

Оригинальная статья / Original article

УДК: 577.13, 615.322

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-4-13



Оценка изменчивости содержания фенольных соединений в надземных органах природных образцов *Silybum marianum* (L.) Gaertn L.

Фазина А. Вагабова¹, Маина М. Мамалиева¹, Гаджи К. Раджабов¹,
Асият Н. Алибегова¹, Зарема И. Солтанмурадова²

¹Горный ботанический сад дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Фазина А. Вагабова, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория фитохимии и медицинской ботаники, Горный ботанический сад ДФИЦ РАН; 365000 Россия, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75.
Тел. +79288334151

Email fazina@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3315-3874>

Формат цитирования

Вагабова Ф.А., Мамалиева М.М., Раджабов Г.К., Алибегова А.Н., Солтанмурадова З.И. Оценка изменчивости содержания фенольных соединений в надземных органах природных образцов *Silybum marianum* (L.) Gaertn L. // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 4. С. 154-163. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-4-13

Получена 22 июля 2024 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2024 г.

Принята 15 октября 2024 г.

Резюме

Целью работы является исследование содержания суммы флавоноидов и антоцианов в надземных органах *Silybum marianum* (L.) Gaertn L., произрастающей в природных условиях, и оценка их накопления в зависимости от условий места произрастания (высота над уровнем моря) в условиях Дагестана (Россия).

В фазу цветения 2013 году собрана надземная часть растения в природных популяциях. Использование общепринятой дифференциальной спектрометрической методики показало, что суммарное содержание флавоноидов и антоцианов во всех органах независимо от места сбора составляет 0,22–3,07% в пересчете на рутин, и 0,03–0,26% в пересчете на 3-глюкозид цианидина, соответственно. Во всех частях растений отмечено содержание фенольных соединений: максимальное содержание их – в листьях и соцветиях, минимальное – в стеблях. Зависимость суммарного содержания флавоноидов и антоцианов от высотного фактора носит разновекторный характер, в большинстве случаев связь несущественная.

Поскольку впервые изучалось суммарное содержание флавоноидов и антоцианов во всех органах надземной части природных образцов расторопши пятнистой, то полученные результаты будут интересны в аспекте комплексного использования сырья. Результаты оценки изменчивости содержания фенольных соединений в образцах в зависимости от комплекса факторов высотного градиента в природных условиях Дагестана дают информацию для выяснения механизмов накопления вторичных метаболитов.

Ключевые слова

Silybum marianum (L.) Gaertn L., флавоноиды, антоцианы, корреляция, природные образцы, высотный градиент.

Assessment of variability in the content of phenolic compounds in above-ground organs of natural samples of *Silybum marianum* (L.) Gaertn L.

Fazina A. Vagabova¹, Maina M. Mamaliev¹, Gadzhi K. Radzhabov¹,
Asiyat N. Alibegova¹ and Zarema I. Soltanmuradova²

¹Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Fazina F. Vagabova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Phytochemistry and Medical Botany, Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 75 Yaragsky St, Makhachkala, Russia, 365000.
Tel. +79288334151
Email fazina@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3315-3874>

How to cite this article

Vagabova F.A., Mamaliev M.M., Radzhabov G.K., Alibegova A.N., Soltanmuradova Z.I. Assessment of variability in the content of phenolic compounds in above-ground organs of natural samples of *Silybum marianum* (L.) Gaertn L. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(4):154-163. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-4-13

Received 22 July 2024

Revised 14 September 2024

Accepted 15 October 2024

Abstract

The aim of the work is to study the content of flavonoids and anthocyanins in the above-ground organs of *Silybum marianum* (L.) Gaertn L., growing in natural conditions, and to assess their accumulation as this depends on the conditions of the place of growth (altitude above sea level) in Dagestan (Russia). In the flowering phase of 2013, the above-ground part of the plant was collected from natural populations and using the generally accepted differential spectrometric technique. This showed that the total content of flavonoids and anthocyanins in all organs, regardless of the place of collection, is 0.22% – 3.07% in terms of rutin, and 0.03% – 0.26% in terms of 3-glucoside of cyanidin, respectively. Phenolic compounds were noted in all parts of the plants: their maximum content being in the leaves and inflorescences, while the minimum is in the stems. The dependence of the total content of flavonoids and anthocyanins on the altitude factor is multi-vectorial; in most cases the connection is insignificant. Since the total content of flavonoids and anthocyanins in all organs of the above-ground part of natural samples of milk thistle was studied for the first time, the results obtained will be interesting in terms of the complex use of raw materials. The results of assessment of the variability of the content of phenolic compounds in samples depending on the complex of factors of the altitude gradient in the natural conditions of Dagestan provide information for clarifying the mechanisms of accumulation of secondary metabolites.

Key Words

Silybum marianum (L.) Gaertn L., flavonoids, anthocyanins, correlation, natural samples, altitudinal gradient.

ВВЕДЕНИЕ

Расторопша пятнистая (*Silybum marianum* (L.) Gaertn. L.), род *Silybum* Adans., сем. *Asteracea*) является одним из самых распространенных лекарственных растений в мире, которое произрастает вдоль дорог, на сухих и сорных местах [1–3]. Как лекарственное средство издавна используется в традиционной медицине при заболеваниях печени, при воспалениях верхних дыхательных путей и легких и других заболеваниях [4]. Наиболее изученными компонентами являются флаволигнаны, содержащиеся в плодах растения и которые определяют гепатопротекторную активность расторопши пятнистой [2; 3; 5–10].

