Оригинальная статья / Original article
УДК: 633.8:631.52+581.522.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-21-32

Сравнительное изучение представителей различных популяций вида *Sedum roseum* (L.) Scop. при возделывании в культуре

Ольга М. Савченко[1], Наталья С. Цыбулько[1], Татьяна Е. Саматадзе[2]
[1]ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР), Москва, Россия
[2]Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН, Москва, Россия

Контактное лицо
Ольга М. Савченко, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР);
117216 Россия, г. Москва, ул. Грина, 7.
Тел. +74957120963
Email nordfenugreek@yandex.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-3054-1719

Формат цитирования
Савченко О.М., Цыбулько Н.С., Саматадзе Т.Е. Сравнительное изучение представителей различных популяций вида *Sedum roseum* (L.) Scop. при возделывании в культуре // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 2. С. 21-32. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-21-32

Получена 31 мая 2022 г.
Прошла рецензирование 20 сентября 2022 г.
Принята 6 февраля 2023 г.

Резюме

Цель. Сравнительное изучение исходного материала четырех популяций родиолы розовой *Sedum roseum* (L.) Scop., относящихся к различным эколого-географическим зонам происхождения и оценка их пригодности для выращивания в условиях Нечерноземной зоны РФ.

Материалы и методы. Изучались: культивируемая популяция ВИЛАР (Алтай, 1980), культивируемая популяция из ботанического сада СГУ им. Питирима Сорокина (Сыктывкар, республика Коми), интродуцированная популяция из г. Кировск, ПАБСИ, культивируемая популяция ботанического сада г. Инсбрук, Австрия.

Результаты. Проведено морфологическое описание образцов; продуктивность сырья и семян, определены основные биологические и кариологические особенности изучаемых популяций. Результаты проведенных исследований позволили выявить популяции родиолы, характеризующиеся высокой: А и D и низкой зимостойкостью: В и С. Установлена высокая продуктивность корней и корневищ на IV году жизни у популяций С и А (30–31 г), а по содержанию действующих веществ (фенилпропаноидов) у популяции В (Коми) – 5,4%. Установлены числа хромосом (2n=22) и проведен их морфометрический анализ, составлены формулы кариотипов исследуемых популяций родиолы. Хромосомный анализ с использованием C/DAPI-дифференциального окрашивания показал, что в кариотипах не выявлены хромосомные аномалии, что свидетельствует об их стабильности.

Заключение. Морфологическая изменчивость указывает на экологическую пластичность исследуемых популяций, что свидетельствует о перспективности их возделывания в полевых условиях.

Ключевые слова
Родиола розовая, популяции, фенология, биоморфологические показатели, хромосомы, кариотип.

© 2023 Авторы. *Юг России: экология, развитие*. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

Comparative study of representatives of different populations of *Sedum roseum* (L.) Scop growing in conditions of field crop rotation

Olga M. Savchenko[1], Natalia S. Tsybulko[1] and Tatiana E. Samatadze[2]
[1]All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR), Moscow, Russia
[2]V.A. Engelhardt Institute of Molecular Biology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Principal contact
Olga M. Savchenko, Candidate of Sciences (Agriculture), Leading Researcher, Laboratory of Agrobiology, All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR); 7 Grina St, Moscow, Russia 117216.
Tel. +74957120963
Email nordfenugreek@yandex.ru
ORCID https://orcid.org/0000-0002-3054-1719

How to cite this article
Savchenko O.M., Tsybulko N.S., Samatadze T.E. Comparative study of representatives of different populations of *Sedum roseum* (L.) Scop growing in conditions of field crop rotation. *South of Russia: ecology, development.* 2023, vol. 18, no. 2, pp. 21-32. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-21-32

Received 31 May 2022
Revised 20 September 2022
Accepted 6 February2023

Abstract
Aim. Comparative study of the source material of four populations of *Sedum roseum* (L.) Scop. belonging to different ecological and geographical zones of origin and assessment of their suitability for cultivation in the conditions of the non-chernozem zone of the Russian Federation.
Materials and methods. The following populations were studied: the cultivated population of VILAR (Altai, 1980), the cultivated population of the Botanical Garden of Pitirim Sorokin Syktyvkar State University (Syktyvkar, Komi Republic), an introduced population from Kirovsk, N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute and a cultivated population of Innsbruck Botanical Garden, Austria.
Results. Morphological description of the samples was carried out and the productivity of raw materials and seeds and the main biological and karyological features of the populations studied were determined. The results of made it possible to identify Rhodiola populations characterized by high winter hardiness (A and D) and low winter hardiness (B and C). A high productivity of roots and rhizomes in the fourth year of life in populations C and A (30–31 g) was established, and in terms of the content of active substances (phenylpropanoids) in population B (Komi) – 5.4%. The numbers of chromosomes (2n=22) were determined and their morphometric analysis was carried out and formulas of karyotypes of the Rhodiola populations studied were compiled. Chromosomal analysis using C/DAPI-differential staining showed that no chromosomal abnormalities were detected in the karyotypes, which indicates their stability.
Conclusion. Morphological variability indicates the ecological plasticity of the populations studied, which indicates the prospects for their field cultivation.

Key Words
Golden root, populations, phenology, biomorphological indicators, chromosomes, karyotype.

© 2023 The authors. *South of Russia: ecology, development*. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ВВЕДЕНИЕ

Родиола розовая *Sedum roseum* (L.) Scop. – уникальное лекарственное растение семейства Толстянковые (Crassulaceae), редкий и охраняемый вид. Сырье родиолы розовой является источником для получения стимулирующих и адаптогенных лекарственных препаратов. Дикорастущие запасы родиолы розовой практически сведены к минимуму и не обеспечивают растущие потребности в сырье этой культуры [1].

Родиола розовая произрастает на территории Северной Америки, России, Монголии, Китая, Великобритании, Ирландии, в Альпах, в Пиренеях и Карпатах. Для этих экологических зон характерен холодный и умеренный климат [2]. Дизъюнктивный ареал этого растения на территории России представлен южно-сибирским, дальневосточным, северо-восточно-сибирским, восточно-сибирско-арктическим, арктическим, таймырским и уральским фрагментами. В Европе вид представлен многочисленной серией рас и разновидностей. Дифференциация морфологических признаков является результатом гибридизации растений, также морфологические признаки сильно варьируют в зависимости от происхождения и произрастания растений, поэтому разновидности следует рассматривать в рамках одного вида [3; 4].

В условиях культуры биологические и фенологические особенности растения изучались в Московской области [5; 6], на Алтае [7], в Республике Коми [4], Республике Мари-Эл [8], Поволжье [9], в Якутии [10], в Башкирии [11]. Лишь некоторые из выше перечисленных авторов затрагивали в своих работах (кроме биологических особенностей) особенности морфологии и биохимии растений из разных популяций, произрастающих в одинаковых условиях культивирования [3; 4].

Установлено, что основным числом хромосом для большинства видов родиолы является 2n=22 [12–15]. Для родиолы розовой, как высоко полиморфного циркумбореального вида основное число хромосом в кариотипе составляет также 2n=22 [16]. Однако, в популяциях внутри этого вида могут встречаться различные хромосомные расы (цитотипы) растений (2n=16; 2n=33; 2n=36), отличающиеся как числом хромосом, местом произрастания растений, так и характерными морфологическими признаками [15; 17].

