

УДК 581.19; 582.736

ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ *LUPINUS POLYPHYLLUS* ПО СОДЕРЖАНИЮ

ФЕНОЛЬНЫХ И КРЕМНИЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ*

А.Г. Куклина¹, М.П. Колесников², Е.В. Ткачева³

¹Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва

²Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, Москва

³Библиотека Естественных наук РАН, Москва

Биохимический анализ 7 образцов *Lupinus polyphyllus* Lindl. из натурализовавшихся популяций вторичного ареала (в Москве, Калужской и Смоленской областях) показал, что листья содержат кверцетин-3-0-глюкозид (0,68–0,77%), кверцетин-3-0-галактозид (0,44–0,57%), лютеолин-7-0-глюкозид (0,40–0,48%), диосметин-7-0-глюкозид (0,48–0,55%), апигенин-7-0-глюкозид (0,18–0,33%). В соцветиях присутствуют кверцетин-3-0-глюкозид (0,70–0,74%), кверцетин-3-0-галактозид (0,34–0,47%), лютеолин-7-0-глюкозид (0,18–0,24%). Стебли всех образцов содержат кверцетин-3-0-глюкозид (0,14–0,57%) и кверцетин-3-0-галактозид (0,07–0,47%). В листьях и соцветиях преобладает органический кремний (0,50–0,64%), в стеблях – полимерный кремний (до 0,47% на абс. сухое в-во).

Ключевые слова: *Lupinus polyphyllus*, лист, соцветие, стебель, фенольные соединения, кремний.

Введение. Люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus* Lindl., *Fabaceae* Lindl.) – травянистый двулетник или короткоживущий многолетник высотой 0,8–1,5 м. Листья пальчатосложные с 10–15 узколанцетными листочками. Цветки, обычно синие, собраны (до 80 шт.) в прямостоячее соцветие – брактеозная кисть. Бобы черные, плоские, удлиненной формы, опушенные седыми волосками, содержат по 4–12 крупных семян [7; 11; 13]. Естественный ареал находится на западе Северной Америки: в Канаде (Британская Колумбия) и США (штат Аляска, запад штата Орегон и Вашингтон, северная часть Калифорнии), местообитания – по берегам рек, на лугах и обочинах дорог [14].

Впервые *L. polyphyllus* был завезен в Англию в 1826 г., позже его разводили во многих странах Центральной Европы как садовое растение. Однако в конце XIX в. он начал дичать в Англии, Швеции, а потом в Германии, Финляндии, Норвегии, Польше, России и странах Балтии [2]. Во второй половине XX в. *L. polyphyllus* широко культивировали на бедных почвах Средней России как зеленое удобрение [11]. По всей вероятности, он «сбежал» из

* Работа выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий»

сельскохозяйственной культуры, что стало причиной массового распространения вида во вторичном ареале. Инвазионные популяции люпина многолистного отмечены во многих регионах Средней России: с 1921 г. в Ярославской, с 1950-х в Московской, с 1960-х в Калужской, Владимирской, Смоленской, с конца 1970-х в Рязанской, Тверской и др. областях. В местах заноса – по обочинам дорог, лугам, в карьерах, на склонах ж/д насыпей вид долго удерживается, разрастается и образует массовые одновидовые заросли [24-3]. В Тверской обл. *L. polyphyllus* в большом количестве встречается в кюветах, по окраинам полей и лесов, залежам, вырубкам, а также в долинах рек, на берегах озер и вдоль всех шоссеиных дорог, соединяющих районные центры [9, 10]. В настоящий период весьма крупные заросли известны также в Ивановской, Тульской, Тамбовской, Липецкой и Воронежской областях. Анализ вторичного ареала *L. polyphyllus* с учетом степени его натурализации показывает, что в Средней России тренд инвазии направлен с северо-запада на юго-восток. В лесной нечерноземной зоне вид является агрофитом, в лесостепной черноземной зоне – эпекофитом [11, 12].

В популяциях вторичного ареала у *L. polyphyllus* чаще всего встречаются особи с синими цветками, изредка с белыми и розовыми. Окраска венчика люпина зависит от наличия антоциановых пигментов: синяя и фиолетовая определяется содержанием дельфинидина; малиновая – цианидином и пеларгонидином, розовая – цианидином [6]. В химическом составе растения присутствует ряд биологически активных веществ: биоханин А, генистеин, грамин, изокверцитрин; лютеолин-7-глюкозид, тригонеллин, рутин и алкалоид люпанин (2%) [4; 7; 8]. Наиболее ценными компонентами семян являются белок (42,1%) и жир (8,6% сухой массы), однако там также содержатся вредные для овец и крупного рогатого скота алкалоиды (23,4 мг/г), среди которых люпанин, применяемый в медицине при слабой сердечной аритмии и как местный анестетик [1, 7].

