

Ботанические исследования

УДК 633.8+58.009

Е.С. Васфилова, О.Е. Сушенцов

ВЗАИМОСВЯЗЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И СОДЕРЖАНИЯ ФЛАВОНОЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ ЛАБАЗНИКА ВЯЗОЛИСТНОГО (*FILIPENDULA ULMARIA* (L.) MAXIM. S.L.)

Изучена взаимосвязь морфологических показателей и содержания флавонолов в листьях и соцветиях лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. s.l.), произрастающего в природных ценопопуляциях на территории Среднего Урала (10 ценопопуляций) и Поволжья (1 ценопопуляция), а также в условиях культуры в Ботаническом саду Уральского отделения РАН. Показано отсутствие достоверных корреляций такого рода для соцветий лабазника, что дает возможность при заготовке сырья ориентироваться на ценопопуляции с повышенной фитомассой соцветий. Для листьев установлено наличие достоверных отрицательных корреляций содержания флавонолов с высотой растений, количеством стеблевых листьев, а также диаметром цветка, что, вероятно, связано с разнонаправленным влиянием на эти показатели освещенности местообитаний, а также других экологических факторов. Высота растений и количество стеблевых листьев косвенно связаны с фитомассой лекарственного сырья. Но заготовка листьев с низкорослых растений, содержащих повышенное количество флавонолов в листьях, перспективна только в популяциях с высокой плотностью побегов на единицу площади, где общая фитомасса сырья достаточно высока. Отмеченная рядом исследователей отрицательная взаимосвязь накопления биологически активных соединений и продуктивности лекарственных растений приводит к невозможности предварительной оценки перспективности конкретных ценопопуляций по морфологическим признакам-маркерам, коррелятивно связанным как с содержанием действующих веществ (отрицательно), так и с фитомассой сырья (положительно). При заготовке травы лабазника, предложенной в настоящее время в качестве перспективного лекарственного сырья, по-видимому, следует ориентироваться на популяции с повышенной фитомассой особей, особенно с учетом того факта, что содержание флавонолов в соцветиях (официальном сырье) в 1,9–3,3 раза превышает таковое в листьях.

Ключевые слова: лабазник, *Filipendula ulmaria*, *Filipendula denudata*, содержание флавонолов, морфологические показатели.

Лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. s.l.) – крупное многолетнее корневищное травянистое растение [1], которое широко используется в научной и народной медицине России и ряда европейских стран. В нашей стране в качестве лекарственного сырья применяются цветки растений данного вида в качестве противовоспалительного и ранозаживляющего средства¹. В настоящее время установлено, что цветки *F. ulmaria* обладают разнообразными видами фармакологической активности – антикоагулянтной, гастропротекторной, противодиабетической, антиканцерогенной, иммуномодулирующей, антиоксидантной и т.д. [2 и др.].

В ряде европейских стран официальным сырьем является трава лабазника вязолистного; в частности, этот вид сырья входит в Британскую травяную фармакопею (БТФ). В нашей стране это сырье интенсивно изучается рядом исследователей [3; 4] и выпускается в качестве биологически активной добавки к пище [5]. В нём содержится большое количество флавонолов и других БАС, оно обладает различными видами фармакологической активности, в частности антиоксидантным, иммунотропным, гепатопротекторным действием; это перспективный источник ноотропных лекарственных средств. В траве (надземной части) лабазника весьма значительную часть составляют стеблевые листья – 33,3 %, при этом содержание флавонолов в них доходит до 6,92 %. [4]. Листья лабазника богаты также каротиноидами, катехинами, протопектинами [6]. Таким образом, листья лабазника являются достаточно ценным источником биологически активных веществ и заслуживают внимания как новый вид лекарственного сырья. Все это определяет повышенный интерес исследователей к лабазнику вязолистному и сырью на его основе. При этом возникает необходимость оптимизации заготовок сырья данного вида с целью выделения перспективных ценопопуляций, дающих наибольшую фитомассу сырья, обогащенного биологически активными веществами (в частности, флавонолами). Целью

¹ Временная фармакопейная статья (ВФС) 42-1777-87 «Лабазника вязолистного цветки».

данной работы явилось изучение возможных взаимосвязей накопления БАС и морфологических признаков растений лабазника, в том числе показателей, обуславливающих сырьевую продуктивность.

Ценность любого лекарственного растения определяется в первую очередь его способностью к накоплению определенных групп веществ (биологически активных соединений – БАС), способных оказывать то или иное фармакологическое действие на организм человека и животных и применяемых в связи с этим в медицинской практике. Существует огромное количество литературы, посвященной изучению различных аспектов накопления БАС в сырьевых органах лекарственных растений как научной медицины России (входящих в «Государственный реестр лекарственных средств»), так и народной медицины, а также используемых в гомеопатии.

Как на содержание действующих веществ, так и на значения морфологических признаков большое влияние оказывают разнообразные факторы среды обитания растений (освещенность, увлажнение, богатство почв и т. д.). В определенных случаях это может приводить к возникновению как положительных, так и отрицательных корреляций между данными параметрами. Поскольку определение количественного содержания БАС является в большинстве случаев достаточно трудоемким процессом, представляет определенный интерес поиск таких корреляций и выделение соответствующих морфологических признаков – маркеров количества БАС, с помощью которых можно было бы давать экспресс-оценку содержания этих веществ.