В плодах расторопши пятнистой содержатся флавоноиды, органические кислоты, горечи, смолы, жирное масло, макро- и микроэлементы, зола, эфирное масло, белки, незаменимые аминокислоты, фосфолипиды и другие вещества [1–4; 8; 10–13]. В настоящее время ведутся работы по поиску образцов расторопши пятнистой с высоким содержанием флаволигнанов, а также изучение влияния экологических факторов места культивирования сортовых форм расторопши и агротехники возделывания на накопление флаволигнанов в их плодах [14–16]. Кроме того, интересны данные, касающиеся накопления флавоноидов, антоцианов, антиоксидантов, флаволигнанов в траве, листьях, плодах дикорастущих образцов расторопши пятнистой [1; 3; 5; 9]. Как показывает анализ литературы, исследование *S. marianum* в основном касаются изучения химического состава ее плодов, в частности флаволигнанов, имеющих, несомненно, важное значение. Но, немаловажную роль, как продукта комплексной переработки плодов, играет жирное масло, фенольные соединения, проявляющее широкий спектр фармакологических свойств [17]. На сегодня очень важным является комплексное изучение всей надземной части данного вида [7; 17]. Сведений о химическом составе надземной части расторопши пятнистой, как культивируемой, так и дикорастущей, весьма малочисленны [1; 3; 5; 18]. Из травы расторопши пятнистой впервые выделены и идентифицированы шесть индивидуальных соединений флавоноидной и фенилпропаноидной природы (апигенин, *p*-кумаровая кислота, 5-*p*-кумароилхинная кислота, кофейная кислота, хлорогеновая кислота) [2]. В листьях *S. marianum* содержатся гидроксикоричные кислоты, стерины, флавоноиды: апигенин, лютеолин, кемпферол и их гликозиды; β -ситостерол и его гликозиды, при этом силимарин не был обнаружен [1; 19]. Авторы [1] отмечают связь между накоплением суммы флавоноидов в листьях и окраской кожуры плода расторопши пятнистой, а именно: чем темнее окраска, тем выше накопление флавоноидов в фазе цветения. Кроме того, при раннем цветении *S. marianum* и при продолжительной фазе цветения происходит максимальное накопление флавоноидов в листьях и флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой.

Накопление фенольных соединений, к которым относятся флавоноиды и антоцианы, в растениях зависит от ряда факторов: части растения, фенофазы, времени сбора и других биотических и абиотических условий [20; 21]. Имеют важное адаптивное значение, являются продуктами вторичного метаболизма высших растений и входят в состав антиоксидантной системы растений, выполняя функции мембраностабилизаторов, защиты от УФ – излучения, стрессовых факторов, от

микроорганизмов и отвечая за пигментацию органов растений [21–27]. Фенольные соединения, особенно полифенолы, проявляют противоаллергические, противоопухолевые, антигипертензивные, антимикробные, антибактериальные, антиоксидантные свойства и для организма человека [28]. Поскольку Дагестан известен сложным рельефом, то можно ожидать высокую изменчивость в накоплении фенольных соединений в лекарственных растениях, произрастающих на его территории.

Как видно из анализа научной литературы, исследований надземной части (травы), различных органов *S. marianum* очень мало, а тем более, дикорастущих образцов данного вида. Исследования, прежде всего, касаются изучения химического состава плодов, а именно, флаволигнанов и жирного масла, хотя изученность жирнокислотного состава жирного масла далека до завершения. Что касается исследований по изучению накопления суммы флавоноидов в плодах и листьях *S. marianum* носят обрывочный характер, а данных по содержанию флавоноидов и антоцианов в органах надземной части растения отсутствуют.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расторопша пятнистая растет на сухих склонах, полях, до нижнего горного пояса, сплошной полосой от севера к югу Дагестана (Россия) [29].

Поскольку трава *S. marianum* из литературных данных считается перспективным видом лекарственного растительного сырья, цель наших исследований стало изучение содержания суммы некоторых фенольных соединений в надземной части расторопши пятнистой, собранной в различных природных географических пунктах, чтобы выявить влияние абиотических факторов среды произрастания на накопление и изменчивость суммарного содержания изучаемых компонентов. Для реализации поставленной цели необходимо было собрать образцы дикорастущей *S. marianum* во время цветения, подготовить сырье к анализу согласно стандартным спектрометрическим методам.

Материал для исследования был собран в разных географических точках Дагестана (Россия) в фазу цветения 2013 года. Подготовка собранного сырья к анализу, получение 70 % водно-спиртовых экстрактов изучаемых образцов данного вида и дальнейшее определение суммарного содержания флавоноидов и антоцианов проводили по общепринятым стандартным методикам [30].

Содержание суммы флавоноидов и антоцианов определяли спектрофотометрическим методом (СФ-56) с использованием реакции образования комплексов соединений с хлоридом алюминия (стандартный раствор – рутин) и с хлоридом кобальта (стандартный раствор – 3-глюкозид цианидин) [31].

Для статистической обработки полученных результатов была использована лицензионная система обработки данных Statistica V.5.5. и пакет программ «MS Excel».

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа представлены в таблицах. В таблице 1 даются данные, характеризующие место и время сбора растения, и суммарное содержание фенольных соединений в разных органах расторопши пятнистой.

