

Научная статья

УДК 581.52:633.82(470.67)

doi: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-85-90

Оценка влияния экологических факторов на изменчивость морфологических признаков и содержание фенольных соединений *Matthiola odoratissima* (левкой душистый) в предгорных условиях Дагестана*

Руслан Маликович Османов, Асият Нуратиновна Алибегова
Горный ботанический сад Дагестанского ФИЦ РАН

Аннотация. Проведён анализ изменчивости морфологических признаков и исследовано суммарное содержание фенольных соединений в *Matthiola odoratissima* (Brassicaceae). Цель работы – оценка влияния комплекса экологических факторов на изменчивость морфологических признаков и содержание фенольных соединений в *Matthiola odoratissima* в предгорных условиях Дагестана. Объём выборки – 30 генеративных побегов с двух изолированных популяций *Matthiola odoratissima* в пределах Карабудахкентского района: окрестности с. Какашура, южный склон (400 м над ур. м); Губденский перевал, северный склон (890 м). Для оценки морфометрических параметров учитывались 20 признаков. Выявлено, что главное различие по морфологическим признакам на двух контрастных склонах заключалось в длине генеративного побега. На примере распределения частот в классовых интервалах признаков число листьев побега и число листьев розетки было установлено, что растения северного склона характеризуются большим числом классов по сравнению с растениями южного склона. Анализ сравнения склонов по t-критерию Стьюдента показал, что сильнее всего склоны различаются по длине листьев розетки и числу листьев побега. Кроме того, однофакторный дисперсионный анализ выявил, что с высотой связана также большая доля изменчивости длины листьев розетки (62,2 %) и числа листьев побега (34,0 %). Суммарное содержание флавоноидов и антоцианов в различных частях растений *Matthiola odoratissima* уменьшается с возрастанием высоты над уровнем моря.

Ключевые слова: *Matthiola odoratissima*, морфологические признаки, изменчивость, суммарное содержание фенольных соединений, элементы рельефа.

* Работа выполнена с использованием оборудования экспериментальной установки «Системы экспериментальных баз, расположенных вдоль высотного градиента Горного ботанического сада ДФИЦ РАН» ([www.http://gorborsad.ru/seb.html](http://gorborsad.ru/seb.html))

Для цитирования: Османов Р.М., Алибегова А.Н. Оценка влияния экологических факторов на изменчивость морфологических признаков и содержание фенольных соединений в *Matthiola odoratissima* (левой душистый) в предгорных условиях Дагестана // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 85–90. doi: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-85-90.

Original article

Assessment of the influence of environmental factors on the variability of morphological characters and the content of phenolic compounds *Matthiola odoratissima* in the foothill conditions of Dagestan

Ruslan M. Osmanov, Assyat N. Alibegova

Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences

Abstract. The analysis of variability of morphological characters was carried out and the total content of phenolic compounds *Matthiola odoratissima* (Brassicaceae) was investigated. The purpose of this work is to assess the influence of a complex of environmental factors on the variability of morphological characteristics and the content of phenolic compounds *Matthiola odoratissima* in the foothill conditions of Dagestan. The sample size is 30 generative shoots from two isolated populations of *Matthiola odoratissima* within the Karabudakhkent region: the vicinity of the village. Kakashura, southern slope (400 m above sea level); Gubden pass, northern slope (890 m). To assess the morphometric parameters, 20 features were taken into account. It was revealed that the main difference in morphological characteristics on two contrasting slopes was in the length of the generative shoot. Using the example of the distribution of frequencies in the class intervals of the traits number of shoot leaves and number of rosette leaves, it was found that plants on the northern slope are characterized by a larger number of classes, compared with plants on the southern slope. An analysis of the comparison of slopes by Student's t-test showed that slopes differ most of all in the length of the rosette leaves and the number of shoot leaves. In addition, one-way analysis of variance revealed that a large proportion of variability in the length of rosette leaves (62.2 %) and the number of shoot leaves (34.0 %) is also associated with height. The total content of flavonoids and anthocyanins is higher in the inflorescences than in other parts of *Matthiola odoratissima* plants; their content decreases with increasing altitude.

Keywords: *Matthiola odoratissima*, morphological characters, variability, total content of phenolic compounds, relief elements.