Однако необходимо учитывать, что не менее важной составляющей ценности лекарственного растения является, наряду с содержанием действующих веществ, биомасса органов, используемых в качестве лекарственного сырья. А эти два показателя, по данным ряда авторов [7-9], как правило, отрицательно взаимосвязаны. Как утверждают Г.Н. Бузук с соавторами [7], О.В. Созинов с соавторами [9], в одних и тех же эколого-ценотических условиях невозможно получить максимальную продуктивность и высокое содержание биологически активных веществ в сырье. Максимальное накопление различных групп БАС наблюдается в условиях избытка или недостатка экологических факторов (освещенности, увлажнения, трофности и др.); в то же время максимальная сырьевая продуктивность формируется в условиях синэкологического оптимума. Это связано, по мнению авторов, с конкуренцией путей первичного и вторичного метаболизма [9].

Как отмечают Н.В. Гетко с соавторами [10], «биосинтез фенольных соединений и белков – два альтернативных пути в осуществлении нормальных функций растительной клетки: усиленное формирование молекул белковых веществ приводит к ослаблению синтеза флавоноидов, и наоборот. ... белки и полифенолы конкурируют в процессе их биосинтеза в клетке за фенилаланин, который является их общим предшественником». А.В. Баймухаметова [11], отмечая отрицательную корреляцию содержания оксикоричных кислот в растениях эхинацеи пурпурной с высотой и вегетативной массой растений, объясняет ее тем, что данные соединения являются структурными компонентами лигнина и суберина, накопление которых приводит к торможению растяжения клеточной стенки и ингибированию роста.

На основании приведенных материалов можно сделать вывод, что ориентация только на морфологические признаки-маркеры может приводить к значительному снижению массы заготавливаемого ЛРС и, как следствие, нерациональной эксплуатации имеющихся запасов сырья как в природных ценопопуляциях, так и в условиях возделывания лекарственных растений. Так, например, Н.В. Гетко с соавторами [10] для эхинацеи пурпурной, культивируемой в Беларуси, основываясь на выявленных взаимосвязях накопления оксикоричных кислот и морфологических признаков растений, рекомендуют для селекционного отбора низкорослые растения (высотой до 50 см) с небольшим числом генеративных побегов. Однако авторы, по-видимому, не учитывают, что в данном случае может произойти значительное уменьшение сырьевой биомассы и снижение урожайности на участках возделывания и, как следствие, уменьшение выхода действующих веществ с единицы площади.

Таким образом, параллельное изучение особенностей накопления БАС и морфологических показателей, тесно связанных с сырьевой продуктивностью у лекарственных растений, представляется актуальной задачей. Нами проведено определение содержания флавонолов в цветках (в пересчете на рутин) и в листьях лабазника (в пересчете на рутин и на кверцетин), а также изучены морфологические параметры растений в ряде природных ценопопуляций и в условиях культуры в БС УрО РАН.

Материалы и методы исследований

Лабазник вязолистный представляет собой полиморфный вид со сложной популяционной структурой и наличием внутривидовых подразделений неясного таксономического ранга. Некоторые авторы разделяют *F. ulmaria* (L.) Maxim. на отдельные виды: *F. ulmaria* s. str. (л. вязолистный в узком смысле) и *F. denudata* (J. et C. Presl) Fritsch (л. обнаженный) [12]. Ряд исследователей выделяют в пределах вида *F. ulmaria* (L.) Maxim. подвиды *subsp. ulmaria* и *subsp. denudata* (J. et C. Presl) Hayek, различия между которыми заключаются в характере и интенсивности опушения листьев [13]. Часть авторов рассматривает последний таксон в качестве формы [14]. Наши исследования [15] подтвердили, что *F. denudata* может рассматриваться в качестве формы или вариации.

Данная работа проводилась как в «чистых» популяциях, содержащих только особи *F. ulmaria* s. str., так и в «смешанных», то есть содержащих одновременно *F. ulmaria* s. str. и *F. denudata*. При этом в «смешанных» популяциях таксоны *F. ulmaria* s. str. и *F. denudata* анализировали по отдельности. Расчет коэффициентов корреляции проводили для всего комплекса образцов в целом.

Материал собирался в 2009-2012 гг. в природных ценопопуляциях лабазника на территории Среднего Урала (Свердловская обл. – 10 ценопопуляций) и Поволжья (Кировская обл., Вятскополянский р-н – 1 ценопопуляция), а также в условиях культуры в Ботаническом саду Уральского отделения РАН (БС УрО РАН, Екатеринбург) на двух, различных по условиям среды обитания, участках (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика мест сбора образцов лабазника

Номер ценопопуляции	Описание местообитаний	Год сбора	Номер образца	Таксон
Природные ценопопуляции				
1	Белоярский район, 0,5 км на север от с. Грязновское, опушка соснового леса, вдоль автотрассы	2009	1	<i>F. ulmaria</i> s. str.
2	Камышловский р-н, 1 км на юго-восток от с. Обуховское, небольшой лог в пойме р. Пышмы	2010, 2011	2 3	<i>F. ulmaria</i> s. str.
3	Пышминский район, 2 км на восток от с. Черемыш, опушка леса, берег ручья	2012	4	<i>F. ulmaria</i> s. str.
4	Алапаевский район, 2 км на северо-запад от с. Косяково, низина вдоль автотрассы	2012	5	<i>F. ulmaria</i> s. str.
5	Режевской район, 1 км на юго-восток от п. Ключевск, вдоль автотрассы	2012	6	<i>F. ulmaria</i> s. str.
6	Восточная окраина пос. Арти, лог в разреженном сосновом лесу	2011	7 8	<i>F. ulmaria</i> s. str. <i>F. denudata</i>
7	Артинский р-н, 9 км на юго-восток от пос. Арти, разнотравный луг	2011	9 10	<i>F. ulmaria</i> s. str. <i>F. denudata</i>
8	Нижнесергинский р-н, 7 км на запад от г. Михайловска, лесная опушка, вдоль автотрассы	2011	11 12	<i>F. ulmaria</i> s. str. <i>F. denudata</i>
9	Юго-восток Кировской обл., Вятскополянский р-н, пос. Красная Поляна, низина у железнодорожной насыпи	2011	13 14	<i>F. ulmaria</i> s. str. <i>F. denudata</i>
10	Ревдинский р-н, 8 км на юг от г. Ревды, берег р. Большая Пузаниха	2012	15 16	<i>F. ulmaria</i> s. str. <i>F. denudata</i>
11	Полевской район, 1 км на запад от д. Раскуиха, низина около лесной дороги	2012	17 18	<i>F. ulmaria</i> s. str. <i>F. denudata</i>
Условия выращивания				
	БС УрО РАН, увлажненный и затененный участок	2010, 2012	19 20	<i>F. ulmaria</i> s. str.
	БС УрО РАН, сухой и освещенный участок	2012	21	<i>F. ulmaria</i> s. str.