Таблица 1. Содержание флавоноидов и антоцианов в дагестанских природных образцах *S. marianum* (L.) Gaertn, фаза цветения, 2013 г.**Table 1.** Content of flavonoids and anthocyanins in natural samples of *S. marianum* (L.) Gaertn in Dagestan, flowering phase, 2013

Место сбора Gathering place	Высота над ур. моря, м Altitude above sea level, m	Часть растения Part of a plant	Содержание флавоноидов, % Flavonoid content, %	Содержание антоцианов, % Anthocyanin content, %
Окрестности поселка Красноармейск (Махачкала), 15.05.13. Vicinity of the village of Krasnoarmeisk (Makhachkala), 15.05.13	15	Соцветия Inflorescences	1,68±0,01	0,10±0,00
//-//	15	Листья Leaves	1,79±0,01	0,22±0,00
//-//	15	Стебли Stems	0,26±0,01	0,03±0,00
//-///	15	Трава Grass	0,85±0,01	0,08±0,00
Окрестности села. Уллубий, Буйнакский район, 19.06.13 Vicinity of the village of Ullubiy, 19.06.13.	34	Соцветия Inflorescences	1,21 ±0,01	0,12±0,00
///-//	34	Листья Leaves	2,34±0,01	0,14±0,00
///-//	34	Стебли Stems	0,22±0,01	0,03±0,00
///-//	34	Трава Grass	1,16±0,01	0,06±0,00
Окрестности села Зидьян, Дебентский район, 16.05.13 Vicinity of the village of Zidiyan, 16.05.13	35	Соцветия Inflorescences	1,29±0,01	0,08±0,00
//-//	35	Листья Leaves	2,84±0,01	0,14±0,00
//-//	35	Стебли Stems	0,40±0,01	0,03±0,00
//-//	35	Трава Grass	1,49±0,01	0,11±0,00
Окрестности поселка Талги, Ленинский район, г. Махачкала, 22.05.13 Vicinity of the village of Talgi ((Makhachkala), 22.05.13	150	Листья Leaves	1,98±0,01	0,16±0,00
//-//	150	Трава Grass	1,11±0,01	0,10±0,00
Окрестности села Гиляр, Магарамкентский район, 16.05.13 Vicinity of the village of Giliyar, 16.05.13	153	Соцветия Inflorescences	1,37±0,01	0,11±0,00
//-//	153	Листья Leaves	2,46±0,01	0,17±0,00
//-//	153	Стебли Stems	0,31±0,01	0,04±0,00
//-//	153	Трава Grass	1,55±0,01	0,12±0,00
Окрестности села Эминхюр, Сүлейман Стальский район, 16.05.13 Vicinity of the village of Eminhyur, 16.05.13	212	Соцветия Inflorescences	1,52±0,01	0,18±0,00

//-//	212	Листья Leaves	3,07±0,01	0,12±0,00
//-//	212	Стебли Stems	0,52±0,01	0,05±0,00
//-//	212	Трава Grass	1,34±0,01	0,11±0,00
Окрестности села Новый поселок, Сулейман Стальский район, 16.05.13 Vicinity of the New village, 16.05.13	434	Соцветия Inflorescences	2,43±0,01	0,12±0,00
//-//	434	Листья Leaves	1,77±0,01	0,26±0,00
//-//	434	Стебли Stems	0,24±0,01	0,07±0,00
//-//	434	Трава Grass	0,75±0,01	0,11±0,00
Окрестности села Джепель, Магарамкентский район, 16.05.13 Vicinity of the village of Dzhepel, 16.05.13	540	Соцветия Inflorescences	0,84±0,01	0,07±0,00
//-//	540	Листья Leaves	0,97±0,01	0,25±0,00
//-//	540	Стебли Stems	0,22±0,01	0,06±0,00
//-//	540	Трава Grass	0,79±0,01	0,13±0,00

Для оценки зависимости накопления суммарного содержания изучаемых фенольных соединений от высоты места сбора сырья и корреляционной

зависимости этих показателей от высотного фактора приведены таблицы 2,3. Все приведенные табличные результаты значимы на достоверном уровне $p \leq 0,05$.

Таблица 2. Однофакторный дисперсионный анализ по высотному градиенту *S. marianum* (L.) Gaertn.

(Отмеченные эффекты значимы на уров. $p \leq 0,05$)

Table 2. One-way analysis of variance along the altitudinal gradient of *S. marianum* (L.) Gaertn.

(The noted effects are significant at the $p \leq 0.05$ level)

Показатель Indicator	F	h ² (%)	r ²
1	4420,48	99,9	-
2	324,51	99,3	-
3	17700,44	100	-
4	1099,14	99,8	0,64
5	11351,58	100	-
6	321,67	99,3	-
7	1520,19	99,8	0,55
8	89,06		0,70

Примечание: 1 – содержание флавоноидов в соцветиях, %; 2 – содержание антоцианов в соцветиях, %;

3 – содержание флавоноидов в листьях, %; 4 – содержание антоцианов в листьях, %;

5 – содержание флавоноидов в стеблях, %; 6 – содержание антоцианов в стеблях, %;

7 – содержание флавоноидов в траве, %; 8 – содержание антоцианов в траве, %; F – критерий Фишера;

h², % – сила влияния фактора; r² – коэффициент детерминации между высотным уровнем и изучаемым признаком

Note: 1 – flavonoid content in inflorescences, %; 2 – anthocyanin content in inflorescences, %; 3 – flavonoid content in leaves, %;

4 – anthocyanin content in leaves, %; 5 – flavonoid content in stems, %; 6 – anthocyanin content in stems, %;

7 – flavonoid content in grass, %; 8 – anthocyanin content in grass, %; F – Fisher's criterion;

h², % – strength of influence of the factor; r² – determination coefficient between the altitude level and the studied trait

С помощью дискриминантного анализа показателей суммарного содержания фенольных соединений в различных частях растений *S. marianum*, собранных с разных пунктов Дагестана, была проведена оценка степени обособленности изучаемых популяций. Рисунок 1 показывает распределение образцов (популяций) в пространстве двух факторов абиотической среды.