На раннем этапе селекционных работ целесообразно, помимо отбора перспективных форм растений, использовать также метод первичного хромосомного анализа, основывающийся на определении числа хромосом в кариотипе. Число хромосом является первым цитологическим признаком, непосредственно связанным с эволюцией вида, так как именно через него в первую очередь отражаются все события, происходящие в эволюции вида: полиплоидизация, гибридизация, структурные преобразования хромосом, которые затем влияют на адаптационные способности организмов. Поэтому кариологический анализ является ценным инструментом и входит в разряд широко используемых методов в селекции, что позволяет решать многие спорные вопросы систематики, филогении, генезиса флоры [18; 19].

Цель исследований – оценка образцов различных популяций родиолы розовой по биолого-морфологическим признакам, а также изучение их кариологических особенностей при возделывании в Нечерноземной зоне РФ (НЧЗ РФ).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнительного изучения особенностей растений из разных мест обитания проводили их биологическое и морфологическое описание. Для описания использовали по 10 растений из каждой популяции, которые по возрастному состоянию относились к молодым генеративным особям [20; 21].

Почва участка дерново-подзолистая, тяжёлая суглинистая. Гумус (по Тюрину) – 2,23%, массовая доля азота нитратов – <2,80 млн-1, массовая доля соединений фосфора (по Кирсанову) P_2O_5 – 386,28 мг/кг, K_2O – 87,7 мг/кг (по Масловой), pH солевой – 5,15.

Опыт закладывали трехмесячной рассадой по схеме 60 × 30 см, по 25–30 шт. растений каждого образца в 2016–2018 гг. В связи с тем, что семена родиолы розовой характеризуются глубоким морфофизиологическим типом покоя, перед посевом семена стратифицировались при температуре 0–2˚С в течении 40 суток. После проведения стратификации проводился посев семян для рассады. Трехмесячная рассада высаживались на постоянное место на полевой участок.

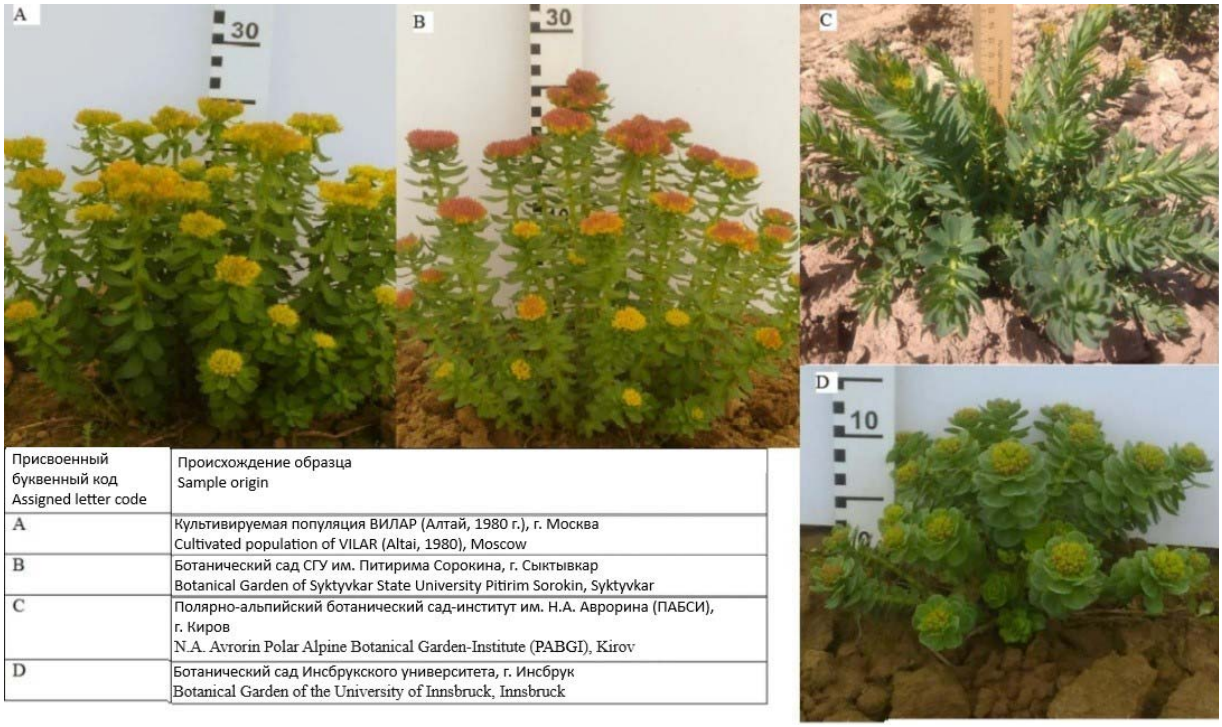
Сравнение родиолы розовой из разных популяций проводили на IV году жизни, когда растения отвечают требованиям по содержанию действующих веществ и массе подземной части [1; 5; 22]. Биометрические учеты проводили в 2019–2021 гг., в третьей декаде мая, когда растения находились в фазе массового цветения [21]; Растения оценивались по датам наступления основных фенологических фаз и по их продолжительности, по устойчивости к биотическим и абиотическим факторам, по сырьевой продуктивности подземной части и накоплению биологически активных веществ (фенилпропаноидов). Учитывалась семенная продуктивность растений [20; 21; 23].

Для определения биопродуктивности растения выкапывали в конце октября. Подземную часть отмывали от почвы, нарезали на отрезки 2–4 см, сушили в проветриваемом помещении в течение пяти дней при температуре 25°С, затем при температуре 40°С. Количественное определение фенилпропаноидов в сырье родиолы розовой (в пересчете на удельный коэффициент поглощения гидроксирозина) определяли спектрофотометрическим методом, разработанным в ВИЛАР для данной культуры [24].

Предобработку и приготовление хромосомных препаратов, анализ метафазных пластинок проводили по описанным ранее методикам приготовления и окрашивания (C-, OR-, FPG-, DAPI-бэндинги) хромосом: предобработка корневой меристемы в водном растворе 10–20 мкг/мл бромистого этидия в течение 12–24 ч при последующем окрашивании 1%-ным раствором ацетоорсеина в 45%-ной уксусной кислоте [25]. Просмотр препаратов, отбор метафазных пластинок и их анализ проводили с помощью флуоресцентного микроскопа Olimpus BX61, снабженного черно-белой ПЗС (прибор с зарядовой связью) камерой CoolSnap (Roper Scientific Inc., США). Анализировали не менее 15 выбранных метафазных пластинок с хорошим разбросом хромосом. Идентификацию хромосом в кариотипах проводили по рисунку окрашивания с

учетом морфологии и в соответствии с цитологической классификацией [26]. Полученные изображения обрабатывали, используя программы хромосомного анализа [25].

Популяциям родиолы присвоены следующие обозначения: A – культивируемая популяция ВИЛАР (происхождение – Алтай, 1980); B – культивируемая популяция из ботанического сада Сыктывкарского Государственного университета им. Питирима Сорокина (Сыктывкар, республика Коми); C – интродуцированная популяция (происхождение – Полярный Урал, 1981), культивируемая в условиях г. Кировск, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина; D – культивируемая популяция ботанического сада г. Инсбрук, Австрия (рис. 1).