Для учета межгодовой изменчивости в семи природных ценопопуляциях и на одном из участков в БС УрО РАН были взяты повторные выборки. Размер выборки для изучения морфологических признаков составлял 30 растений, изучали следующие показатели: высота растения, см; длина вегетативной части (до первого генеративного побега 2 порядка), см; длина соцветия, см; ребристость стебля, баллы (1–3); число стеблевых листьев; число лопастей конечного сегмента листа (3 или 5); число основных пар боковых долей листа; число вставочных пар боковых долей листа; число боковых соцветий; диаметр цветка. Определение значений морфологических параметров проводили в фазе массового цветения растений.

Материал для химического анализа (цветки и стеблевые листья) заготавливали в июле, в фазе массового цветения растений; сушили воздушно-теневым способом. Проанализированы 21 образец цветков и 17 образцов листьев.

В соответствии с действующей нормативной документацией стандартизация цветков лабазника проводится по сумме флавоноидов (флавонолов) в пересчете на гликозиды кверцетина². Для определения содержания флавонолов в цветках и листьях мы применяли метод дифференциальной спектрофотометрии с использованием реакции комплексообразования с хлоридом алюминия. В качестве раствора сравнения использовали извлечение без добавления хлорида алюминия, что позволило исключить влияние на результаты анализа других групп соединений, имеющих оптическую плотность в области максимума поглощения извлечений из цветков лабазника (420 нм).

При выполнении работы в экстрактах цветков определяли суммарное содержание гликозидов кверцетина в пересчете на рутин. Для листьев в одних и тех же экстрактах определяли содержание гликозидов кверцетина в пересчете на рутин (без гидролиза извлечения из сырья) и суммарное содержание свободного и связанного кверцетина (после гидролиза извлечения хлористоводородной кислотой в течение 2 часов; максимум поглощения 425 нм). За основу взяты методики, предложенные Е.Ю. Авдеевой с соавторами [3] и И.В. Шиловой с соавторами [4] для различных видов сырья лабазника вязолистного. Каждый образец анализировали в трех повторностях.

Для изучения взаимосвязи морфологических показателей и содержания флавонолов рассчитывали коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (программа STATISTICA 6.0).

Результаты и их обсуждение

Установлено, что в цветках содержание гликозидов кверцетина (в пересчете на рутин) примерно в 2–3 раза больше, чем в листьях; это соотношение колеблется от 2,2 до 3,3 для *F. ulmaria* s. str. и от 1,9 до 3,1 для *F. denudata*. Для цветков диапазон содержания флавонолов в пересчете на рутин составляет 6,06–11,83 %, а для листьев – 1,94–5,29 %. Наблюдается выраженный параллелизм в накоплении флавонолов в листьях и цветках (для обоих изученных таксонов). В тех популяциях, где содержание гликозидов кверцетина в цветках повышено, наблюдается и более высокое количество этих веществ в листьях; и наоборот, в популяциях с пониженным содержанием флавонолов в цветках содержание их в листьях также невысоко (табл. 2). Коэффициент ранговой корреляции содержания флавонолов в листьях и в цветках (в пересчете на рутин) составляет 0,82 ($p = 0,000066$).

Анализ условий обитания растений в пунктах сбора материала показал, что снижение освещенности местообитаний, по-видимому, приводит к уменьшению накопления флавонолов как в цветках, так и в листьях (табл. 2). Так, растения популяции № 6 произрастают при самой низкой освещенности по сравнению со всеми остальными природными популяциями. В этой популяции у обоих изученных таксонов содержание флавонолов самое низкое: сумма гликозидов составляет в цветках 6,4–8,0 %, в листьях – 2,37–2,61 %, содержание кверцетина в листьях – 0,67–0,70 %, что, возможно, связано именно с недостатком света. Не слишком высока освещенность и в популяции № 9, которая также характеризуется пониженным содержанием флавоноидов. В то же время растения популяции № 3, произрастающие в условиях наиболее высокой освещенности, характеризуются максимальным накоплением флавоноидов (табл. 2). О влиянии интенсивности освещения на накопление флавоноидов свидетельствуют данные ряда авторов [16–18].

С другой стороны, пониженная освещенность приводит к увеличению высоты растений, что особенно хорошо прослеживается на участках Ботанического сада (образцы 19–20 и 21), приводя при этом к падению содержания флавонолов. Высота генеративных побегов у лабазника в большой сте-

² ВФС 42-1777-87 «Лабазника вязолистного цветки».