Таким образом, с помощью дискриминантного анализа удалось объяснить изменчивость содержания фенольных соединений в различных органах образцов *S. marianum*, которые под влиянием абиотических факторов среды произрастания полностью разделены в самостоятельные популяции. За исключением популяции уллубийской (h=34 м над уровнем моря) и джепельской (h=540 м над уровнем моря), остальные расположены близко друг к другу по первому корню

вдоль возрастания высоты над уровнем моря. Уллубийская популяция также расположена вдоль первого корня, хотя и отстоит довольно далеко от всех

изучаемых популяций. Исключение составляет джелельская популяция, которая расположилась вдоль второго корня.

Таблица 3. Корреляционный анализ накопления содержания флавоноидов и антоцианов в органах природных образцов *S. marianum* (L.) Gaertn, фаза цветения, 2013 год вдоль высотного градиента (значимость корреляций на уровне $p \leq 0,05$ N=21)

Table 3. Correlation analysis of accumulation of flavonoid and anthocyanin content in organs of natural samples of *S. marianum* (L.) Gaertn, flowering phase, 2013 along the altitudinal gradient (significance of correlations at the level of $p \leq 0.05$ N=21)

Показатель Indicator	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00	-	-	-	-	-	-	-
2		1,00	-	-	-	-	-	-
3			1,00	-	-0,62	-0,81	0,56	-
4				1,00	-0,83	-0,51	-0,61	0,65
5					1,00	0,88	-	-0,77
6						1,00	-	-0,54
7							1,00	-

Примечание: 1 – содержание флавоноидов в соцветиях, %; 2 – содержание антоцианов в соцветиях, %;

3 – содержание флавоноидов в листьях, %; 4 – содержание антоцианов в листьях, %;

5 – содержание флавоноидов в стеблях, %; 6 – содержание антоцианов в стеблях, %;

7 – содержание флавоноидов в траве, %; 8 – содержание антоцианов в траве, %

Note: 1 – flavonoid content in inflorescences, %; 2 – anthocyanin content in inflorescences, %;

3 – flavonoid content in leaves, %; 4 – anthocyanin content in leaves, %; 5 – flavonoid content in stems, %;

6 – anthocyanin content in stems, %; 7 – flavonoid content in grass, %; 8 – anthocyanin content in grass, %

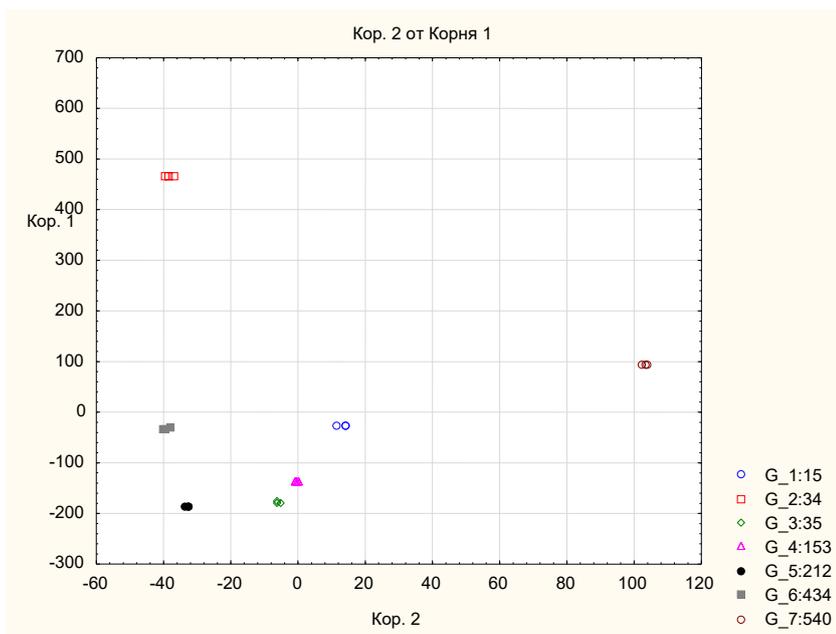


Рисунок 1. Группировка природных популяций *S. marianum* (L.) Gaertn. в пространстве первых двух канонических корней (дискриминантный анализ)

Figure 1. Grouping of natural populations of *S. marianum* (L.) Gaertn. in the space of the first two canonical roots (discriminant analysis)

Как видно, в результате исследования различных органов расторопши пятнистой нами выявлено, что во всех изучаемых природных образцах, независимо от различных факторов (фенотип, место сбора, анализируемая часть растения) среднее суммарное содержание флавоноидов колеблется от 0,22 % до 3,07 % в пересчете на рутин, а среднее суммарное содержание антоцианов от 0,03 % до 0,26 % в пересчете на 3-глюкозид цианидина. Наибольшее накопление флавоноидов и антоцианов происходит в листьях, соцветиях, а наименьшее в стеблях. Так, в листьях

независимо от места сбора сырья содержание флавоноидов наблюдается в пределах 0,97 % – 3,07 %; в соцветиях – в пределах 0,84 % – 2,43 %; в траве – от 0,79 % до 1,55 %; в стеблях – от 0,22 % до 0,40 %. Что касается накопления антоцианов, то содержание их в листьях варьирует в пределах 0,12 % – 0,26 %; в соцветиях – в пределах 0,07 % – 0,18 %; в траве – в пределах 0,06 % – 0,13 %; в стеблях – в пределах 0,03 % – 0,07 %. При этом разница в накоплении флавоноидов выше, чем антоцианов.

В литературе приводятся данные исследования суммарного содержания флавоноидов в листьях расторопши пятнистой. Так, согласно данным [2] в листьях *S. marianum* содержание флавоноидов колеблется в пределах 1,17 % – 1,37 % в пересчете на цинарозид. По данным других авторов [1] в зависимости от года и места сбора сырья содержание флавоноидов в листьях расторопши пятнистой варьирует от 2,39 мг/г до 13,85 мг/г и 4,12 мг/г до 13,96 мг/г; 3,59 мг/г до 13,05 мг/г и 4,42 мг/г – 14,1 мг/г. в пересчете на цинарозид. Сравнение результатов наших и литературных исследований некорректно, потому что использованы в методике разные растворы сравнения. Поскольку в литературе нет сведений о суммарном содержании флавоноидов и антоцианов в различных органах расторопши пятнистой, то наши исследования в этом аспекте являются первыми. Ранее мы приводили первичные данные, касающиеся этого вопроса [17].