Присвоенный буквенный код Assigned letter code	Происхождение образца Sample origin
A	Культивируемая популяция ВИЛАР (Алтай, 1980 г.), г. Москва Cultivated population of VILAR (Altai, 1980), Moscow
B	Ботанический сад СГУ им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар Botanical Garden of Syktyvkar State University Pitirim Sorokin, Syktyvkar
C	Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ), г. Киров N.A. Avrorin Polar Alpine Botanical Garden-Institute (PABGI), Kirov
D	Ботанический сад Инсбрукского университета, г. Инсбрук Botanical Garden of the University of Innsbruck, Innsbruck

Рисунок. 1. Общий вид четырех исследуемых популяций родиолы розовой. *Фото О.М. Савченко*
Figure 1. A common form of the four studied populations of a golden root. *Photo by O.M. Savchenko*

Выбор представителей из данных регионов обусловлен тем, что изначально предполагалось изучение большего числа растений из мест их обитания или возделывания. Однако растения, полученные из Польши, Франции, Германии и Канады, а также из некоторых ботанических садов РФ оказались: а) сильно восприимчивы к поражению почвенными патогенами в ювенильной стадии развития; б) подвержены поражению мучнистой росой при возделывании; в) в значительной степени вымерзают или выпревают (не отличались высокой зимостойкостью и морозостойкостью); г) присланные семена имели нулевую или низкую всхожесть.

Проведена статистическая обработка данных с применением программ MS Excel 2010. Внутрипопуляционная изменчивость биоморфологических признаков вычислялась с использованием коэффициента вариации (CV, %). Сравнение средних значений проведено по t-критерию Стьюдента (на 5% уровне значимости). В таблицах приведены среднеарифметические значения измеряемых величин со средней квадратической ошибкой [27].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях НЧЗ РФ растения родиолы розовой отрастают рано весной, сразу после таяния снежного покрова. Отрастание происходит во второй половине апреля и продолжается в зависимости от температуры окружающей среды от 11 до 18 суток. Бутонизация начинается в третьей декаде апреля у популяций ВИЛАР и Коми и продолжается от 3 до 8 суток. У популяции из ПАБСИ бутонизация начинается в первой декаде мая и имеет продолжительность 4–9 суток. У популяции из Австрии бутонизация отмечается 10 мая, в течение 7 суток. Цветение продолжается около двух недель. Плодоношение начинается не раньше второй половины мая, а созревание семян продолжается от 30 до 40 суток. В природных условиях из-за короткого периода вегетации родиола розовая формирует одну генерацию моноциклических побегов [28]. Растения родиолы, перенесенные из природных местообитаний, при благоприятных условиях формируют две генерации побегов: весеннюю (май) и летнюю (июль–август). Формирование побегов второй генерации зависит от погодных условий июня–июля. При сухой и жаркой погоде рост и развитие побегов замедляется преимущественно у растений родиолы розовой из северных границ ареала [3]. В нашем эксперименте растения родиолы розовой из ПАБСИ и из Австрии не сформировывали побеги второй генерации. Растения из ВИЛАР и Коми образовывали генеративные побеги второй генерации, цвели, но семена не завязывались. Продолжительность вегетационного периода зависит от условий года наблюдения и продолжается от 149 до 202 суток. Конец вегетации наступает после наступления отрицательных температур. В предыдущих исследованиях было установлено, что сроки наступления фенологических фаз и развитие растений родиолы

розовой определяются водно-температурным режимом [3–6].

Популяция A. Растение вертикальное, средней высоты (17–23 см), имеется антоциановое окрашивание первой трети побега; листья средней длины и средней ширины, не имеют антоцианового окрашивания и сизого налета, обратнояйцевидные, зубчатые около верхушки; соцветие среднего диаметра, плотное, у обоеполых растений женские цветки располагаются в центральной части соцветия. Состав популяции: ♂ – 40%, ♀ – 45%, обоеполые – 15%. Зимостойкость 90% (рис. 1).

Популяция B. Растение вертикальное, средней высоты (25–30 см), имеется антоциановое окрашивание первой трети побега; листья средней длины и средней ширины, имеют антоциановое окрашивание, не имеют сизого налета, обратнояйцевидные, зубчатость: около верхушки или отсутствует; соцветие среднего диаметра, рыхлое, у обоеполых растений женские цветки располагаются в центральной части соцветия. Плоды-многолистовки имеют антоциановое окрашивание. Состав популяции: ♂ – 30%, ♀ – 45%, обоеполые – 25%. Зимостойкость 70%. Растения подвержены выпреванию (рис. 1).

Популяция C. Растение полураскидистое, средней высоты (20–25 см), имеется антоциановое окрашивание первой трети побега; листья средней длины и средней ширины, не имеют антоцианового окрашивания и сизого налета, обратнояйцевидно-удлиненные, зубчатые около верхушки и в средней части; соцветие маленькое, рыхлое, у обоеполых растений женские цветки располагаются в центральной части соцветия. Плоды-многолистовки имеют антоциановое окрашивание. Состав популяции: ♂ – 35%, ♀ – 15%, обоеполые – 50%. Зимостойкость 75%. Растения подвержены выпреванию (рис. 1)

Популяция D. Растение полураскидистое, низкое (<20 см), отсутствует антоциановое окрашивание первой трети побега; имеется сизый налет на стеблях; листья средней длины, широкие, отсутствует антоциановое окрашивание, имеется интенсивный сизый налет, обратнояйцевидные, зубчатые около верхушки; соцветие крупное, плотное, у обоеполых растений женские цветки располагаются в центральной части соцветия. Состав популяции: ♂ – 0%, ♀ – 90%, обоеполые – 10%. Зимостойкость 90% (рис. 1).

В ходе многолетних исследований на взрослых растениях родиолы розовой исследуемых популяций не наблюдалось вредителей и болезней.

Измерения высоты вегетативных и генеративных (с учетом соцветий) побегов показали, что по этому признаку во все годы растения составляли следующий ряд по убыванию высоты: B→A→C→D. Максимальную высоту генеративных побегов имели растения группы B, а минимальную – D. Габитус растений группы D заметно компактнее, чем у прочих. Известно, что высота генеративных побегов может находиться в прямой зависимости от условий произрастания родиолы розовой. Эти различия сохраняются и при выращивании растений в культуре. Минимальные значения характерны для образцов из альпийского экотопа [4]. По количеству генеративных побегов в расчете на одно растение, группа D превосходила остальные группы на 23–39%. Анализ побегообразования показывает, что растения австрийской популяции превосходили популяции из ВИЛАР (из Алтая), из Коми и арктические (табл. 1).

Таблица 1. Изменчивость морфологических признаков растений родиолы розовой IV года жизни из разных регионов в среднем за 2019–2021 гг.
Table 1. Variability of morphological features of golden root plants of 4th year of life from different regions on average for 2019–2021

Параметры / Parameters	**Значение** Significance	**Популяция** / Population			
		A	**B**	**C**	**D**
Высота генеративного побега, см Height of the generative shoot, cm	X_{min}-X_{max}	17-23	25-30	20-25	15-18
	M±м	21±1,6	28±2,0	22±2,0	16±1,3
	Cv	20,8	21,6	20,9	15,2
Число генеративных побегов, шт. Number of generative shoots, units.	X_{min}-X_{max}	11-18	10-14	10-13	16-20
	M±м	14±1,7	13±1,5	11±1,5	18±1,7
	Cv	22,3	20,9	18,6	13,6
Число вегетативных побегов, шт. Number of vegetative shoots, units.	X_{min}-X_{max}	3-6	4-8	7-11	2-5
	M±м	4±0,8	6±1,0	9±1,5	3±0,7
	Cv	20,4	19,5	15,0	11,9
Число листьев на генеративном побеге, шт. Number of leaves on a generative shoot, pcs.	X_{min}-X_{max}	34-39	32-39	27-36	25-30
	M±м	36±2,8	36±2,4	31±2,2	28±2,0
	Cv	19,3	18,7	21,7	18,5
Длина листа из нижней части побега, см Length of leaf from lower part of shoot, cm	X_{min}-X_{max}	1,0-1,2	1,2-1,4	1,8-2,7	0,8-1,2
	M±м	1,1±0,06	1,5±0,09	2,0±0,08	1,0±0,06
	Cv	8,2	13,9	27,4	12,0
Ширина листа из нижней части побега, см Width of leaf from bottom of shoot, cm	X_{min}-X_{max}	0,6-0,9	0,7-1,0	0,5-0,8	1,2-1,8
	M±м	0,8±0,01	0,9±0,02	0,6±0,01	1,6±0,08
	Cv	18,0	22,3	28,6	25,1
Длина листа из средней части побега, см Length of leaf from middle part of shoot, cm	X_{min}-X_{max}	1,5-2,0	1,6-2,0	2,0-3,0	2,4-2,7
	M±м	1,8±0,07	1,7±0,07	2,4±0,09	2,6±0,11
	Cv	21	26	31,6	12