пени подвержена влиянию эколого-ценотических факторов [19]. Как утверждает О.А. Рожанская [20], она увеличивается при переувлажнении и на плодородных почвах, а накопление флавоноидов повышено при умеренной влажности, а также дефиците азота и фосфора. В результате может возникать отрицательная взаимосвязь накопления флавонолов и высоты растений.

На отрицательную взаимосвязь содержания фенольных соединений и высоты растений указывают и другие авторы. По данным Н.В. Гетко с соавторами [10], высота растений и размеры листа у интродуцированных растений рода *Echinacea* находятся в обратной связи ($r = -0,98$) с содержанием в листьях окисленных форм полифенолов, в том числе хлорогеновых и оксикоричных кислот. Г.Г. Шайдуллина [21] отмечает высокую отрицательную корреляцию ($r = -0,64$) высоты генеративных побегов и содержания оксикоричных кислот в листьях эхинацеи пурпурной, выращенной в Башкортостане.

Нами были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции (Спирмена) между содержанием флавонолов в различных органах растений лабазника и значениями изученных морфологических параметров. Для некоторых морфологических признаков (высота растений, число стеблевых листьев, диаметр цветка) установлены достоверные корреляции их значений с содержанием БАС. В табл. 2 приведены средние значения этих признаков и содержание действующих веществ в обследованных популяциях лабазника.

Таблица 2

Некоторые морфологические показатели и содержание флавонолов в цветках и листьях лабазника

Номер ценопопуляции	Номер образца	Содержание флавонолов в листьях, %		Содержание флавонолов в соцветиях, %	Высота растений, см	Число стеблевых листьев
		в пересчете на рутин	в пересчете на кверцетин			
1	1			10,8 ± 0,04	150,5 ± 3,4	12,7 ± 0,4
2	2			11,8 ± 0,4	127,7 ± 3,0	12,1 ± 0,4
2	3	3,69 ± 0,17	1,05 ± 0,08	9,1 ± 0,1	142,0 ± 3,6	11,4 ± 0,4
3	4			7,9 ± 0,02	143,1 ± 4,1	14,3 ± 0,5
4	5	3,66 ± 0,12	1,16 ± 0,01	9,3 ± 0,1	134,6 ± 2,2	14,9 ± 0,4
5	6	2,94 ± 0,07	0,84 ± 0,02	9,6 ± 0,1	149,0 ± 3,0	14,9 ± 0,4
6	7	2,37 ± 0,07	0,67 ± 0,01	6,4 ± 0,01	145,8 ± 4,8	12,4 ± 0,7
6	8	2,61 ± 0,09	0,70 ± 0,07	8,0 ± 0,3	139,6 ± 4,7	10,9 ± 0,7
7	9	4,62 ± 0,21	1,50 ± 0,08	10,1 ± 0,2	116,0 ± 2,3	8,8 ± 0,3
7	10	5,29 ± 0,12	1,62 ± 0,06	9,9 ± 0,3	116,8 ± 9,1	8,7 ± 0,2
8	11	3,60 ± 0,10	1,16 ± 0,04	9,7 ± 0,1	141,9 ± 4,9	12,0 ± 0,5
8	12	3,83 ± 0,02	1,28 ± 0,02	9,5 ± 0,4	139,6 ± 6,2	11,1 ± 0,5
9	13	3,65 ± 0,10	1,18 ± 0,02	9,9 ± 0,2	123,5 ± 3,2	10,3 ± 0,5
9	14	3,65 ± 0,23	1,17 ± 0,03	9,5 ± 0,1	123,1 ± 4,8	9,9 ± 0,6
10	15	4,15 ± 0,14	1,35 ± 0,03	10,6 ± 0,2	155,0 ± 4,1	14,1 ± 1,0
10	16	4,25 ± 0,09	1,26 ± 0,03	10,3 ± 0,2	152,0 ± 2,9	14,4 ± 0,5
11	17	3,10 ± 0,09	0,84 ± 0,04	8,7 ± 0,1	175,8 ± 6,1	16,1 ± 0,8
11	18	2,95 ± 0,15	0,81 ± 0,01	8,7 ± 0,5	171,0 ± 3,9	16,1 ± 0,2
	19			7,8 ± 0,1	186,5 ± 6,6	19,0 ± 0,4
	20	1,94 ± 0,10	0,58 ± 0,02	6,2 ± 0,1	187,7 ± 7,7	16,2 ± 0,7
	21	2,41 ± 0,10	0,65 ± 0,02	6,1 ± 0,2	150,0 ± 2,6	13,0 ± 0,4

Для цветков не обнаружены достоверные корреляции содержания флавонолов и значений изученных морфологических признаков (табл. 3). Таким образом, для заготовки цветков в качестве растительного сырья данные морфологические параметры растений, в том числе их высота, не имеют существенного значения с точки зрения накопления основных действующих веществ. Следует иметь в виду и то, что во всех изученных популяциях, независимо от высоты составляющих их растений, содержание флавонолов в цветках весьма высоко и в несколько раз превышает предел, установленный нормативным документом (ВФС 42-1777-87).

Отсутствие отрицательной корреляции накопления флавонолов в цветках лабазника с изученными морфологическими показателями позволяет заготавливать сырье в любых популяциях, для которых установлено повышенное содержание флавонолов в цветках. Перспективной, очевидно, является заготовка сырья от растений с повышенной длиной соцветия и большим числом боковых соцветий, что дает возможность увеличить массу заготавливаемого сырья. Эти показатели, по нашим данным, хорошо коррелируют с высотой растений лабазника. Соответствующие коэффициенты корреляции составляют 0,64 и 0,63 и являются достоверными (соответственно $p = 0,0019$ и $p = 0,0023$).