В регионах с большим разнообразием экологических условий наблюдается высокое количественное и качественное разнообразие накапливаемых растениями фенольных соединений [27]. Поскольку Дагестан входит в число таких регионов, то можно ожидать высокую изменчивость в накоплении фенольных соединений в лекарственных растениях, произрастающих на его территории, в частности, *S. marianum*.

Изучение изменчивости содержания фенольных соединений в зависимости от высоты места сбора над уровнем моря дает нам возможность оценить влияние абиотического фактора высотного градиента и выявить образцы (популяции) с высокими показателями фенольных соединений. Так, оценка результатов количественного содержания флавоноидов и антоцианов позволила выделить образцы растений, перспективные с точки зрения накопления этих вторичных метаболитов. Образцы расторопши пятнистой, собранные с окрестностей села Джебель (540 м над уровнем моря), обладают самыми низкими показателями в содержании изучаемых вторичных метаболитов, а максимальные показатели – в образцах, собранных на высоте 434 м над ур. моря, 34 м над ур. моря, 35 и 153 и 212 м над ур. моря. Кроме того, основными источниками флавоноидов и антоцианов могут быть листья, соцветия, трава расторопши пятнистой, собранные во время цветения.

В связи с тем, что фенольные соединения (антоцианы и флавоноиды) выполняют важную функцию защиты растений от УФ – лучей, от других стрессовых условий, то можно предположить увеличение накопления их во всех органах расторопши пятнистой с ростом высоты над уровнем моря места сбора растения. Полученные данные свидетельствуют о разнонаправленном влиянии факторов высотного градиента на их содержание, в большинстве случаев не имеющие достоверной связи. В разных органах выявлены как положительные, так и отрицательные корреляционные связи между накоплением групп фенольных соединений и высотой места сбора сырья при доверительном уровне $p \leq 0,05$ (табл. 2 и 3).

Оценка изменчивости суммарного содержания флавоноидов и антоцианов в разных частях расторопши пятнистой с помощью дисперсионного однофакторного анализа показала большую разницу в наличии изменчивости между популяциями, чем внутри

популяций (табл. 2). Следовательно, изучаемые образцы расторопши пятнистой составляют отдельные популяции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами впервые были исследованы дагестанские природные образцы *S. marianum* на суммарное содержание некоторых фенольных соединений (флавоноидов и антоцианов).

Установлено, что источниками флавоноидов и антоцианов расторопши пятнистой является надземная часть растения (соцветия, листья, стебли, трава). Так, максимальное содержание флавоноидов и антоцианов установлено в листьях (от 0,97 % до 3,07 % и от 0,12 % до 0,26 %, соответственно); в стеблях – минимальное содержание (от 0,22 % до 0,40 % и от 0,03 % до 0,07 %, соответственно).

Согласно полученным данным, между популяциями отмечается большая изменчивость в количественном суммарном содержании флавоноидов и антоцианов, чем внутри популяции.

Проведены исследования по оценке влияния абиотических факторов вдоль высотного градиента на содержание фенольных соединений в образцах расторопши пятнистой, собранных в природных условиях Дагестана.

Полученные нами результаты представляют интерес для выявления механизмов влияния абиотических факторов среды (высотный фактор) на изменчивость содержания некоторых фенольных групп соединений, так и для поиска образцов с высоким содержанием флавоноидов и антоцианов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Поиск новых природных растительных источников, богатых флавоноидами, во флоре Дагестана» на 2012–2014 гг., выполнявшейся в рамках Программы фундаментальных исследований Отделения биологических наук Российской академии наук «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий». Раздел: «Биотехнология рационального использования биологических ресурсов».

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out with the financial support of the project “Search for new natural plant sources rich in flavonoids in the flora of Dagestan” for 2012–2014, carried out within the framework of the Basic Research Program of the Department of Biological Sciences of the Russian Academy of Sciences “Biological resources of Russia: dynamics under global climatic and anthropogenic influences.” Section: “Biotechnology for the rational use of biological resources.”

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кошелев Е.А., Комаревцева Е.К., Черёмушкина В.А., Неуймин С.И. Структурные особенности соцветий морфогенетических групп *Silybum marianum* (Asteraceae), произрастающих в условиях интродукции в Сибири и на Урале // Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН. 2014. N 1. С. 19–24.