Ширина листа из средней части побега, см	X_{min}-X_{max}	0,7-1,0	0,6-1,0	0,4-0,8	1,0-1,6
	M±м	0,8±0,04	0,7±0,02	0,5±0,01	1,4±0,08
Width of the leaf from middle part of shoot, cm	Cv	16,5	19,7	23,3	15,8
Длина листа из верхней части побега, см	X_{min}-X_{max}	1,8-2,4	1,8-2,2	2,2-3,1	2,5-3,3
	M±м	2,1±0,12	2,0±0,10	2,6±0,11	2,7±0,09
Length of leaf from upper part of shoot, cm	Cv	25,0	34,5	28,6	22,4
Ширина листа из верхней части побега, см	X_{min}-X_{max}	0,7-1,0	0,7-1,0	0,4-0,7	1,0-1,5
	M±м	0,8±0,03	0,7±0,03	0,5±0,02	1,3±0,06
Width of the leaf from upper part of shoot, cm	Cv	13,3	16,8	10,9	10,4
Площадь ассимилирующей поверхности на растении, см²	X_{min}-X_{max}	292,1-326,8	303,7-376,8	261,7-308,2	296,6-340,9
	M±м	309,7±17,3	331,2±20,1	283,8±16,7	319,8±18,6
Area of assimilating surface on plant, cm²	Cv	32,3	34,5	40,8	33,0

Количество листьев на вегетативных и генеративных побегах было практически равным. По общему количеству листьев на побег и формаций листьев – чешуевидных и ассимилирующих на первом месте находятся растения групп A и B. Это согласуется с литературными данными о том, что в широтном направлении на север и по вертикальному профилю в горы количество листьев снижается [28] (табл. 1).

Размеры листьев мало варьировали в разные годы исследования внутри каждой группы. Изменение размеров листа в группах от арктической к европейской происходит на всех ярусах генеративного побега, однако на зрелых листьях среднего яруса это более заметно. Анализ размеров листьев среднего яруса генеративного побега показал, что во все годы исследований наибольшими по длине были листья групп C и D, наименьшими растения групп A и B. Ширина листовой пластинки у листьев верхнего и среднего яруса преобладала у растений группы D (табл. 1).

После формирования побегов растения группы B и D по площади общей листовой поверхности превосходят группу C на 16,7% и 12,6%, а группу A на 6,9% и 3,2% соответственно. Это означает, что на образование ассимилирующей поверхности растения родиолы розовой из ПАБСИ и из ВИЛАРа затрачивают меньше пластических веществ и энергии, одновременно снижается интенсивность транспирации, что важно в условиях нестабильного водообеспечения [3].

Листья родиолы розовой популяции A из срединной и верхней части побега удлиненные; край в верхней и средней части редкозубчатый. Листья в нижней части побега обратнояйцевидные, характеризуются зубчатостью края в верхней и средней части. Кончик листа заострённый. Часто можно наблюдать на верхних и серединных листьях сизый налет. Листья, вогнутые по отношению к стеблю. Листья родиолы розовой популяции B обратнояйцевидные, в верхнем ярусе – удлиненные; край мелкозубчатый, кончик листа заострённый и имеет антоциановое окрашивание. Листья по отношению к стеблю плоские или слабо вогнутые. Зубчатость отсутствует на листьях в нижней части стебля. Листья родиолы розовой популяции C удлиненно-ланцетные; края пильчатые, зубчатость заметно выражена и имеется в верхней и средней части листа. Кончик листа заострённый. Листья по отношению к стеблю плоские или слабо вогнутые. Известно, что листья родиолы розовой из арктических регионов имеют округлую форму. В нашем случае листья растений из ПАБСИ напротив, удлиненно-ланцетные. Это также может быть связано с эффектом интродукции, когда в новых условиях возрастают линейные размеры и площадь их листовых пластинок по сравнению с дикорастущими [11; 29] (рис. 2).

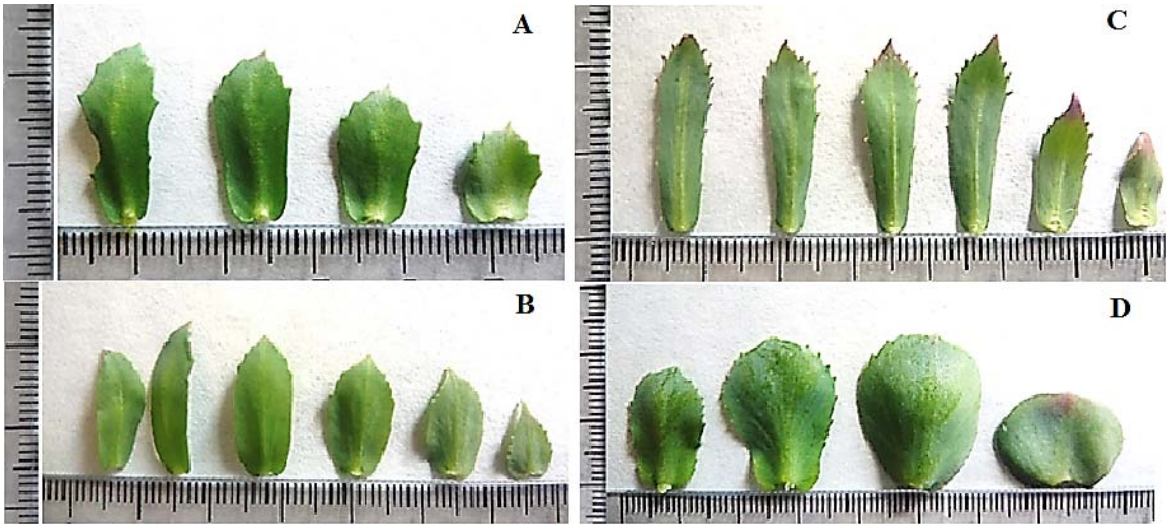


Рисунок 2. Форма листовой пластинки у образцов родиолы розовой из разных мест обитания:
A – ВИЛАР; B – Коми, C – ПАБСИ (г. Кировск), D – Австрия. *Фото О.М. Савченко*
Figure. 2. Shape of leaf plate of golden root specimens from different habitats:
A – VILAR; B – Komi, C – Kirovsk, D – Austria. *Photo by O.M. Savchenko*

Листья родиолы розовой популяции D из срединной части побега обратнояйцевидные; характеризуются зубчатостью края в верхней части. Листья из верхней части побега имеют слабо выраженную зубчатость в средней и верхней части. Листья из нижней части побега округлые, характеризуются гладким краем. На верхних и серединных листьях имеется сизый налет, на нижних часто наблюдается антоциановое окрашивание. Листья интенсивно вогнутые по отношению к стеблю (рис. 2).