Проведенный нами анализ показал, что, в отличие от цветков, существуют достоверные отрицательные корреляции содержания рутина и кверцетина в листьях лабазника с высотой растений и числом стеблевых листьев (табл. 3). Полученные нами данные подтвердили выводы ряда авторов об отрицательной связи содержания ряда биологически активных соединений (продуктов вторичного метаболизма) с мощностью развития растений. Так, по данным Г.Н. Бузука с соавторами [22], у растений брусники максимальное накопление фенольных соединений (флавоноидов, катехинов, процианидинов) наблюдается в условиях произрастания, способствующих формированию небольших по размеру (площади) листьев. О.А. Ёршик с соавторами [8] приводят данные о том, что с уменьшением размеров листьев сабельника болотного происходит увеличение содержания в них фенольных соединений.

Таблица 3

Коэффициенты ранговой корреляции содержания флавонолов в листьях лабазника с морфологическими параметрами растений

Параметры	Содержание флавонолов в цветках (в пересчете на рутин), %	Содержание флавонолов в листьях (в пересчете на рутин), %	Содержание флавонолов в листьях (в пересчете на кверцетин), %
Высота растений, см	- 0,38 ($p = 0,085$)	- 0,50, ($p = 0,043$)	- 0,57 ($p = 0,016$)
Длина вегетативной части, см	- 0,36 ($p = 0,105$)	- 0,35 ($p = 0,169$)	- 0,46 ($p = 0,063$)
Длина соцветия	- 0,25 ($p = 0,274$)	- 0,32 ($p = 0,217$)	- 0,31 ($p = 0,229$)
Ребристость стебля	- 0,20 ($p = 0,392$)	0,08 ($p = 0,768$)	0,17 ($p = 0,507$)
Число стеблевых листьев	- 0,39 ($p = 0,082$)	- 0,49 ($p = 0,047$)	- 0,57 ($p = 0,017$)
Число лопастей конечного сегмента	- 0,26 ($p = 0,261$)	- 0,24 ($p = 0,358$)	- 0,27 ($p = 0,288$)
Число основных пар боковых долей листа	- 0,08 ($p = 0,740$)	0,13 ($p = 0,608$)	0,30 ($p = 0,249$)
Число вставочных пар боковых долей	- 0,003 ($p = 0,991$)	- 0,04 ($p = 0,866$)	- 0,03 ($p = 0,900$)
Число боковых соцветий	- 0,32 ($p = 0,155$)	- 0,38 ($p = 0,137$)	- 0,41 ($p = 0,100$)
Диаметр цветка	0,36 ($p = 0,114$)	0,40 ($p = 0,107$)	0,53 ($p = 0,030$)

Примечания. 1. Значимые коэффициенты корреляции выделены жирным шрифтом. 2. В скобках приведены уровни достоверности коэффициентов корреляции.

Таким образом, у низкорослых особей лабазника с пониженным числом стеблевых листьев можно предполагать повышенное содержание флавонолов в листьях. Однако при этом следует иметь в виду, что более высокие растения, хотя и обеднены флавонолами, имеют повышенное число стеблевых листьев (розеточные листья к началу цветения часто отмирают), более длинные соцветия и повышенное количество боковых соцветий, что может обеспечивать более высокий выход фитомассы как листьев, так и соцветий (при отсутствии значительных различий между ценопопуляциями в плотности побегов на единицу площади). Коэффициенты корреляции перечисленных морфологических признаков с высотой растения составляют, по нашим данным, 0,86 ($p = 0,000001$) для числа стеблевых листьев, 0,64 ($p = 0,0019$) для длины соцветия, 0,63 ($p = 0,0023$) для количества боковых соцветий. По данным А.Л. Буданцева, К.С. Покровской [23], коэффициент корреляции высоты побега и высоты соцветия у лабазника в Ленинградской и Псковской областях варьирует в разных популяциях от 0,53 до 0,74, что соответствует нашим данным. На выраженную взаимосвязь высоты генеративных побегов лабазника с массой соцветий и числом боковых ветвей соцветия указывает М.Е. Пименова [24]; коэффициенты

корреляции сырьевой фитомассы (массы соцветий) и высоты модельных генеративных побегов варьировали в разных популяциях Ярославской и Тверской областей от 0,5 до 0,97.

Вероятно, в популяциях низкорослых растений заготовку травы и листьев лабазника целесообразно проводить лишь при высокой плотности побегов на единицу площади, что обеспечивает достаточно высокую продукцию фитомассы и повышенное содержание флавонолов в листьях и траве. В остальных случаях более целесообразной представляется заготовка сырья (цветков, травы, листьев) в высокорослых ценопопуляциях (по классификации М.Е. Пименовой [24]). Следует учитывать и то, что содержание флавонолов в цветках примерно вдвое больше, чем в листьях (соответственно 6,1–11,8 % и 1,94–5,29 % (табл. 2)), и при этом не связано с высотой растений. Таким образом, заготовка цветков и травы лабазника, очевидно, наиболее перспективна в условиях синэкологического оптимума, когда достигается наибольшая продукция сырьевой фитомассы.

Установлена также достоверная положительная корреляция диаметра цветка и содержания флавонолов в листьях лабазника в пересчете на кверцетин. Но данный морфологический признак вряд ли можно использовать как маркерный, поскольку он достоверно отрицательно взаимосвязан с высотой растений ($r = -0,64$; $p = 0,002$), количеством стеблевых листьев ($r = -0,73$; $p = 0,0002$) и числом боковых соцветий ($r = -0,85$; $p < 10^{-6}$). Таким образом, ориентация на этот показатель, очевидно, приведет к заготовке сырья в ценопопуляциях с пониженной сырьевой фитомассой.