For citation: Osmanov R.M., Alibegova A.N. Assessment of the influence of environmental factors on the variability of morphological characters and the content of phenolic compounds *Matthiola odoratissima* in the foothill conditions of Dagestan. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021; 88(2): 85–90. (In Russ.). doi: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-85-90.

Оценка внутри- и межпопуляционной изменчивости растений является важной задачей ботанического ресурсоведения в решении ряда проблем теорий, относящихся к популяционной биологии, в том числе взаимоотношений видов и факторов среды их обитания [1].

В числе элементов рельефа экологически наиболее значимыми являются высота местности над уровнем моря, экспозиция и крутизна склона [2], являясь косвенными абиотическими факторами. Повышение уровня местности на каждые 100 м сопровождается уменьшением температуры воздуха примерно на 0,5 °С, изменением влажности воздуха и инсоляции [3].

Объектом наших исследований является *Matthiola odoratissima* (Pall. ex Vieb.) Ait. – летне-зимнезелёный полукустарничек высотой 15–40 см. Стебли толстые, бело- или серовойлочные, опушённые. Листья розетки продолговатые или овальные, а стеблевые листья более мелкой формы, с обеих сторон сильно опушённые. Чашелистики продолговатые, жёлтые, длиной до 25 мм. Длина цветоножки обычно равна 2–3 мм. Лепестки грязно-желтоватые или слегка фиолетовые, шириной 3–5 мм. Рыльце мясистое, головчатое. Стручки линейные, плоские, толстые, до 15 см длиной и до 4 мм шириной.

Семена широкоовальные. Является скальным видом, светолюбивым и засухоустойчивым, не требовательным к почвам (кальцефил). Опыляется насекомыми. Размножается семенами. Произрастает на обрывах, сухих скалах, сильно эродированных склонах нижнего горного пояса, входит в состав петрофильных группировок. Цветение приходится на апрель–май, плодоношение – август. Декоративный, пригоден для скальных экспозиций [4–6].

Общий ареал *M. odoratissima*: Юго-Западная Азия – Иран, Турция; Восточная Европа (Горный Крым), Болгария; Россия: Северный Кавказ – Карачаево-Черкесская Республика; Северная Осетия – Алания; Дагестан, Краснодарский край; Западный Кавказ [4, 7–10].

M. odoratissima встречается в Предгорном и Буйнакском флористических районах Дагестана. Произрастает на сухих глинистых склонах нижнего горного пояса, при этом встречается рассеянно [11].

В листьях, цветках и семенах видов рода *Matthiola* Ait. содержатся эфирные масла, сапонины, танины, флавоноиды, алкалоиды, терпеноиды, что указывает на наличие значительной доли антиоксидантной активности. Химический состав *Matthiola odoratissima* мало изучен. По

имеющимся литературным данным, в надземной части этого вида выявлены флавоноиды: моногликозиды, биозиды, дигликозиды кемпферола и кверцетина, в семенах – жирное масло (30,5 %) [12–16].

Более изучены другие виды рода *Matthiola*, используемые как лекарственные, например, *Matthiola incana*, *Matthiola fragrans*.

Цель исследования – оценка влияния комплекса экологических факторов на изменчивость морфологических признаков и содержание фенольных соединений *Matthiola odoratissima* в предгорных условиях Дагестана.

Материал и методы. Объём выборки составил 30 генеративных побегов с двух изолированных популяций *Matthiola odoratissima* в пределах Карабудахкентского района: окр. с. Какашура, южный склон, крутизна склона – 15–20°, 400 м над ур. м., вдоль дороги; Губденский перевал, северный склон, крутизна склона – 35–40°, 890 м. Для оценки морфометрических параметров определялись следующие признаки: длина побега (ДП), мм; длина соцветия (ДС), мм; длина побега + длина побега (ДП + ДС), мм; длина максимального листа розетки (ДЛ роз.), мм; число листьев на побеге (ЧЛ поб.), шт.; число листьев розетки (ЧЛ роз.), шт.; число цветков (ЧЦ), шт.; масса листьев розетки (МЛ роз.), мг; масса соцветия (М соц.), мг; масса стебля (М стеб.), мг; общая масса побега (МП общ.), мг; эффективность репродуктивного усилия (отношение М соц. и МП общ.), %; плотность соцветия (отношения ЧЦ и ДС), %.

