. - S. 143-150.
18. Chervjakovskij E.M., Kurchenko V.P., Kostjuk V.A. Rol' flavonoidov v biologicheskikh reakcijah s perenosom jelektronov // Trudy Belorusskogo gos. univer. Ser.: Fiziologicheskie, biohimicheskie i molekularnye osnovy funkcionirovanija biosistem. 2009. T. 4, ch. 1. - S. 9 - 26.