Заключение

Анализ взаимосвязи накопления флавонолов с морфологическими показателями растений лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. s.l.) показал отсутствие достоверных корреляций такого рода для соцветий лабазника, что дает возможность при заготовках ориентироваться на популяции с повышенной фитомассой соцветий и позволит увеличить выход сырья.

Для листьев установлено наличие достоверных отрицательных корреляций содержания флавонолов с высотой растений и с количеством стеблевых листьев, а также диаметром цветка, что, вероятно, связано с разнонаправленным влиянием на эти показатели освещенности местообитаний, а также и других экологических факторов. Высота растений и количество стеблевых листьев косвенно связаны с фитомассой лекарственного сырья. Но заготовка листьев с низкорослых растений, содержащих повышенное количество флавонолов в листьях, вероятно, может быть перспективной только в популяциях с высокой плотностью побегов на единицу площади, где фитомасса сырья достаточно высока. Отмеченная рядом исследователей отрицательная взаимосвязь накопления БАС и продуктивности лекарственных растений [7; 9] приводит к невозможности предварительной оценки перспективности конкретных ценопопуляций по морфологическим признакам-маркерам, коррелятивно и разнонаправленно связанным с содержанием действующих веществ и с фитомассой сырья. Необходимо, отмечают О.В. Созинов с соавторами [9], выделение «ресурсно-фитохимического оптимума заготовки» на градиенте экологических условий.

При заготовке травы лабазника, предложенной в настоящее время в качестве перспективного лекарственного сырья, по-видимому, следует ориентироваться на популяции с повышенной фитомассой особей, особенно с учетом того факта, что содержание флавонолов в соцветиях (официальном сырье) в 1,9–3,3 раза превышает таковое в листьях. Очевидно, заготовку соцветий и травы лабазника следует проводить в условиях синэкологического оптимума, где сырьевая продуктивность является максимальной.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Комплексной программы Уральского отделения РАН, проект № 15-12-4-35 «Анатомо-морфологическая и биохимическая изменчивость лекарственных растений Урала на организменном и популяционно-видовом уровнях как основа их эффективного использования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас лекарственных растений России / под ред. В.А. Быкова. М.: ВИЛАР, 2006. 352 с.
2. Авдеева Е.Ю., Краснов Е.А. Биологическая активность *Filipendula ulmaria* (Rosaceae) // Растит. ресурсы. 2010. Вып. 3. С. 123-130.

3. Авдеева Е.Ю., Краснов Е.А., Шилова Е.В. Динамика содержания флавоноидов и фенолокислот в надземной части *Filipendula ulmaria* (*Rosaceae*) // Растит. ресурсы. 2009. Вып. 1. С. 107-112.
4. Шилова И.В., Самылина И.А., Суслов Н.И. Стандартизация травы лабазника вязолистного // Фармация. 2012. № 2. С. 19-22.
5. Моисеев Д.В. Разработка и валидация методики определения флавоноидов в соцветиях лабазника вязолистного методом жидкостной хроматографии // Вестн. фармации. 2011. № 4 (54). С. 36-42.
6. Высочина Г.И., Кукушкина Т.А., Васфилова Е.С. Биологически активные вещества растений рода *Filipendula* Mill. на Среднем Урале // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер. Биология, клиническая медицина. 2013. Т. 11, № 3. С. 50-55.
7. Бузук Г.Н., Ловкова М.Я., Соколова С.М. Универсальный характер М-образной зависимости между основным и специализированным обменом у лекарственных растений // Вестн. фармации. 2006. № 1 (31). С. 23-33.
8. Ёршик О.А., Бузук Г.Н., Созинов О.В. Морфометрия сабельника болотного: взаимосвязь размеров, формы и химического состава листьев // Вестн. фармации. 2009. № 1 (43). С. 13-33.
9. Созинов О.В., Кузьмичева Н.А., Бузук Г.Н. Ресурсно-фитохимический оптимум заготовки лекарственного растительного сырья // Современная ботаника в России: тр. XIII съезда Русского ботан. общ-ва и конф. «Научные основы охраны и рационального использования растительного покрова Волжского бассейна». Т. 3. Тольятти: Кассандра, 2013. С. 89-90.
10. Гетко Н.В., Кабушева И.Н., Кручонок А.В. Эхинацея: интродукционное изучение, селекция и культивирование в Беларуси. Минск: Белорус. наука, 2006. 164 с.
11. Баймухаметова А.В. Влияние оксикоричных кислот на некоторые морфологические показатели эхинацеи пурпурной // Тез. VII молодежной конф. ботаников в Санкт-Петербурге. СПб., 2000. С. 215-216.
12. Сергиевская Е.В. Подрод *Ulmaria* Moench рода *Filipendula* Adans. на территории СССР и распространение его видов // Ареалы растений флоры СССР. Л.: Изд-во ЛГУ, 1965. С. 179-190.
13. Камелин Р.В. Род 3. Лабазник, Таволга – *Filipendula* Mill. // Флора Восточной Европы: в 11 т. / под ред. Н.Н. Цвелева. СПб.: Мир и семья; Изд-во СПХФА, 2001. Т. 10. С.314-317.
14. Шанцер И.А. О географической изменчивости и эволюции *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. и близких видов // Бюл. МОИП. Отд. Биол. 1989. Т. 94. Вып. 6. С. 59-69.
15. Сушенцов О.Е., Васфилова Е.С. Изучение внутри- и межпопуляционной изменчивости и взаимосвязи таксонов *Filipendula ulmaria* s.l. на Среднем Урале и в Южном Зауралье // Бот. журн. 2015. Т. 100, № 7. С. 710-720.
16. Минаева В.Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978. 256 с.
17. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М.: Наука, 1993. 272 с.
18. Киселева А.В., Волхонская Т.А., Киселев В.Е. Биологически активные вещества лекарственных растений Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1991. 136 с.
19. Созинов О.В., Кузьмичева Н.А., Дюбайло О.А. Популяционная изменчивость *Filipendula ulmaria* (*Rosaceae*) на Лидской равнине (Беларусь) // Растит. ресурсы. 2004. Вып. 4. С. 29-40.
20. Рожанская О.А. Экологические и биологические свойства лабазника вязолистного *Filipendula ulmaria*: дис. ... канд. биол. наук. М., 1984. 215 с.
21. Шайдуллина Г.Г. Экологическая физиология *Echinacea purpurea* (L.) Moench при интродукции в Республике Башкортостан: дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2000. 160 с.
22. Бузук Г.Н., Кузьмичева Н.А., Руденко А.В. Морфометрия лекарственных растений. 2. *Vaccinium myrtillus* L.: взаимосвязь морфологических признаков и химического состава // Вестн. фармации. 2007. № 1 (35). С. 26-36.
23. Буданцев А.Л., Покровская К.С. Оценка сырьевой продуктивности *Filipendula ulmaria* (*Rosaceae*) в Ленинградской и Псковской областях и возможность ее эмпирического прогноза // Растит. ресурсы. 2005. Вып. 2. С. 85-96.
24. Пименова М.Е. Мониторинг сырьевой продуктивности *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. в Ярославской и Тверской областях: межпопуляционная и флюктуационная изменчивость и прогнозная оценка // Растит. ресурсы. 2001. Вып. 4. С. 1-18.