Изложенные результаты по показателям листовой поверхности позволяют заключить, что растения разных географических групп при выращивании в одних и тех же условиях различаются между собой по таким морфологическим показателям, как: размер и площадь листовых пластинок, количество листьев на побеге.

Растения родиолы розовой внутри групп A, B и C разделялись на функционально мужские, женские и обоеполые. На соцветиях обоеполых растений мужские цветки располагались преимущественно по краям соцветия; они распускались в среднем на 1–2 суток раньше женских. Семенная продуктивность родиолы розовой определяются долей генеративных побегов, числом листовок в щитке генеративного побега с женским типом цветков и метеорологическими условиями вегетационного сезона [6; 28].

Мужские цветки растений группы A насыщенно-желтого цвета, женские – зеленовато желтые. Листовки в длину не превышают 0,7–0,8 см. Цветков в соцветии в среднем 48, 6 шт. Мужские цветки растений групп B и C имеют красноватое окрашивание верхней части чашелистиков и лепестков, пыльники коричневато-красные. Листовки группы B красные, длиной 0,8 см. Цветков в соцветии в среднем 49,2 шт. Цветки растений группы D зеленовато-желтого цвета, листовки зеленые, после созревания становятся бурыми, в длину составляют 0,5–0,6 см. Цветков в соцветии в среднем 42,4 шт. Растения родиолы розовой популяции ВИЛАР отличаются крупными размерами соцветия – до 4 см; немного уступают им растения популяции Коми – до 3,6 см. Наименьшие размеры имеют соцветия растений из ПАБСИ. Также растения групп A и B имеют наибольшее количество цветков в соцветии (табл. 2; рис. 3).

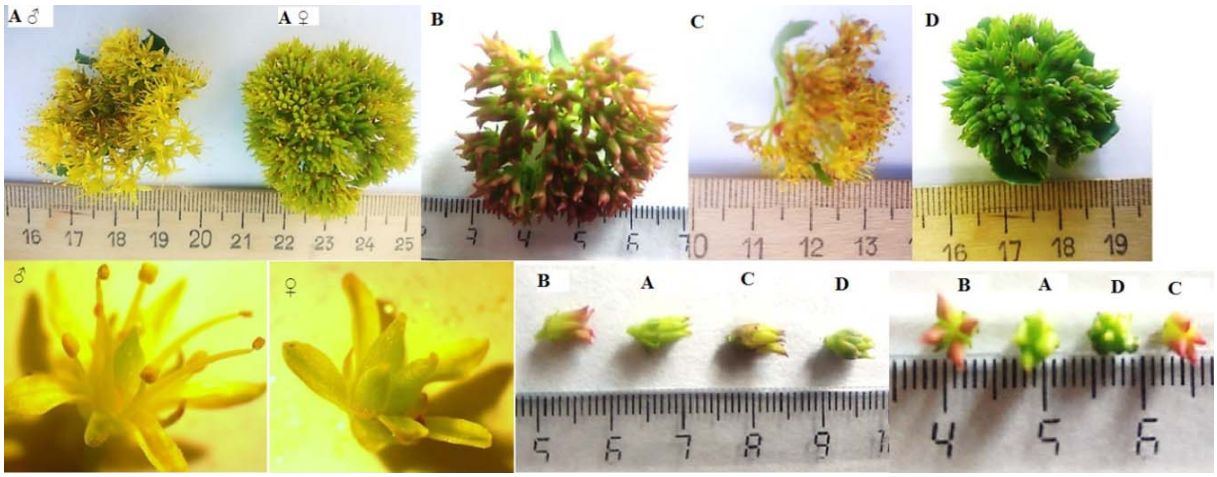


Рисунок 3. Диаметр соцветия и форма листовок у образцов родиолы розовой из разных мест обитания:
A – ВИЛАР; B – Коми, C – ПАБСИ (Кировск), D – Австрия. ♂ – цветок мужского типа, ♀ – цветок женского типа
Фото О.М. Савченко

Figure 3. Inflorescence diameter and leaflet shape in *Rhodiola rosea* specimens from different habitats:
A – VILAR; B – Komi, C – Kirovsk, D – Austria. ♂ – male-type flowers, ♀ – female-type flower
Photo by O.M. Savchenko

Наиболее высокой семенной продуктивностью отличается популяция из ВИЛАР, не зависимо от условий года наблюдения. На втором месте популяции из Коми и Австрии. Наиболее низкой семенной продуктивностью отличаются растения популяции из ПАБСИ. Это может быть связано с незначительным количеством функционально женских растений в составе возделываемой популяции; с меньшим числом генеративных побегов у одного растения и с количеством цветков в соцветии (табл. 1, 2).

При оценке четырех популяций родиолы розовой определена их сырьевая продуктивность (табл. 2).

Масса подземной части у растений родиолы розовой популяций A и C к четвертому году жизни в среднем составляла 30–31 г. Корневища с корнями у растений популяции D весили в среднем 28,5 г. Низкие значения массы корневищ с корнями у популяции из республики Коми (24,4 г) можно объяснить влиянием абиотических факторов, таких, как состав и плотность почвы, влажность и температурный режим [29].

Исследователями из Института биологии Коми НЦ УрО РАН (подзона Средней тайги) отмечено максимальное содержание фенилпропаноидов (в пересчете на розавин) в подземных органах образцов родиолы розовой из притеррасного и прируслового местообитания (р. Торговая, притеррасный экотоп и прирусловый экотоп ручья Сергей-Шор). Немного ниже были показатели у образцов с альпийских луговин (р. Пачвож, альпийская луговина). А также происходит снижение содержания биологически активных веществ по широтному принципу [1; 4].

Таблица 2. Изменчивость показателей семенной и сырьевой продуктивности у растений родиолы розовой IV года жизни из разных регионов в среднем за 2019–2021 гг.
Table 2. Variability of indicators of seed and raw material productivity of golden root plants of 4th year of life from different regions on average for 2019–2021

Параметры Parameters	**Значение** Significance	**Популяция** / Population			
		A	**B**	**C**	**A**
Диаметр соцветия, см Inflorescence diameter, cm	X_{min}-X_{max}	3,5-4,3	3,5-3,8	2,4-3,0	3,0-3,3
	M±м	4,0±0,9	3,6±0,7	2,8±0,7	3,1±0,4
	Cv	12,6	10,4	11,3	8,3
Число цветков в соцветии, шт. Number of flowers in inflorescence, units	X_{min}-X_{max}	45-50	45-50	36-42	37-44
	M±м	48,6±4,4	49,2±5,0	40,3±4,8	42,4±4,2
	Cv	34,8	36,0	40,1	28,4
Масса семян с растения, мг Weight of seeds per plant, mg	X_{min}-X_{max}	168-177	163-174	144-156	161-173
	M±м	175,6±31,4	169±27,8	149,3±21,4	165±30,8
	Cv	27,3	22,6	25,0	32,4
Воздушно-сухая масса корневищ с корнями, г Air-dry mass of rhizomes with roots, g	X_{min}-X_{max}	27-34	18-26	29-32	26-31
	M±м	30,7±4,2	24,4±2,5	31±2,8	28,5±2,6
	Cv	30,5	34,7	31,0	30,7
Содержание фенилпропаноидов в сырье, % Content of phenylpropanoids in raw materials, %	X_{min}-X_{max}	3,6-4,0	5,2-5,5	4,2-4,6	4,0-4,3
	M±м	3,9±0,7	5,4±1,0	4,4±0,9	4,1±0,9
	Cv	18,2	13,6	14,0	15,0

В нашем исследовании содержание фенилпропаноидов в сырье 2013) было наиболее высоким у популяции из республики Коми (5,4%), на втором месте популяция из ПАБСИ (4,4%), популяции из Австрии и ВИЛАР содержат, соответственно 4,1% и 3,9% фенилпропаноидов в сырье (табл. 2).