Взвешивание проводили на электронных весах ВМК 303 с точностью до 1 мг. Для математической обработки экспериментальных

данных применяли методы описательной статистики, критерий Стьюдента, однофакторный дисперсионный анализ. Статистический анализ полученных данных осуществлялся с использованием пакета данных программы Statistica v. 13.

Растительное сырьё для фитохимических анализов было высушено в хорошо проветриваемом помещении (в тени, при температуре 20–25° С). Для определения суммарного содержания флавоноидов и антоцианов в изучаемом сырье были получены экстракты с использованием 70%-ного раствора этанола в соответствии с методикой. Анализы проводились по общепринятым методикам [17, 18].

Результаты исследования. Сравнительный анализ по изменчивости морфологических признаков генеративного побега *Matthiola odoratissima* на склонах разной экспозиции (северной и южной) выявил некоторые закономерности (табл. 1). Растения, произрастающие на южном склоне на высоте 400 м над ур. м., характеризовались более крупными размерами по сравнению с растениями с северного склона в пределах Губденского перевала (890 м). Главное различие по морфологическим признакам на двух контрастных склонах заключалось в длине генеративного побега, которая у растений с южной экспозиции составляла $359,8 \pm 13,02$ мм, а с северной – $322,4 \pm 10,14$ мм. Также выявлены различия и по весовым признакам генеративного побега: массе листьев розетки, массе соцветия и общей массе побега. Однако наибольшие средние значения наблюдались и на высоте 890 м, а именно по числу листьев на побеге, числу цветков, плотности соцветия и незначительно – по массе стебля.

1. Результаты дескриптивной статистики по морфологическим признакам генеративного побега *Matthiola odoratissima* на двух изолированных склонах

Признак	Северный склон				Южный склон				t-критерий
	$X \pm Sx$	размах		Cv, %	$X \pm Sx$	размах		Cv, %	
		мин.	макс.			мин.	макс.		
ДП	$228,2 \pm 6,37$	166,0	296,0	15,3	$263,9 \pm 9,61$	169,0	415,0	19,9	3,08**
ДС	$94,1 \pm 4,60$	56,0	140,0	26,8	$95,9 \pm 4,61$	44,0	143,0	26,3	0,28
ДП + ДС	$322,4 \pm 10,14$	239,0	420,0	17,2	$359,8 \pm 13,02$	213,0	555,0	19,8	2,26*
ДЛ роз.	$49,2 \pm 2,03$	27,0	71,0	22,6	$70,0 \pm 2,11$	48,0	87,0	16,5	7,09***
ЧЛ поб.	$7,1 \pm 0,41$	4,0	12,0	31,6	$5,1 \pm 0,28$	3,0	8,0	30,6	4,06***
ЧЛ роз.	$7,1 \pm 0,45$	3,0	13,0	35,1	$7,9 \pm 0,35$	6,0	12,0	24,2	1,39
ЧЦ	$12,9 \pm 0,59$	6,0	19,0	25,3	$10,6 \pm 0,38$	8,0	14,0	20,0	3,26**
МЛ роз.	$250,3 \pm 30,31$	55,0	801,0	66,3	$345,4 \pm 26,92$	182,0	775,0	42,6	2,34*
М соц.	$262,8 \pm 18,36$	116,0	512,0	38,2	$278,3 \pm 10,17$	204,0	381,0	20,0	0,74
М стеб.	$397,3 \pm 32,78$	176,0	949,0	45,2	$296,7 \pm 16,06$	168,0	453,0	29,6	2,75**
МП общ.	$910,4 \pm 69,60$	463,0	2112,0	41,8	$920,5 \pm 35,76$	625,0	1289,0	21,2	0,12
Эффект. репр. усил.	$29,7 \pm 1,52$	17,0	43,5	28,0	$30,6 \pm 0,79$	22,0	37,0	14,2	0,49
Плотность соцветия	$1,4 \pm 0,05$	0,8	2,1	22,1	$1,1 \pm 0,06$	0,7	2,4	31,7	2,73**

Примечание: уровень достоверности: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

В изучении межпопуляционной изменчивости и общей продуктивности растений важно учитывать такой показатель, как эффективность репродуктивного усилия, в нашей работе – это отношение массы соцветия к общей массе генеративного побега. Этот показатель незначительно выше для растений *M. odoratissima* на высоте 400 м (южный склон), где составляет 30,6 % по сравнению с растениями на высоте 890 м (северный склон) – 29,7 %.