Поступила в редакцию 10.12.15

E.S. Vasfilova, O.E. Sushentsov

RELATIONSHIP OF MORPHOLOGICAL PARAMETERS AND CONTENT OF FLAVONOLS IN DIFFERENT PLANT ORGANS OF MEADOWSWEET (*FILIPENDULA ULMARIA* (L.) MAXIM. S.L.)

The interrelation of morphological parameters and flavonols content in leaves and inflorescences of meadowsweet (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. s.l.) in natural coenopopulations in the Middle Urals (10 coenopopulations) and Volga region (1 cenopopulation), as well as in conditions of culture in the botanical garden of Ural Branch of the Russian Academy of

Sciences was studied. The absence of significant correlations for inflorescences of meadowsweet was shown, which allows to orient on coenopopulations with high phytomass of inflorescences at harvesting of raw materials.

For the leaves there was established the presence of statistically significant negative correlation of the content of flavonols with plant height, the number of stem leaves and flower diameter. It is probably due to the multi-directional impact on these indicators of illumination intensity of habitats, and other environmental factors. Plant height and number of stem leaves are indirectly related to the biomass of medicinal raw materials. But harvesting of leaves from low-growing plants containing an increased amount of flavonols in the leaves, is perspective only in populations with high density of shoots per unit area, where the total phytomass of raw materials is high enough. The observed by several researchers negative correlation of accumulation of biologically active compounds and productivity of medicinal plants leads to the impossibility of a preliminary assessment of the prospectivity of specific coenopopulations with the help of morphological characters-markers which are correlatively connected both with the content of active substances (negatively) and a phytomass of raw materials (positively).

When harvesting meadowsweet, which is currently proposed as a prospective medicinal raw material, one should, apparently, be oriented on coenopopulations with high phytomass of the plants, especially considering the fact that the content of flavonols in the inflorescences exceeds their content in the leaves by 1,9-3,3 times.

Keywords: meadowsweet, *Filipendula ulmaria*, *Filipendula denudata*, flavonols content, morphological parameters.