На основании полученных данных можно предположить, что в условиях агроценоза Нечерноземной зоны группы родиолы розовой накапливают биологически активные вещества следующим образом: наибольшее количество у образцов из Коми и ПАБСИ, немного меньше у растений из ботанического сада г. Инсбрук (долина реки) и у культивируемой популяции. Это может быть обусловлено как реакцией растений на состав почвы, так и погодными условиями и согласуется с предыдущими исследованиями [1; 4].

Морфометрический анализ хромосом четырех популяций родиолы розовой (2n=22) показал, что кариотипы у всех изучаемых популяций содержат 11 пар мелких хромосом (1,7–3,4 мкм). Кариотипы представлены, в основном, метацентрическими хромосомами и наличием двух пар спутничных хромосом (3 и 10) у всех изученных популяций. На основании морфометрического анализа составлены формулы кариотипов изучаемых популяций родиолы розовой: $K= (14m + 4sm +4s^t)$ (табл. 3).

Таблица 3. Морфометрическая характеристика хромосом изучаемых популяций родиолы розовой (*Sedum roseum* (L.) Scop. L.)
Table 3. Morphometric characteristics of chromosomes of the studied populations of golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop. L.)

Абсолютная длина хромосом, мкм Absolute length of chromosomes, microns	**Длина короткого плеча, мкм** Short arm length, microns	**Центромерный индекс, Ic, %** Centromeric index, Ic, %	**Тип хромосом** Chromosome type	**Формула Кариотипа** Karyotype formula
Популяция А (2n=22)* / Population A (2n=22)				
3.2	1.5	43.7	M	
2.9	1.4	44.8	M	
2.8	0.9	36.0	SM	
2.6	0.9	36.0	SM	
2.4	1.1	45.0	M	
2.4	1.1	45.0	M	**$K= (14m + 4sm +4s^t)$**
2.4	1.0	42.8	M	
2.4	1.0	42.4	M	
1.9	0.7	42.0	SM	
1.9	0.6	36.0	SM	
1.9	0.9	40.3	M	
Популяция В (2n=22) / Population B (2n=22)				
3.3	1.5	45.3	M	
2.9	1.4	47.9	M	
2.6	0.9	34.7	SM	
2.6	0.9	34.6	SM	**$K= (14m + 2sm + 4s^t)$**
2.5	1.1	43.6	M	
2.5	1.1	44.0	M	
2.41	1.2	49.7	M	

2.4	1.2	49.5	M	
2.1	0.7	44.0	SM	
2.0	0.7	36.0	SM	
1.8	0.9	38.2	M	
Популяция C (2n=22) / Population C (2n=22)				
3.0	1.5	48.0	M	**K= (14m + 2sm + 4s^t)**
3.0	1.5	48.0	M	
2.7	0.9	36.0	SM	
2.6	0.9	34.7	SM	
2.6	1.3	46.7	M	
2.5	1.2	47.4	M	
2.5	1.2	48.0	M	
1.8	0.7	42.0	SM	
1.7	0.6	36.0	SM	
1.7	0.8	46.2	M	
Популяция D (2n=22) / Population D (2n=22)				
3.4	1.6	47.0	M	**K= (14m + 2sm + 4s^t)**
2.9	1.4	48.2	M	
2.6	0.9	36.0	SM	
2.6	0.7	34.7	SM	
2.5	1.2	46.8	M	
2.5	1.2	47.4	M	
2.5	1.2	48.0	M	
1.8	0.7	42.0	SM	
1.7	0.6	36.0	SM	
1.7	0.8	46.2	M	
3.4	1.6	47.0	M	
2.9	1.4	48.2	M	

**Примечание: 2n – число хромосом; M – метацентрическая хромосома, SM – субметацентрическая хромосома, s^t – спутничная хромосома*

**Note: 2n – the number of chromosomes; M – the metacentric chromosome, SM – the submetacentric chromosome, s^t – the satellite chromosome*

Спутничные хромосомы имели вторичную перетяжку в прицентромерном районе и сходный рисунок C/DAPI-окраски (рис. 4). Крупные гетерохроматические (ГХ) блоки расположены в прицентромерных районах хромосом, а средние и небольшие C/DAPI-бэнды – преимущественно в теломерных и интеркалярных районах. В кариотипах всех изучаемых популяций родиолы розовой не выявлены хромосомные аномалии.

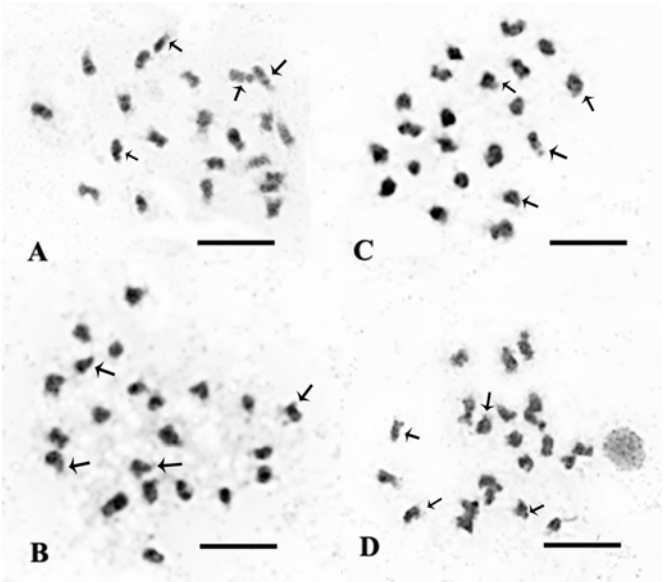


Рисунок 4. C/DAPI-дифференциально окрашенные метафазные пластинки хромосом изучаемых популяций родиолы розовой (*Sedum roseum* (L.) Scop. L.): A – ВИЛАР; B – Коми; C – ПАБСИ (Кировск); D – Австрия (2n=22). *Стрелками означены спутничные хромосомы в кариотипах. (Фото Т.Е. Саматадзе)*

Figure 4. C/DAPI-differentially colored metaphase plates of chromosomes of the studied populations of golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop. L.): A – VILAR; B – Komi; C – Kirovsk; D – Austria (2n=22)
The arrows indicate satellite chromosomes in karyotypes. Photo by T.E. Samatadze

Незначительный полиморфизм C/DAPI-бэндов был обнаружен на хромосомах изученных популяций родиолы розовой. В их кариотипах была выявлена наибольшая вариабельность размеров у DAPI-бэндов, прилегающих к вторичной перетяжке и размерам спутничной нити. Эти результаты, как правило, связывают с изменчивостью числа рибосомных генов и их различной функциональной активностью [30–32].

Установлено, что по рисунку окрашивания кариотип родиолы розовой из ПАБСИ (C), в целом, содержит больше ГХ, чем кариотипы других исследуемых популяций родиолы (рис. 6). Это различие обусловлено наличием более крупных по размерам околоцентромерных и теломерных C/DAPI-бэндов. Зависимость полиморфизма C/DAPI-блоков хромосом от места произрастания сортов и популяций растений отмечалась и ранее [33–35].