Целью работы было определение концентраций фенольных и кремниевых соединений в различных органах растений *L. polyphyllus* из популяций вторичного ареала.

Материал и методика. Образцы средневозрастных генеративных растений *L. polyphyllus* (листья, соцветия и стебли) собирали летом 2009-2010 гг. в Москве, Калужской и Смоленской областях (табл. 1). Биохимическое исследование фенольных и кремниевых соединений проводили в лаборатории Института биохимии им. А.Н. Баха РАН по описанным и использованным методикам [3; 5].

Характеристика образцов *Lupinus polyphyllus*

№	Место сбора	Окраска соцветий	Характеристика исследованных органов
1	Москва, Владыкино, Главный ботанический сад (ГБС РАН), производственная территория. Одичалая (за 5 лет) колония площадью ~80м ²	Синяя	Листья (~4 шт. на побеге) и стебли (высотой ~120 см)
2	Там же, в культуре	Красная	Листья (4 шт. на побеге) и стебли (высотой ~85 см)
3	Калужская область, Спас-Деменский р-н, окр. с. Лазинки, вдоль шоссеной дороги. Одичалая колония площадью ~1 га	Синяя	Листья, соцветия, стебли (высотой более 120 см)
4		Бледно-розовая	Листья (6-13 шт. на побеге), соцветия (длиной 35-65 см), стебли (высотой ~140 см)
5		Белая	Листья (~4 шт. на побеге), соцветия (длиной 28-50 см), стебли (высотой до 100 см)
6	Смоленская область, Сафоновский р-н, 15 км ССВ от г. Сафоново, вдоль дороги на пос. Холм-Жирковский.	Синяя	Листья (1-4 шт. на побеге), соцветия (длиной 16-60 см), стебли (высотой 76-150 см)
7	Колония на заброшенных с/х угодьях, одичавшая за 30 лет, общей площадью до 50 га	Белая	Листья (3-5 шт. на побеге), стебли (высотой 90-114 см)

Общая схема анализа фенольных соединений состояла из определения количества простых фенольных соединений и фенолкарбоновых кислот (включая оксибензойные и оксикоричные кислоты), а также конденсированных полифенолов (или дубильных веществ) и суммы флавоноидов, включающей кверцетин-3-0-глюкозид, кверцетин-3-0-галактозид, лютеолин-7-0-глюкозид, диосметин-7-0-глюкозид, апигенин-7-0-глюкозид и акацетин-7-0-глюкозид. При экстракции кремния для разделения минеральных и органогенных форм этого элемента не прибегали к озолению растительного материала. Для этого подбирали такие условия обработки образцов, при которых освобождается только кремний, связанный с органическим веществом, а аморфный кремнезем и поликремниевые кислоты остаются в нерастворимом состоянии. Полученные результаты обрабатывали статистически с использованием пакета программ Microsoft Excel. Допустимая ошибка измерений не превышала нормы ($P \leq 5\%$).

Результаты и обсуждение. В ходе исследования установлено, что общая сумма фенольных соединений (ФС) у *L. polyphyllus* значительно варьирует в разных органах растения: максимальное

количество в листьях (3,59-3,77%), меньше в соцветиях (2,63-2,91%) и стеблях (1,81-2,85%) (табл. 2).

Таблица 2
Фракционный состав фенольных соединений (ФС)
Lupinus polyphyllus (% на абс. сухую массу)