REFERENCE

1. *Atlas lekarstvennyh rastenij Rossii* [Atlas of medicinal plants Russia], V.A. Bykova (ed.), M.: VILAR, 2006, 352 p. (in Russ.).
2. Avdeeva E.Ju. and Krasnov E.A. Biologicheskaja aktivnostj *Filipendula ulmaria* (Rosaceae) [Biological activity *Filipendula ulmaria* (Rosaceae)], *Rastit. resursy*, 2010, no. 3, pp. 123-130 (in Russ.).
3. Avdeeva E.Ju., Krasnov E.A., and Shilova E.V. [The dynamics of the content of flavonoids and phenolic acids in the aerial part of *Filipendula ulmaria* (Rosaceae)], *Rastit. resursy*, 2009, no. 1, pp. 107-112 (in Russ.).
4. Shilova I.V., Samylina I.A., and Suslov N.I. [Standardization herb meadowsweet], *Farmacija*, 2012, no. 2, pp. 19-22 (in Russ.).
5. Moiseev D.V. [Development and validation of methods for determining flavonoids in the inflorescence *Filipendulae* vyazolist-tion by liquid chromatography], *Vestnik farmacii*, 2011, no. 4 (54), pp. 36-42 (in Russ.).
6. Vysochina G.I., Kukushkina T.A., and Vasfilova E.S. [Biologically active substances plants of the genus *Filipendula* Mill. in the Middle Urals], *Vestn. Novosib. Gos. Univer. Ser. Biologija, klinicheskaja medicina*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 50-55 (in Russ.).
7. Buzuk G.N., Lovkova M.Ja., and Sokolova S.M. [The universal nature of the M-shaped relationship between the bases-nym and specialized exchange in medicinal plants], *Vestn. farmacii*, 2006, no. 1 (31), pp. 23-33 (in Russ.).
8. Jorshik O.A., Buzuk G.N., and Sozinov O.V. [Marsh cinquefoil morphometry: relationship of size, shape and chemical composition of the leaves], *Vestn. farmacii*, 2009, no. 1 (43), pp. 13-33 (in Russ.).
9. Sozinov O.V., Kuz'micheva N.A., and Buzuk G.N. [Resource and phytochemical optimum harvesting medicinal plants], *Sovremennaja botanika v Rossii in Tr. XIII s'ezda Russkogo botanicheskogo obsch-va i konf. "Nauchnye osnovy ohrany i racional'nogo ispol'zovanija rastitel'nogo pokrova Volzhskogo bassejna"*, vol. 3, Tol'jatti: Cassandra, 2013, pp. 89-90 (in Russ.).
10. Getko N.V., Kabusheva I.N., and Kruchonok A.V. *Ehinaceja: introdukcionnoe izuchenie, selekcija i kul'tivirovanie v Belarusi* [Echinacea: introduction study, selection and cultivation in Belarus], Minsk: Belarus. nauka, 2006, 164 p. (in Russ.).
11. Bajmuhametova A.V. [Influence of hydroxycinnamic acids on some morphological parameters of *Echinacea purpurea*], in *Tez. VII molodezhnoj konf. botanikov v Sankt-Peterburge*, SPb., 2000, pp. 215-216 (in Russ.).
12. Sergievskaja E.V. [The subgenus *Ulmaria* Moench genus *Filipendula* Adans. in the Soviet Union and the spread of its species], *Arealy rastenij flory SSSR, L.: Izd. LGU*, 1965, pp. 179-190 (in Russ.).
13. Kamelin R.V., *Rod 3. Labaznik, Tavołga - Filipendula Mill.* [3. Rod meadowsweet, Meadowsweet - *Filipendula* Mill.], *Flora Vostochnoj Evropy*, 11 vol., N.N. Cveleva (ed.), SPb.: Mir i sem'ja; Izd-vo SPHFA, 2001, vol. 10, pp. 314-317 (in Russ.).
14. Shancer I.A. [About geographical variability and evolution of *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. and similar forms], *Bjul. MOIP. Otd. Biol.*, 1989, vol. 94, no. 6, pp. 59-69 (in Russ.).
15. Shuncov O.E. and Vasfilova E.S. [Study of intra- and inter-population variability and the relationship taxi newly *Filipendula ulmaria* s.l. in the Middle Urals and Southern Trans-Urals], *Bot. zhurn.*, 2015, vol. 100, no. 7, pp. 710-720 (in Russ.).
16. Minaeva V.G. *Flavonoidy v ontogeneze rastenij i ih prakticheskoe ispol'zovanie* [Flavonoids in the ontogeny of plants and their practical use], Novosibirsk: Nauka, Sib. otd., 1978, 256 p. (in Russ.).
17. Zaprometov M.N. *Fenol'nye soedinenija: Rasprostranenie, metabolism i funkcii v rastenijah* [Phenolic compounds: Distribution, metabolism and function in plants], M.: Nauka, 1993, 272 p. (in Russ.).

18. Kiseleva A.V., Volhonskaja T.A., and Kiselev V.E. *Biologicheski aktivnye veschestva lekarstvennyh rastenij Juzhnoj Sibiri* [Biologically active substances of medicinal plants in Southern Siberia], Novosibirsk: Nauka, 1991, 136 p. (in Russ.).
19. Sozinov O.V., Kuz'micheva N.A., and Djubajlo O.A. [Population variability of *Filipendula ulmaria* (Rosaceae) in the plains Lida (Belarus)], *Rastit. resursy*, 2004, no. 4, pp. 29-40 (in Russ.).
20. Rozhanskaja O.A. [Environmental and biological properties of meadowsweet *Filipendula ulmaria*], Cand. Biol. sci. diss., M., 1984, 215 p. (in Russ.).
21. Shajdullina G.G. [Environmental Physiology of *Echinacea purpurea* (L.) Moench at introduction into the Republic of Bashkortostan], Cand. Biol. sci. diss., Ufa, 2000, 160 p. (in Russ.).
22. Buzuk G.N., Kuz'micheva N.A., and Rudenko A.V. [Morphometry herbs. 2. *Vaccinium myrtillus* L. : the relationship of morphological traits and chemical composition], *Vestn. farmacii*, 2007, no. 1 (35), pp. 26-36 (in Russ.).
23. Budancev A.L. and Pokrovskaja K.S. [Assessment of raw material productivity *Filipendula ulmaria* (Rosaceae) in the Lenin-grad and Pskov regions and the possibility of empirical prediction], *Rastit. resursy*, 2005, no. 2, pp. 85-96 (in Russ.).
24. Pimenova M.E. [Monitoring of raw material productivity *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. in the Yaroslavl and Tver regions: interpopulation fluctuation and variability and predictive estimate], *Rastit. resursy*, 2001, no. 4, pp. 1-18 (in Russ.).

Васфилова Евгения Самуиловна,
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
E-mail: euvas@mail.ru

Сушенцов Олег Евгеньевич,
кандидат биологических наук, научный сотрудник
E-mail: oleg.sushentsov@yandex.ru

Ботанический сад Уральского отделения РАН
620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а

Vasfilova E.S.,
Candidate of Biology, Senior researcher
E-mail: euvas@mail.ru

Sushentsov O.E.,
Candidate of Biology, Research associate
E-mail: oleg.sushentsov@yandex.ru

Russian Academy of Sciences, Ural Branch,
Institute Botanic Garden
8th Marta st., 202a, Yekaterinburg, Russia, 620144