Такая картина распределения ГХ в популяциях родиолы розовой может быть связана, как с адаптационными, так и функциональными процессами генетической и эпигенетической геномной изменчивости родиолы, интродуцированной из различных эколого-географических зон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам исследования, устойчивость растений изучаемых популяций может считаться высокой. Наиболее устойчивыми являются группы A и D. Морфологическая изменчивость указывает на экологическую пластичность исследуемых популяций, что свидетельствует о перспективности их возделывания в полевых условиях. Анализ вариабельности большого числа количественных признаков у растений родиолы розовой позволяет сделать вывод, что в пределах изучаемых популяций имеются резервы для отбора перспективных номеров. При этом следует учитывать, что показатели популяций родиолы из Коми (B), ПАБСИ (C) и из Австрии (D) могут быть следствием интродукционного эффекта и требуют дальнейшего изучения. В кариотипах всех изучаемых популяций родиолы определены числа хромосом (2n=22), в кариотипах не выявлены хромосомные аномалии, что свидетельствует об их стабильности. Различная картина распределения ГХ в кариотипах популяций родиолы розовой может быть связана, как с адаптационными, так и функциональными процессами генетической и эпигенетической геномной изменчивости родиолы, интродуцированной из различных эколого-географических зон.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования проводились с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекция ФГБНУ ВИЛАР» в рамках госзадания по теме «Формирование, сохранение и изучение биоколлекций генофонда различного направления с целью сохранения биоразнообразия и использования их в технологиях здоровьесбережения (№ FGUU-2022-0014).

ACKNOWLEDGEMENT

The studies were carried out using bio-objects of the Unique scientific installation "Biocollection of FSBSI VILAR" within the framework of the state task on the topic "Formation, preservation and study of biocollections of the gene pool of various directions in order to preserve biodiversity and use them in health-saving technologies (No. FGUU-2022-0014).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куркин В.А. Родиола розовая (золотой корень): стандартизация и создание лекарственных препаратов. Монография (2-е издание, переработанное и дополненное). СГМУ. Самара: ООО «Офорт», 2020. 240 с.
2. Заушинцева А.В., Брюхачев Е.Н. Многофункциональное значение родиолы розовой // Материалы научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке», Санкт-Петербург, 13–15 ноября, 2019. С. 191–195.
3. Далькэ И.В., Головко Т.К. Морфофизиологическая характеристика уральских и арктических растений *Rhodiola rosea* (*Crassulaceae*) при выращивании в подзоне Средней тайги // Растительные ресурсы. 2005. Т. 41. N 4. С. 1–11.
4. Полетаева И.И., Володина С.О., Володин В.В. Изучение индивидуальной изменчивости растений *Rhodiola rosea* L. в целях отбора ценных генотипов для микроклонального размножения // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. N 3-2. С. 769–775.
5. Атлас лекарственных растений России: монография; изд. 2-е перераб. и дополненное. Под общ. ред. Н.И. Сидельникова. М.: Наука, 2021. С. 446–449.
6. Савченко О.М., Бабаева Е.Ю. Изучение фенологии и семенной продуктивности растений родиолы розовой в Центральном районе Нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 1. С. 26–35. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-98-109
7. Ким Е.Ф. Опыт выращивания родиолы розовой в низкогорьях Алтая // Растительные ресурсы. 1976. N 12. С. 583–590.
8. Шарыгина Ю.М. Опыт выращивания родиолы розовой в ботаническом саду Марийского государственного технического университета // Лесной журнал. 2004. N 1. С. 15–18.
9. Астафьев М.В., Саксонов С.В. Эколого-морфологическое изучение родиолы розовой, произрастающей в Самарской области // Самарская Лука: Бюл. 2007. Т. 16. N 1-2 (19-20). С. 283–288.
10. Иванова Н.С. Интродукция *Rhodiola rosea* L. в Центральной Якутии // Научный журнал КубГАУ. 2015. N 114 (10). URL: http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/ (дата обращения: 02.09.2021)
11. Ишмуратова М.И., Сацыперова И.Ф. Начальные этапы онтогенеза и некоторые биологические особенности развития *Rhodlola rosea* L. и *R. iremelica* Boriss., интродуцированных в Башкирию // Растительные ресурсы. 1998. Т. 34. N 4. С. 3–11.
12. Uhl C.H. Heteroploidy in *Sedum rosea* (L.) Scop. // Evolution. 1952. N 6 (1). P. 81–86. DOI: 10.23072405505
13. Болховских З.В., Гриф В.Г., Захарьева О.И., Матвеева Т.С. Хромосомные числа цветковых растений / Под редакцией А.А. Федорова. Ботанический институт им. В.Л. Комарова АН СССР. Л.: Наука, 1969. 928 с.
14. Агапова Н.Д., Архарова К.Б., Вахтина Л.И., Земскова Е.А., Тарвис Л.В. Числа хромосом цветковых растений флоры СССР: семейства *Aceraceae-Menyanthaceae*. Л.: Наука, 1990. 509 с.
15. Пробатова Н.С., Соколовская А.П., Рудыка Э.Г., Шаталова С.А. Числа хромосом видов растений из бассейна реки Раздольная (Суйфун) в Приморском крае // Ботанический журнал. 2000. Т. 85. N 12. С. 102–107.
16. Uhl C.H., Moran R. Chromosomes of *Crassulaceae* from Japan and South Korea // Cytologia. 1972. N 37. P. 59–81.
17. Taylor R.L., Mulligan G.A. Flora of the Queen Charlotte Islands. Part 2. Cytological Aspects of the Vascular Plants. Ottawa, 1968.
18. Майр Э. Популяция, виды и эволюция. М.: Мир, 1974. 460 с.
19. Бадаева Е.Д., Салина Е.А. Структура генома и хромосомный анализ растения // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. N 4/2. С. 1017–1043.
20. Требования к оформлению полевых опытов во Всероссийском научно-исследовательском институте лекарственных и ароматических растений. М.: ВИЛАР, 2006. 25 с.

21. Цицилин А.Н., Ковалев Н.И., Коротких И.Н., Кудринская (Басалаева) И.В., Бабенко Л.В., Савченко О.М., Хазиева Ф.М. Методика исследований при интродукции лекарственных и эфирномасличных растений. (2-е издание, переработанное и дополненное). Москва: Наука, 2022. 64 с.
22. Саматадзе Т.Е., Савченко О.М. Цитогенетическиеособенности родиолы розовой при выращивании в Нечерноземной зоне России // Аграрная Россия. 2021. N 12. С. 21–25. DOI:10.30906/1999-5636-2021-12-21-25
23. Бушковская Л.М., Пушкина Г.П., Масляков В.Ю., Сидельников Н.И. Биологический фактор в агроценозах лекарственных культур как основа экологизированной защиты от вредных организмов. М.: ВИЛАР, 2015. 140 с.
24. Цыбулько Н.С., Савина Т.А. Методика количественного определения фенилпропаноидов в клеточной культуре *Rhodiola rosea* // Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 95-летию со дня рождения проф. А.И. Шретера «От растения к препарату: традиции и современность», Москва, 23–24 апреля 2014. С. 48–52.
25. Муравенко О.В., Зеленин А.В. Исследование хромосомной организации геномов мелкохромосомных растений // Генетика. 2009. N 45 (11). С. 1516–1529.
26. Агапова Н.Д., Гриф В.Г. О хромосомной терминологии // Ботанический журнал. 1982. N 67 (9). С. 123–127.
27. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
28. Фролов Ю.М., Полетаева И.И. Родиола розовая на Европейском Северо-Востоке. Екатеринбург: РАН. Урал. отд-ние. Коми науч. центр. Ин-т биологии, 1998. 192 с.
29. Карпун Ю.Н. Основы интродукции растений // Hortus Botanicus. 2004. N 2. С. 17–32.
30. Дмитриева С.А., Парфенов В.И. Кариология флоры как основа цитогенетического. Минск: Наука и техника, 1991. 231 с.
31. Седельникова Т.С., Муратова Е.Н. Кариологические особенности сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica du tour*) на болотах Западной Сибири // Экология. 2002. N 5. С. 323–328.
32. Samatadze T.E., Zoshchuk S.A., Khomik A.S., Amosova A.V., Svistunova N.Yu., Suslina S.N., Hazieva F.M., Yurkevich O.Yu., Muravenko O.V. Molecular cytogenetic characterization, leaf anatomy and ultrastructure of the medicinal plant *Potentilla alba* L. // Genet Resour Crop Evol. 2018. DOI:10.1007/s10722-018-0640-7
33. Badaeva E.D., Boguslavsky R.L., Badaev N.S., Zelenin A.V. Intraspecific chromosomal polymorphism of *Triticum araraticum* (*Poaceae*) detected by C-banding technique // Plant Systematics and Evolution. 1990. N 169. P. 13–24
34. Samatadze T.E., Muravenko O.V., Popov K.V., Zelenin A.V. Genome comparison of the *Matricaria chamomilla* L. varieties by the chromosome C- and OR-banding patterns // Caryologia. 2001. N 54 (4). P. 299–306. DOI:10.1080/00087114.2001.10589240
35. Саматадзе Т.Е., Зеленин А.В., Суслина С.Н., Амосова А.В., Попов К.В., Загуменникова Т.Н., Цицилин А.Н., Быков В.А., Муравенко О.В. Сравнительная цитогенетическая характеристика форм *Macleaya cordata* (Willd.) R. Br. из различных мест произрастания // Генетика. 2012. N 48 (1). С. 72–79 DOI:10.1134/S1022795412010164