2. Куркин В.А. Расторопша пятнистая – источник лекарственных средств (обзор) // Химико-фармацевтический журнал. 2003. Т. 37. № 4. С. 27–41.
3. Росихин Д.В., Куркин В.А., Рыжов В.М. Фармакогностическое исследование по обоснованию комплексного использования расторопши пятнистой // Аспирантский вестник Поволжья. 2015. Т. 5. № 6. С. 342–346.
4. Цаприлова С.В., Родионова Р.А. Расторопша пятнистая: химический состав, стандартизация, применение // Вестник фармации. 2008. Т. 3. № 41. С. 92–104.
5. Вагабова Ф.А., Мамалиева М.М., Мусаев А.М., Чубарова А.С., Раджабов Г.К. Изменчивость содержания флаволигнанов в плодах *Silybum marianum* Gaertn. из природных популяций Дагестана // Вопросы биологической, фармакологической, медицинской химии. 2018. Т. 21. № 11. С. 24–29.
6. Коваленко Д.Н., Джашеева З.А.-М. Флаволигнаны расторопши пятнистой как антиоксиданты в сливочном масле // Масло-жировая промышленность. 2007. Т. 6. С. 45–46.
7. Росихин Д.В., Куркин В.А., Рыжов В.М. Фармакологическое изучение плодов расторопши пятнистой // Сеченовский вестник. 2016. Т. 51. С. 71–72.
8. Сокольская Т.А. Комплексная переработка плодов расторопши пятнистой и создание на ее основе препарата «Силимар» // Химико-фармацевтический журнал. 2000. Т. 34. № 9. С. 27–30.
9. Чернов С. В. Изучение химического состава флаволигнанов *Silibum marianum* (L.) в зависимости от места произрастания // Сборник материалов IV научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы химии и образования», Астрахань, 2018. С. 126–128.
10. Щекатикина А.С., Гавриленко Н.В, Курченко В.П. Оценка содержания изомеров флаволигнанов расторопши пятнистой в гепатопротекторных препаратах // Вестник Брянского государственного университета. 2010. Т. 2. № 2. С. 73–178.
11. Балаева Ш.А., Магомедова Г., Рамазанов А.Ш. Содержание селена в плодах *Silybum marianum* (L.) Gaertn, произрастающей на территории Республики Дагестан // Материалы научных трудов XIV Международной научно-практической конференции: «Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, инновации и технологии», Астрахань, 2020. С. 50–53.
12. Куркин В.А., Росихин Д.В. Стандартизация сиропа расторопши // Фармация. 2017. Т. 66. №1. С. 19–22.
13. Куркин В.А., Росихин Д.В., Рязанова Т.К. Сравнительное изучение состава жирных кислот масла расторопши, подсолнечного масла и облепихового масла // Фармация. 2017. Т. 66. № 6. С. 25–29.
14. Вагабова Ф.А., Раджабов Г.К., Мамалиева М.М., Мусаев А.М., Абдулмагомедова З.Н. Изучение содержания фенольных соединений в органах дагестанских образцов расторопши пятнистой // Сборник материалов XXXIX итоговой научно-технической конференции аспирантов и студентов Дагестанского государственного технического университета «Неделя науки», Махачкала, 2018. С. 155–157.
15. Джашеев А.М. С., Джашеева З.А.-М., Акбаева Ф.А., Гочияева З.У., Токова Ф.М. Характеристика семян расторопши пятнистой (*Silybum marianum* (L.), выращенных в условиях предгорной зоны Северного Кавказа // Успехи современного естествознания. 2018. Т. 12. № 1. С. 36–41.
16. Кильянова Т.В., Немцев С.Н. Влияние агротехники возделывания на качество плодов расторопши пятнистой // Овощи России. 2021. № 1. С. 74–78.
17. Росихин Д.В., Куркин В.А., Зайцева Е.Н., Правдивцева О.Е., Дубищев А.В. Изучение диуретической активности препаратов на основе травы расторопши // Вестник Башкирского государственного медицинского университета. 2018. № 4. С. 156–163.
18. Вагабова Ф.А., Алиев А.М., Мамалиева М.М., Раджабов Г.К., Мусаев, А.М. Химический состав СК CO₂-экстракта травы *Silybum marianum* (L.) Gaertn. из природной популяции флоры Дагестана // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015. Т. 9. С. 35–38.
19. Pereira C., Barros L., Carvalho A.M., Santos-Buelga C., Ferreira, I.C. Infusions of artichoke and milk thistle represent a good source of phenolic acids and flavonoids // Food & function. 2015. V. 6. № 1. P. 55–61. DOI:10.1039/C4FO00834K
20. Khan T.A., Mazid M., Mohammad F. Status of secondary plant products under abiotic stress: an overview // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2011. V. 7. № 2. P. 74–98. www.researchgate.net/publication/285695735
21. Щербачев А.В., Чистякова М.В., Усманов И.Ю. Экологические аспекты регуляции пластичности накопления флавоноидов на Южном Урале // Вестник Башкирского университета. 2011. Т. 16. № 4. С. 1198–1205.
22. Hammerstone J.F., Lazarus S.A., Schmitz H.H. Procyanidin content and variation in some commonly consumed foods // The Journal of nutrition. 2000. V. 130. № 8. P. 20864–20924. https://doi.org/10.1093/jn/130.8.20865
23. Nijveldt R.J., Van Nood, E.L.S., Van Hoorn, D.E., Boelens, P.G., Van Norren K., Van Leeuwen P. A. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications // The American journal of clinical nutrition. 2001. V. 74. № 4. P. 418–425. https://doi.org/10.1093/ajcn/74.4.418
24. Pietta P.G. Flavonoids as antioxidants // Journal of Natural Products. 2000. V. 63. P. 1035–1042. https://doi.org/10.1021/np9904509
25. Куркин В.А., Авдеева Е.В., Правдивцева О.Е., Куркина А.В., Рыжов В.М., Росихин Д.В., Кулагин О.Л. Сравнительное исследование антиоксидантной активности некоторых флавоноидов и гепатопротекторных лекарственных препаратов на основе плодов расторопши пятнистой // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. С. 203–203.
26. Макаревич А.М., Шутова А.Г., Спиридович Е.В., Решетников В.Н. Функции и свойства антоцианов растительного сырья // Труды белорусского государственного университета. 2010. Т. 4. № 2. С. 1–11.
27. Полякова Л.В., Ершова Э. А. Изменчивость фенольных соединений у некоторых травянистых и древесных растений от межпопуляционного до внутрииндивидуального (эндогенного) уровня // Химия растительного сырья. 2000. Т. 1. С. 121–129.
28. Клименко В.П., Тураев Д.О., Лушай Е.А., Лиховской В.В. Взаимосвязь между содержанием фенольных соединений в листьях и ягодах винограда // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 21. № 3. С. 198–203.

29. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана / Отв. ред. чл.-корр. РАН Р.В. Камелин. Махачкала: Эпоха, 2009. Т. III. 304 с.
30. Государственная фармакопея. Москва: 2018. XIV изд., Т. 4. С.11–83.

REFERENCES

- Koshelev E.A., Komarevceva E.K., Cherjomushkina V.A., Neujmin S.I. Structural features of inflorescences of morphogenetic groups of *Silybum marianum* (Asteraceae), growing under conditions of introduction in Siberia and the Urals. *Rastitel'nyi mir Aziatskoi Rossii: Vestnik Tsentral'nogo Sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN [Flora of Asian Russia: Bulletin of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS]*. 2014, no. 1, pp. 19–24. (In Russian)
- Kurkin V.A. Milk Thistle – A Source of Medicines (Review). *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal [Chemical and pharmaceutical journal]*. 2003, vol. 37, no. 4, pp. 27–41. (In Russian)
- Rosihin D.V., Kurkin V.A., Ryzhov V.M. Pharmacognostic study to substantiate the complex use of milk thistle. *Aspirantskii vestnik Povolzh'ya [Postgraduate Bulletin of the Volga Region]*. 2015. vol. 5, no. 6, pp. 342–346. (In Russian)
- Caprilova S.V., Rodionova R.A. Milk thistle: chemical composition, standardization, application. *Vestnik farmatsii [Herald of Pharmacy]*. 2008. vol. 3, no. 41, pp. 92–104. (In Russian)
- Vagabova F.A., Mamaliev M.M., Musaev A.M., Chubarova A.S., Radzhabov, G.K. Variability of flavonolignan content in *Silybum marianum* Gaertn. fruits from natural populations of Dagestan. *Voprosy biologicheskoi, farmakologicheskoi, meditsinskoi khimii [Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry]*. 2018, vol. 21, no.11, pp. 35–38. (In Russian)
- Kovalenko D.N., Dzhasheeva Z.A.-M. Milk Thistle Flavonolignans as Antioxidants in Butter. *Maslo-zhirovaya promyshlennost' [Oil and fat industry]*. 2007, vol. 6, pp. 45–46. (In Russian)
- Rosihin D.V., Kurkin V.A., Ryzhov V.M. Pharmacological study of milk thistle fruits. *Sechenovskii vestnik [Sechenov Bulletin]*. 2016, vol. 51, pp. 71–72. (In Russian)
- Sokol'skaja T.A. Complex processing of milk thistle fruits and creation of the drug "Silimar" on its basis. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal [Chemical and pharmaceutical journal]*. 2000, vol. 34, no. 9, pp. 27–30. (In Russian)
- Chernov S. V. Izuchenie khimicheskogo sostava flavonolignanov *Silimum marianum* (L.) v zavisimosti ot mesta proizrastaniya [Study of the chemical composition of flavonolignans of *Silimum marianum* (L.) depending on the place of growth]. *Sbornik materialov IV nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy khimii i obrazovaniYA», Astrakhan', 2018 [Collection of materials of the IV scientific and practical conference of students and young scientists "Actual problems of chemistry and education", Astrakhan, 2018]*. Astrakhan, 2018, pp. 126–128. (In Russian)
- Shhekatihina A.S., Gavrilenko N.V., Kurchenko V.P. Evaluation of the content of flavonolignans isomers of milk thistle in hepatoprotective drugs. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Bryansk State University]*. 2010. vol. 2, no. 2, pp. 73–178. (In Russian)
- Balaeva Sh.A., Magomedova G., Ramazanov A.Sh. Soderzhanie selena v plodakh *Silybum marianum* (L.) Gaertn, proizrastayushchei na territorii Respubliki Dagestan [Selenium content in the fruits of *Silybum marianum* (L.) Gaertn, growing in the Republic of Dagestan]. *Materialy nauchnykh trudov XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: «Fundamental'nye i prikladnye problemy polucheniya novykh materialov: issledovaniya, innovatsii i tekhnologii», Astrakhan', 2020 [Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference: "Fundamental and Applied Problems of Obtaining New Materials: Research, Innovation and Technology"*, Astrakhan, 2020]. Astrakhan, 2020, pp. 50–53. (In Russian)
- Kurkin V.A., Rosihin D.V. Standardization of milk thistle syrup. *Farmatsiya [Pharmacy]*. 2017. vol. 66, no. 1, pp. 19–22. (In Russian)
- Kurkin V.A., Rosihin D.V., Rjanzanova T. K Comparative study of fatty acid composition of milk thistle oil, sunflower oil and sea buckthorn oil. *Farmatsiya [Pharmacy]*. 2017. vol. 66, no. 6, pp. 25–29. (In Russian)
- Vagabova F.A., Radzhabov G.K., Mamaliev M.M., Musaev A.M., Abdulmagomedova Z.N. Izuchenie soderzhaniya fenol'nykh soedinenii v organakh dagestanskikh obraztsov rastoropshi pyatnistoi [Study of the content of phenolic compounds in the organs of Dagestan samples of milk thistle]. *Sbornik materialov XXXIX itogovoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii aspirantov i studentov Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta «Nedelya nauki», Makhachkala, 2018 [Collection of materials of the XXXIX final scientific and technical conference of postgraduates and students of the Dagestan State Technical University "Science Week", Makhachkala, 2018]*. Makhachkala, 2018, pp. 155–157. (In Russian)
- Dzhasheev A.-M.S., Dzhasheeva Z.A.-M., Akbaeva F.A., Gochijeva Z.U., Tokova F.M. Characteristics of milk thistle seeds (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) grown in the foothills of the Northern Caucasus. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Achievements of modern natural science]*. 2018, vol. 12. no 1, pp. 36–41. (In Russian)
- Kil'janova T.V., Nemcev S.N. The influence of cultivation techniques on the quality of milk thistle fruits. *Ovoshchi Rossii [Vegetables of Russia]*. 2021, no. 1, pp. 74–78. (In Russian)
- Rosihin D.V., Kurkin V.A., Zajceva E.N., Pravdivceva O.E., Dubishhev A.V. Study of diuretic activity of preparations based on milk thistle herb. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta [Bulletin of the Bashkir State Medical University]*. 2018, no. 4, pp. 156–163. (In Russian)
- Vagabova F.A., Aliev A.M., Mamaliev M.M., Radzhabov G.K., Musaev, A.M. Chemical composition of the SC CO₂ extract of the herb *Silybum marianum* (L.) Gaertn. from the natural population of the flora of Dagestan. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoi i farmatsevticheskoi khimii [Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry]*. 2015, vol. 9, pp. 35–38. (In Russian)
- Pereira C., Barros L., Carvalho A. M., Santos-Buelga C., Ferreira, I.C. Infusions of artichoke and milk thistle represent a good source of phenolic acids and flavonoids. *Food & function*, 2015, vol. 6, no.1, pp. 55–61. DOI:10.1039/C4FO00834K
- Khan T.A., Mazid M., Mohammad F. Status of secondary plant products under abiotic stress: an overview. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 2011, vol. 7, no. 2, pp. 74–98. www.researchgate.net/publication/285695735
- Shherbakov A.V., Chistjakova M.V., Usmanov I.Ju. Ecological aspects of regulation of plasticity of flavonoid accumulation in the Southern Urals. *Vestnik Bashkirskogo*