Образец	Органы	Общая сумма ФС	Простые ФС и фенолкарбоновые кислоты		Сумма флавоноидов	Конденсированные ФС, или дубильные вещества	
			простые ФС и оксибензойные кислоты	оксикоричные кислоты			
1	Москва, синие цветки	листья	3,71±0,10	0,32±0,08	0,15±0,02	2,47±0,14	0,77±0,14
	стебли	2,85±0,21	0,17±0,02	0,05±0,01	1,51±0,11	1,12±0,12	
2	Москва, красные цветки	листья	3,58±0,11	0,35±0,05	0,15±0,02	2,34±0,14	0,74±0,11
	стебли	2,82±0,10	0,14±0,03	0,07±0,01	1,27±0,12	1,34±0,13	
3	Калужская обл., синие цветки	листья	3,77±0,08	0,43±0,11	0,14±0,04	2,30±0,11	0,90±0,11
		соцветия	2,78±0,10	0,50±0,05	0,10±0,01	1,24±0,11	0,94±0,15
		стебли	2,05±0,09	0,24±0,07	0,05±0,01	0,44±0,08	1,32±0,11
4	Калужская обл., розовые цветки	листья	3,72±0,10	0,40±0,05	0,17±0,01	2,43±0,11	0,72±0,15
		соцветия	2,91±0,10	0,42±0,01	0,10±0,04	1,49±0,19	0,90±0,12
		стебли	1,94±0,09	0,14±0,05	0,05±0,01	0,31±0,17	1,44±0,11
5	Калужская обл., белые цветки	листья	3,77±0,13	0,34±0,05	0,15±0,03	2,51±0,17	0,77±0,16
		соцветия	2,89±0,13	0,51±0,02	0,10±0,01	1,34±0,11	0,94±0,11
		стебли	1,83±0,11	0,22±0,05	0,05±0,03	0,39±0,13	1,17±0,14
6	Смоленская обл., синие цветки	листья	3,68±0,13	0,43±0,05	0,15±0,01	2,40±0,11	0,70±0,11
		соцветия	2,63±0,10	0,34±0,06	0,11±0,02	1,34±0,15	0,84±0,12
		стебли	1,81±0,12	0,17±0,05	0,05±0,01	0,27±0,11	1,32±0,17
7	Смоленская обл., белые цветки	листья	3,59±0,10	0,40±0,05	0,14±0,01	2,44±0,11	0,67±0,09
		стебли	1,95±0,11	0,20±0,04	0,05±0,05	0,30±0,16	1,40±0,08

Наибольшее количество оксибензойных кислот чаще всего аккумулируется в соцветиях (0,34-0,52%), а в листьях (0,32-0,43%) и стеблях (0,14-0,17%) меньше в 1,5-2 раза. Оксикоричных кислот в листьях (0,14-0,17%) больше в 2-3 раза, чем в стеблях, и в 1,5 раза больше, чем в соцветиях. Конденсированные полифенолы (до 1,44%), которые являются дубильными веществами, максимально накапливаются в стеблях растений.

Сумма флавоноидов (до 2,47%) в листьях *L. polyphyllus* вполне сравнима с *Pulsatilla multifida* (Pritz.) Juz. (2,41%), *Rhodiola linoides* Roth. (2,17%), *Hippophaë rhamnoides* L. (2,17%), *Schisandra chinensis*

(Turcz.) Baill. (2,97%), исследованных по аналогичной методике [5]. Как видно на рис. 1, у *L. polyphyllus* в листьях сумма всех флавоноидов в 1,5 раза больше, чем в соцветиях, и в 4 раза больше, чем в стеблях.