Анализ изменчивости по коэффициенту вариации (C_v , %) на внутри- и межпопуляционном уровне показал [19], что средние значения длины побега, длины листьев розетки, числа цветков, массы соцветия, эффективности репродуктивного усилия в большей степени для южного склона характеризуются средним уровнем варьирования по шкале Мамаева.

Повышенный и высокий уровень варьирования характерен для большинства признаков. Очень высоким варьированием характеризовались весовые признаки растений с северного склона (масса листьев розетки, соцветия, стебля и побега).

Результаты сравнительного анализа были проверены с помощью *t*-критерия Стьюдента (табл. 1). Сильнее всего популяции разграничиваются по длине листьев розетки (7,09***) и числу листьев побега (4,06***). Достоверно ($P < 0,001$) склоны также различаются по признакам: длина побега, число цветков, масса стеблей и плотности соцветия; на уровне $P < 0,01$ – длина побега + длина соцветия, масса листьев розетки.

Разделением числа листьев побега и листьев розетки на категории было выделено 9 и 8 классовых интервалов соответственно (табл. 2). Частота встречаемости по признаку число листьев побега имеет вид нормального распределения с вершиной в 4, на долю этих частот приходится 23,4 % в суммарном исчислении. Однако для северного склона основными классами являются 7–8 (33,4 %), а для южного 4 и 6 (53,4 %). Для числа листьев розетки распределение имеет вид нормального распределения с основной модой в числе 7. Частота с 4 листьями имеет 23,7 % особей, варьируя от 13,3 % на северном до 33,3 % на южном склонах. Северный склон характеризуется большим числом классовых интервалов.

В результате проведенного однофакторного дисперсионного анализа установлено существенное влияние условий склонов на изученные признаки *M. odoratissima* (рис. 1). Оценка компонентов дисперсии показала, что с высотой связана большая доля изменчивости длины листьев розетки (62,2 %) и числа листьев побега (34,0 %). Эти два признака больше всего разграничивали два склона и по *t*-критерию.

Наименьший вклад относительной компоненты дисперсии приходится на число листьев розетки – 3,0 %, а для длины соцветия, массы соцветия и эффективности репродуктивного усилия его нет.

2. Распределение частот по двум признакам генеративного побега *Matthiola odoratissima*

Категория	Северный склон		Южный склон		Σ		
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	
Число листьев побега	частота встречаемости						
	3	–	–	4	13,3	4	6,7
	4	4	13,3	10	33,4	14	23,4
	5	5	16,7	4	13,3	9	15,0
	6	3	10,1	6	20,0	9	15,0
	7	5	16,7	3	10,0	8	13,3
	8	5	16,7	3	10,0	8	13,3
	9	4	13,3	–	–	4	6,7
	10	2	6,6	–	–	2	3,3
	12	2	6,6	–	–	2	3,3
Число листьев розетки	частота встречаемости						
	3	2	6,7	–	–	2	3,3
	4	5	16,7	–	–	5	8,3
	6	4	13,3	7	23,3	11	18,3
	7	4	13,3	10	33,3	14	23,7
	8	8	26,6	4	13,3	12	20,0
	9	5	16,7	5	16,7	10	16,7
	12	–	–	4	13,4	4	6,7
	13	2	6,7	–	–	2	3,3