- universiteta [Bulletin of the Bashkir University]. 2011, vol. 16, no. 4, pp. 1198–1205. (In Russian)
22. Hammerstone J.F., Lazarus S.A., Schmitz H.H. Procyanidin content and variation in some commonly consumed foods. *The Journal of nutrition*, 2000, vol. 130, no. 8, pp. 20864–20924. (in English)
<https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2086S>
23. Nijveldt R.J., Van Nood, E.L.S., Van Hoorn, D.E., Boelens, P.G., Van Norren K., Van Leeuwen P. A. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American journal of clinical nutrition*, 2001, vol. 74, no. 4, pp. 418–425.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/74.4.418>
24. Pietta P.G. Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 2000, vol. 63, pp. 1035–1042.
<https://doi.org/10.1021/np9904509>
25. Kurkin V.A., Avdeeva E.V., Pravdivceva O.E., Kurkina A.V., Ryzhov V.M., Rosihin D.V., Kulagin O.L. Comparative study of antioxidant activity of some flavonoids and hepatoprotective drugs based on milk thistle fruits. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2016, no. 6, pp. 203–203. (In Russian) Retrieved from <http://science-education.ru/ru/article/view?id=25833>
26. Makarevich A.M., Shutova A.G., Spiridovich E.V., Reshetnikov V.N. Functions and properties of anthocyanins in plant materials. *Trudy belorusskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Belarusian State University]. 2010, vol. 4, no. 2, pp. 1–11. (In Russian)
27. Poljakova L.V., Ershova Je. A. Variability of phenolic compounds in some herbaceous and woody plants from interpopulation to intra-individual (endogenous) level. *Kyimiya rastitel'nogo sir'ya* [Chemistry of plant materials]. 2000, vol. 1, pp. 121–129. (In Russian)
28. Klimenko V.P., Turaev D.O., Lushhaj E.A., Lihovskoj V.V. Relationship between the content of phenolic compounds in grape leaves and berries. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie* [Donkey. Viticulture and winemaking]. 2019, vol. 21, no. 3. pp. 198–203. (In Russian)
29. Murtazaliev R.A. *Konspekt flory Dagestana* [Abstract of the flora of Dagestan]. Makhachkala, Epokha Publ., 2009, vol. 3, pp. 304. (In Russian)
30. *Gosudarstvennaya farmakopeya RF, 14-oye izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, 14th ed.]. Moscow, 2018, vol. IV, 1294 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Фазина А. Вагабова планировала эксперимент, собрала и проанализировала данные, интерпретировала результаты и написала статью. Маина М. Мамалиева собрала сырье для анализа, систематизировала вид, подготовила сырье к анализу. Гаджи К. Раджабов собрал сырье, определил содержание флавоноидов, антоцианов. Асият Н. Алибегова провела статистическую обработку данных. Зарема И. Солтанмурадова проанализировала полученные данные. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Fazina A. Vagabova designed the experiment, collected and analyzed the data, interpreted the results, and wrote the paper. Maina M. Mamaliev collected raw materials for analysis, systematized the species, prepared raw materials for analysis. Gadzhi K. Radzhabov collected the raw materials, determined the content of flavonoids and anthocyanins. Asiyat N. Alibegova carried out statistical processing of the data. Zarema I. Soltanmuradova analyzed the data obtained. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Фазина А. Вагабова / Fazina A. Vagabova <https://orcid.org/0000-0003-3315-3874>
 Маина М. Мамалиева / Maina M. Mamaliev: <https://orcid.org/0000-0001-6235-3248>
 Гаджи К. Раджабов / Gadzhi K. Radzhabov <https://orcid.org/0000-0001-9263-5684>
 Асият Н. Алибегова / Asiyat N. Alibegova <https://orcid.org/0000-0002-8977-4728>
 Зарема И. Солтанмурадова / Zarema I. Soltanmuradova <https://orcid.org/0000-0003-3018-9097>