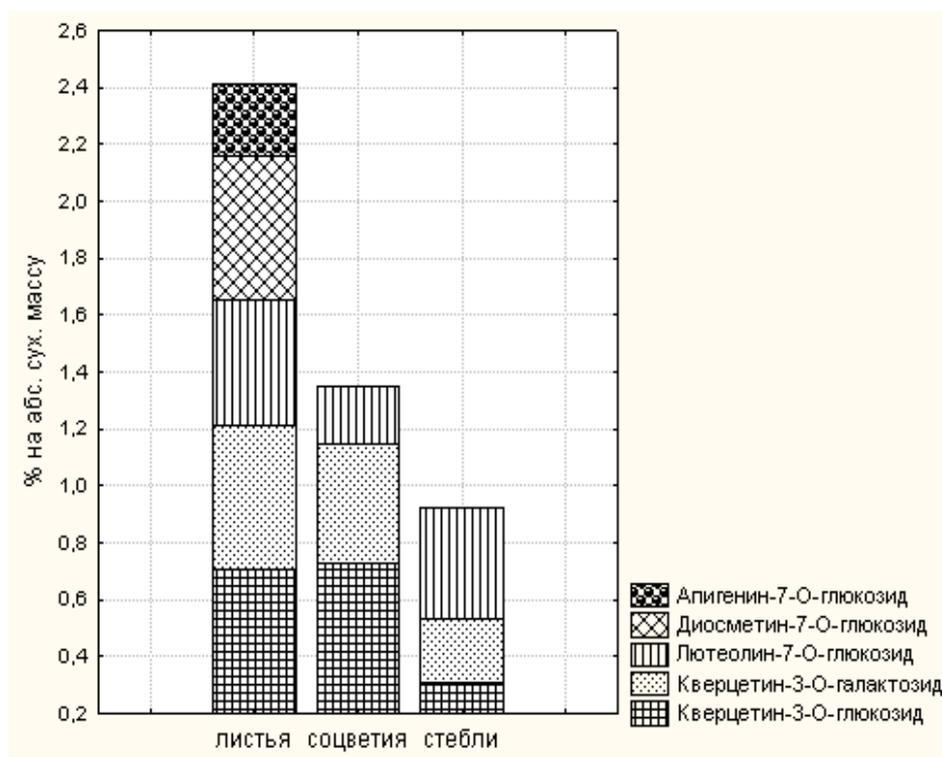


Рис. 1. Среднее содержание веществ флавоноидного комплекса в листьях, соцветиях и стеблях *Lupinus polyphyllus*

Среди физиологически активных веществ флавоноидной природы в листьях и соцветиях *L. polyphyllus* обнаружены кверцетин-3-О-гликозид (0,68-0,74%) и кверцетин-3-О-галактозид (0,34-0,57%), которые обладают противоязвенной и антиоксидантной активностями. В стеблях этих веществ (0,33 и 0,24%, соответственно) в 3-5 раз меньше. Лютеолин-7-О-гликозид, обладающий капилляроукрепляющими свойствами, выделен из листьев (0,42-0,48%), в 2 раза меньше из соцветий (0,18-0,24%) и чаще всего отсутствует в стеблях. Диосметин-7-О-гликозид и апигенин-7-О-гликозид не найдены в соцветиях и стеблях; содержатся только в листьях, где первого флавоноида (0,5%) в 2 раза больше, чем второго (0,25%) (см. рис. 1). Акацетин-7-О-гликозид у *L. polyphyllus* вообще не обнаружен.

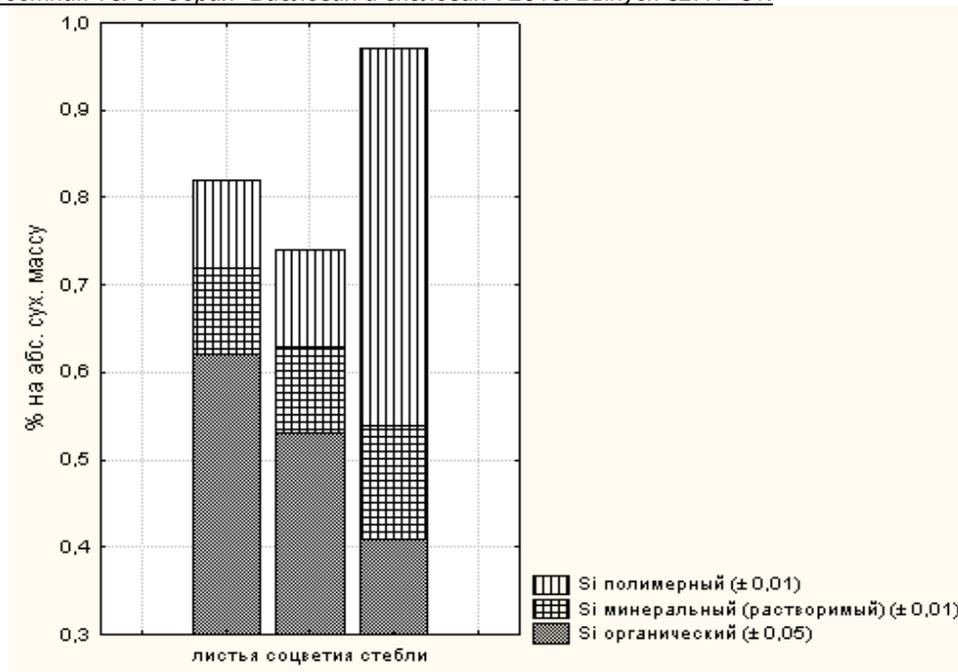
Среднее содержание общего кремния у *L. polyphyllus* составляет 0,86%. Анализ распределения форм кремния по органам растения показал (табл. 3), что листья наиболее обогащены органическим кремнием (0,58-0,64%), в меньшей степени соцветия (до 0,55%) и стебли (до 0,42%).

Полимерный кремний максимально сосредоточен в стеблях (до 0,44%). Минеральный растворимый кремний, входящий в состав водорастворимых соединений типа ортокремневой кислоты и ортокремневых эфиров, равномерно распределен в исследованных органах: по 0,1% в листьях и соцветиях; до 0,15% в стеблях (рис. 2).