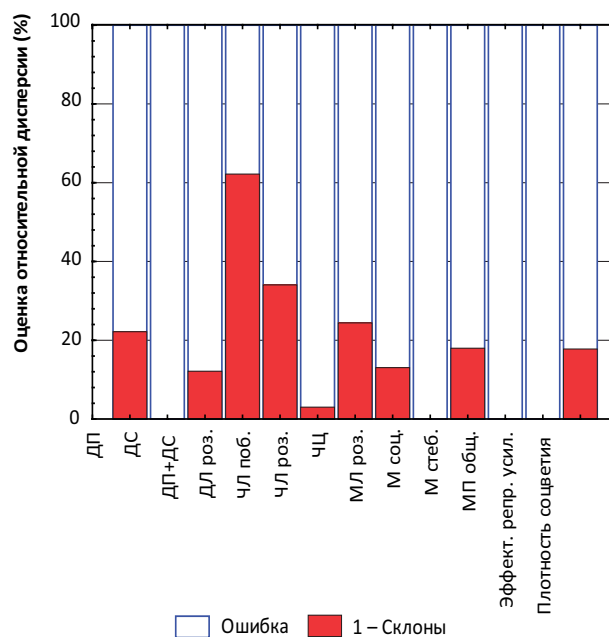


Рис. 1 – Относительные компоненты дисперсии (в %) по итогам однофакторного дисперсионного анализа по фактору склоны для морфологических признаков *M. odoratissima*

Проведенный фитохимический анализ выявил различия содержания флавоноидов и антоцианов в органах растений из природных популяций *M. odoratissima* с разных склонов. Наибольшее содержание флавоноидов обнаружено в соцветиях – 3,13 и 2,59 % (в пересчете на рутин), меньше в стеблях – 1,03 и 0,53 %, в листьях – 1,00 и 0,89 %, а содержание антоцианов выше в листьях – 0,18 и 0,14 %, меньше в стеблях (0,11 и 0,06 %) и соцветиях (0,09 и 0,1 %) (табл. 3). Повышение уровня содержания флавоноидов и антоцианов в надземной фитомассе растений связано с влиянием светового фактора, что является одной из их физиологических функций – защитой от ультрафиолетовой радиации.

3. Содержание суммы флавоноидов и антоцианов в *Matthiola odoratissima*, % от воздушно-сухой массы

Место сбора, высота над ур. м. / склон	Орган	Флавоноиды, %	Антоцианы, %
		$X \pm Sx$	$X \pm Sx$
Какашур, 400 / южный склон	соцветия	3,13 ± 0,021	0,09 ± 0,0
	стебли	1,03 ± 0,002	0,11 ± 0,0
	листья	1,00 ± 0,001	0,18 ± 0,0
Губденский перевал, 890 / северный склон	соцветия	2,59 ± 0,016	0,10 ± 0,0
	стебли	0,53 ± 0,003	0,06 ± 0,0
	листья	0,89 ± 0,006	0,14 ± 0,0

По итогам однофакторного дисперсионного анализа данных для двух выборок *M. odoratissima* выявлено, что сила влияния фактора на содержание флавоноидов и содержание антоцианов в органах растений высока ($h^2 = 99$ % и выше), где фактор – элементы рельефа места сбора растительного сырья.

Корреляционный анализ показал, что между содержанием флавоноидов и антоцианов и местом сбора отмечаются отрицательные связи ($r_{xy} = -0,99$, $P < 0,05$), а между содержанием флавоноидов и содержанием антоцианов – положительные корреляционные связи ($r_{xy} = 0,99$, $P < 0,05$).

Выводы. Сравнительный анализ растений *Matthiola odoratissima* позволил установить, что экземпляры, произрастающие на южном склоне на высоте 400 м над ур. м., характеризовались более крупными размерами по сравнению с таковыми с северного склона в пределах изучаемой местности (890 м).

Анализ полученных данных по t -критерию Стьюдента показал, что сильнее всего склоны различаются по длине листьев розетки ($t = 7,09$) и числу листьев побега ($t = 4,06$). Однофакторный дисперсионный анализ также выявил, что с высотой связана большая доля изменчивости длины листьев розетки (62,2 %) и числа листьев побега (34,0 %).

Суммарное содержание флавоноидов и антоцианов выше в соцветиях, чем в других частях растений *Matthiola odoratissima*, и уменьшается с возрастанием высоты над уровнем моря.