Таблица 3

Содержание различных форм кремния у *Lupinus polyphyllus*
(в % на абс. сухую массу)

Образец	Органы	Общий кремний	Органический кремний	Минеральный растворимый кремний	Полимерный кремний
1 Москва, синие цветки	листья	0,82±0,04	0,62±0,06	0,10±0,01	0,10±0,02
	стебли	0,97±0,05	0,40±0,05	0,15±0,02	0,42±0,01
2 Москва, красные цветки	листья	0,84±0,06	0,64±0,05	0,10±0,01	0,10±0,01
	стебли	1,01±0,05	0,40±0,04	0,14±0,01	0,47±0,04
3 Калужская обл., синие цветки	листья	0,82±0,03	0,62±0,05	0,10±0,04	0,10±0,02
	соцветия	0,77±0,05	0,55±0,03	0,10±0,01	0,12±0,03
	стебли	1,00±0,07	0,42±0,10	0,14±0,01	0,44±0,06
4 Калужская обл., розовые цветки	листья	0,80±0,11	0,60±0,08	0,10±0,01	0,10±0,01
	соцветия	0,75±0,09	0,55±0,07	0,10±0,02	0,10±0,11
	стебли	1,01±0,03	0,44±0,05	0,15±0,03	0,42±0,01
5 Калужская обл., белые цветки	листья	0,84±0,05	0,64±0,05	0,10±0,01	0,10±0,01
	соцветия	0,70±0,03	0,50±0,04	0,10±0,01	0,10±0,01
	стебли	0,94±0,02	0,42±0,04	0,12±0,02	0,40±0,01
6 Смоленская обл., синие цветки	листья	0,82±0,05	0,62±0,05	0,10±0,07	0,10±0,02
	соцветия	0,70±0,07	0,50±0,05	0,10±0,10	0,10±0,01
	стебли	0,98±0,10	0,42±0,03	0,12±0,02	0,44±0,06
7 Смоленская обл., белые цветки	листья	0,78±0,02	0,58±0,05	0,10±0,01	0,10±0,03
	стебли	0,94±0,04	0,40±0,01	0,12±0,04	0,42±0,01



Р и с . 2. Среднее содержания различных форм кремния в листьях, соцветиях и стеблях *Lupinus polyphyllus*

В народной медицине используют отвары кремнефильных видов хвоща и полыни при нарушениях свертываемости крови и для лечения заболеваний верхних дыхательных путей, благодаря выраженному кровоостанавливающему и противовоспалительному воздействию. При этом отмечено, что из всех кремниевых соединений у *Equisetum sylvaticum* L. (4,2%), *Artemisia austriacalis* Less. (1,6%) и *A. pauciflora* M. Vieb. (2,9%) преобладают полимерные [3], а не органические формы кремния (как у люпина многолистного). Поскольку, так называемый «биофильный» кремний (являющийся частью органического) связан с фосфолипидами и белком и как один их микроэлементов вовлекается в обмен веществ, то он легче усваивается организмом, в сравнении с другими формами кремния.

Заключение. Полученные данные расширяют представление о биохимическом составе растений *L. polyphyllus* в популяциях вторичного ареала и показывают, что общая сумма фенольных соединений, их фракционный состав и содержание различных форм кремния в органах практически не зависят от окраски венчика.

В листьях и соцветиях *L. polyphyllus* среди физиологически активных компонентов присутствуют кверцетин-3-О-глюкозид и кверцетин-3-О-галактозид, сочетающиеся с органическим кремнием. Кроме того, листья являются накопителями глюкозированных форм диосметина и атегинина.

Выражаем благодарность д.б.н. Ю.К. Виноградской за руководство работой по изучению инвазионных видов и д.б.н. М.В. Костиной за участие в сборе растительного материала.