Литература

1. Злобин Ю.А. Об уровнях жизнеспособности растений // Журнал общей биологии. 1981. Т. 42. № 4. С. 492–505.
2. Соколова Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений. Acta Biologica Sibirica. 2016. № 2 (3). С. 34–45.
3. Горышина Т.К. Экология растений: учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1979. 368 с.
4. Гроссгейм А.А. Флора Кавказа (*Nymphaeaceae* – *Platanaceae*). М. – Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1950. Т. 4. С. 247–250.
5. Дорофеев В.И. Крестоцветные (*Cruciferae* Juss.) Российского Кавказа // Turczaninowia. 2003. Т. 6 (3). С. 5–137.
6. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Флора Северного Кавказа: атлас-определитель. М: Фитон XXI, 2013. 668 с.
7. Черняковская Е.Г. Род левкой – *Matthiola* // Флора СССР. М.– Л.: Изд-во АН СССР, 1939. Т. 8. С. 285–298.
8. Литвинская С.А., Тильба А.П., Филимонова Р.Г. Редкие и исчезающие растения Кубани. Краснодар, 1983. 159 с.
9. Ana Petrova, Vladimir Vladimirov. Red List of Bulgarian vascular plants // Phytol. Balcan., 2009. № 15 (1). P. 63–94.
10. Красная книга Краснодарского края. Растения и грибы / адм. Краснодар. края; отв. ред. С.А. Литвинская и др. 3-е изд. Краснодар. 2017. 850 с.
11. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана (*Lycopodiaceae* – *Urticaceae*). Махачкала: Издательский дом «Эпоха», 2009. Т. 1. 319 с.
12. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование: Семейства *Raeoniaceae* – *Thymelaeaceae* / отв. ред. П.Д. Соколов. Вып. 2. Л.: Наука, 1985. 336 с.
13. Генетический мониторинг популяций левкой душистого с помощью (*Matthiola fragrans* Bunge) RAPD-и AFLP-анализа / Н.В. Хадеева, С.В. Горюнова, А.А. Кочумова, Е.Ю. Яковлева [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2011. № 4. С. 389–396.
14. Miceli N, Cavò E, Ragusa S, Cacciola F, Dugo P, Mondello L, Marino A, Cincotta F, Condurso C, Taviano M. Phytochemical characterization and biological activities of a hydroalcoholic extract obtained from the aerial parts of *Matthiola incana* (L.) R.Br. subsp. *incana* (Brassicaceae) growing wild in Sicily (Italy) // Chemistry & Biodiversity. 2019. Vol. 16 (4).
15. Rasool Nasir, Afzal Sania, Riaz Muhammad, Rashid Umer, Rizwan Komal, Zubair Muhammad, Ali Shafqat, Shahid Muhammad. Evaluation of antioxidant activity cytotoxic studies and GC-MS profiling of *Matthiola incana* (stock flower) // Legume Research-An International Journal. 2013. Vol. 36. P. 21–32.
16. Taviano M.F., Miceli N., Acquaviva R., Malfa G.A., Ragusa S., Giordano D., Cásedas G., Les F., López V. Cytotoxic, Antioxidant, and Enzyme Inhibitory Properties of the Traditional Medicinal Plant *Matthiola incana* (L.) R. Br. // Biology. 2020. 9. 163.

17. Государственная фармакопея. М.: 1998. XI изд. Вып. 1, 2. 336 с.

18. Купчак Т.В, Николаева Л.А., Шимолина Л.Л. Количественное определение антоцианов в надземной части гибридной формы *Zea mays* L. // Растительные ресурсы. 1995. № 3. С. 105–111.

19. Мамаев С.А. Основные принципы методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная и эколого-географическая изменчивость растений. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. Вып. 94. С. 3–14.

Руслан Маликович Османов, младший научный сотрудник. Горный ботанический сад – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук. Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75, ru.osmanov@mail.ru

Асият Нуратиновна Алибегова, кандидат биологических наук. Горный ботанический сад – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук. Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75, aidamirova1@mail.ru

Ruslan M. Osmanov, Junior Research. Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences. 75, M. Yaragsky St., Makhachkala, Republic of Dagestan, 367000, Russia, ru.osmanov@mail.ru

Assyat N. Alibegova, Candidate of Biology. Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences. 75, M. Yaragsky St., Makhachkala, Republic of Dagestan, 367000, Russia, aidamirova1@mail.ru