Список литературы

1. Бузук Г.Н., Ловкова М.Я., Соколова С.М., Тютюкин Ю.В. Оценка зависимости между алкалоидами и элементами в люпине многолистном (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) на основе статистического анализа и математического моделирования // Прикладная биохимия и микробиология. 2002. Т. 38. № 3. С. 333–340.
2. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Нотов А.А. Черная книга флоры Тверской области: чужеродные виды в экосистемах Тверского региона. М: КМК, 2011. 292 с.
3. Виноградова Ю.К., Куклина А.Г. Ресурсный потенциал инвазионных видов растений. Возможности использования чужеродных видов. М.: ГЕОС, 2012. 186 с.
4. Головкин Б.Н. Биологически активные вещества растительного происхождения. Т. 1. М.: Наука, 2001. 350 с.
5. Колесников М.П., Гинс В.К. Фенольные соединения в лекарственных растениях // Прикладная биохимия и микробиология. 2001 Т. 37, № 4. С. 457–465.
6. Левко Г.Д. Люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus*) и методы его элитного семеноводства: автореф. дис ... канд. с.-х. наук. М: ВНИИССОК, 1994. 24 с.
7. Майсурян Н.А., Атабекова А.И. Люпин. М.: Колос, 1974. 463 с.
8. Новиков М.Н., Тысленко А.М., Еськов А.И. Многолетний люпин в Нечерноземной зоне России. Владимир: ГНУ ВНИИОУ Россельхозакадемии, 2011. 12 с.
9. Нотов А.А. Адвентивный компонент флоры Тверской области: Динамика состава и структуры. Тверь: Изд. Твер. гос. ун-та, 2009. 473 с.
10. Нотов А.А. Национальный парк «Завидово»: Сосудистые растения, мохообразные, лишайники. М.: Деловой мир, 2010. 432 с.
11. Ткачева Е.В. Биологические особенности видов семейства Leguminosae Juss. разного уровня инвазивности: автореф. дис... канд. биол. наук. М., 2011а. 22 с.
12. Ткачева Е.В. Прогноз динамики расширения вторичного ареала *Lupinus polyphyllus* Lindl. в Средней России // Вестник Твер. гос. ун-та. Сер. Биология и экология. 2011б. Вып. 23. № 20. С. 108–133.
13. Ткачева Е.В., Виноградова Ю.К. Сравнительный анализ семенной продуктивности таксонов рода Люпин - *Lupinus polyphyllus* и *L. × regalis* // Ботанические сады в 21 веке: сохранение биоразнообразия, стратегия развития и инновационные решения: материалы

международ. науч-практ. конф. Белгород: ИПЦ «ПОЛИТЕРРА», 2009. С. 100–103.

14. Scoggan H.J. The Flora of Canada. Part 3. Dicotyledonae (*Saussuraceae* to *Violaceae*). Ottawa: National Muséum of Natural Sciences of Canada. Publications in Botany. Vol. 7. 1978. 1115 p.

PHYTOCHEMICAL ANALYSIS OF LUPINUS POLYPHYLLUS LIDL. FOR PHENOLIC AND SILICON COMPOUNDS

A.G. Kuklina¹, M.P. Kolesnikov², E.V. Tkacheva³

¹Tsitsin Main Botanical Garden RAS, Moscow

²Bach Institute of Biochemistry RAS, Moscow

³Library of Natural Sciences RAS, Moscow

Biochemical analysis of 7 samples of *Lupinus polyphyllus* Lindl. naturalized populations in the secondary distribution ranges (in Moscow, Kaluga and Smolensk regions) shows that leaves contain quercetin-3-0-glycoside (0,67–0,77%), quercetin-3-0-galactoside (0,44–0,57%), luteolin-3-0-glucoside (0,40–0,48%), diosmetin-3-0-glucoside (0,48–0,55%), apigenin-3-0-glycoside (0,18–0,33%). Inflorescences contain quercetin-3-0-glycoside (0,70–0,74%), quercetin-3-0-galactoside (0,34–0,47%), luteolin-3-0-glucoside (0,18–0,24%). Stems of all samples contain quercetin-3-0-glycoside (0,14–0,57%), quercetin-3-0-galactoside (0,07–0,47%). Organic silicon (0,50–0,64%) dominates in leaves and inflorescences, whereas, silicon (up to 0,47% on the abs. dry in of) - in the stems.

Keywords: *Lupinus polyphyllus*, leaves, inflorescences, stems, phenolic compounds, silicon

Об авторах:

КУКЛИНА Алла Георгиевна–кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела флоры, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 4, e-mail: alla_gbsad@mail.ru

КОЛЕСНИКОВ Михаил Петрович–кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории эволюционной биохимии ФГБУН Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 33, корп. 2, e-mail: mpk200549@mail.ru

ТКАЧЁВА Екатерина Васильевна–кандидат биологических наук, заведующая библиотекой ФГБУН Библиотека естественных наук РАН, 119911, Москва, ул. Знаменка, д. 11/11, e-mail: katusha_2009@mail.ru