REFERENCES

1. Kurkin V.A. *Rodiola rozovaya (zolotoj koren'): standartizaciya i sozdanie lekarstvennyh preparatov* [*Rhodiola rosea* (golden root): standardization and creation of medicines]. Samara, OOO «Ofort» Publ., 2020, 2nd ed., 240 p. (In Russian)
2. Zaushinceva A.V., Bryuhachev E.N. Mnogofunktsional'noe znachenie rodioly rozovoi [Multifunctional value of *Rhodiola rosea*]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke», Sankt-Peterburg, 13–15 noyabrya, 2019* [Proceedings of the Scientific and Technical Conference “Low-temperature and food technologies in the XXI century”, St. Petersburg, 13–15 November, 2019]. Saint Petersburg, 2019, pp. 191–195 (In Russian)
3. Dal'ke I.V., Golovko T.K. Morphophysiological characteristics of Ural and Arctic plants *Rhodiola rosea* (*Crassulaceae*) when grown in the Middle taiga subzone. Rastitel'nye resursy [Rastitelnye resursy]. 2005, vol. 41, no. 4, pp. 1–11. (In Russian)
4. Poletaeva I.I., Volodina S.O., Volodin V.V. Studying the individual variability of *Rhodiola rosea* L. plants for selection the valuable genotypes for microclonal reproduction. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2013, no. 15 (3-2), pp. 769–775. (In Russian)
5. Sidel'nikov N.I., ed. *Atlas lekarstvennykh rastenii Rossii* [Atlas of medicinal plants of Russia]. Moscow, Nauka Publ., 2021, 2nd ed., pp. 446–449. (In Russian)
6. Savchenko O.M., Babaeva E.Yu. Study of the phenology and seed productivity of *Rhodiola rosea* plants in the Central region of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *South of Russia: ecology, development,* 2021, vol. 16, no. 1, pp. 26–35. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-98-109
7. Kim E.F. The experience of growing *Rhodiola rosea* in the low mountains of Altai. Rastitel'nye resursy [Rastitelnye resursy]. 1976, no. 12, pp. 583–590. (In Russian)
8. Sharygina Yu.M. The experience of growing *Rhodiola rosea* in the botanical garden of the Mari State Technical University. Lesnoi zhurnal [Russian Forestry Journal]. 2004, no. 1, pp. 15–18. (In Russian)
9. Astaf'ev M.V., Saksonov S.V. Ecological and morphological study of *Rhodiola rosea* growing in the Samara region. Samarskaya Luka [Samarskaya Luka]. 2007, vol. 16, no. 1-2 (19-20), pp. 283–288. (In Russian)
10. Ivanova N.S. [Introduction of *Rhodiola rosea* L. in Central Yakutia]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*, 2015, no. 114 (10). (In Russian) Available at: http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/ (accepted 02.09.2021)
11. Ishmuratova M.I., Sacyperova I.F. Initial stages of ontogenesis and some biological features of the development of *Rhodiola rosea* L. and *R. iremelica* Boriss. introduced into Bashkiria. Rastitel'nye resursy [Rastitelnye resursy]. 1998, vol. 34, no. 4, pp. 3–11. (In Russian)
12. Uhl C.H. Heteroploidy in *Sedum rosea* (L.) Scop. *Evolution*, 1952, no. 6 (1), pp. 81–86. DOI: 10.23072405505
13. Bolkhovskikh Z., Grif V., Matvejeva T., Zakharyeva O. *Khromosomnye chisla tsvetkovykh rastenii* [Chromosome numbers of the flowering plants]. Leningrad, Nauka Publ., 1969, 926 p. (In Russian)
14. Agapova N.D., Arkharova K.B.,Vakhtina L.I., Zemskova E.A., Tarvis L.V. *Chisla khromosom tsvetkovykh rastenii flory SSSR: cemeistva Aceraceae-Menyanthaceae* [Chromosome numbers in flowering plants of the flora of the U.S.S.R. *Aceraceae-Menyanthaceae*]. Leningrad, Nauka Publ., 1990, 509 p. (In Russian)
15. Probatova N.S., Sokolovskaya A.P., Rudyka E.G., Shatalova S.A. Chromosome numbers in plant species from the Razdoljnaya (Suifun) River basin in the Primorsky Territory. Botanicheskiy Zhurnal [Botanical Journal]. 2000, no. 85 (12), pp. 102–107. (In Russian)
16. Uhl C.H., Moran R. Chromosomes of *Crassulaceae* from Japan and South Korea. Cytologia [Cytologia]. 1972, no. 37, pp. 59–81.
17. Taylor R.L., Mulligan G.A. Flora of the Queen Charlotte Islands. Part 2. Cytological Aspects of the Vascular Plants. Ottawa, 1968.
18. Majr E. *Populyatsiya, vidy i evolyutsiya* [Population, species and evolution]. Moscow, Mir Publ., 1974, 460 p. (In Russian)
19. Badaeva E.D., Salina E.A. Genome structure and chromosomal analysis of a plant. Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii [Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding]. 2013, no. 17 (4/2), pp. 1017–1043. (In Russian)

20. *Trebovaniya k oformleniyu polevykh opytov vo Vserossiiskom nauchno-issledovatel'skom institute lekarstvennykh i aromaticheskikh rastenii* [Requirements for the design of field experiments at the All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants]. Moscow, VILAR Publ., 2006, 25 p. (In Russian)
21. Tsitsylin A.N., Kovalev N.I., Korotkikh I.N., Kudrinskaya (Basalaeva) I.V., Babenko L.V., Savchenko O.M., Khazieva F.M. *Metodika issledovanii pri introduktsii lekarstvennykh i efirnomaslichnykh rastenii. (2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe)* [Research methodology for the introduction of medicinal and essential oil plants. (2nd edition, revised and enlarged)]. Moscow, Nauka Publ., 2022, 64 p. (In Russian)
22. Samatadze T.E., Savchenko O.M. Cytogenetic peculiarities of *Rhodiola rosea* in cultivation in the Non-Chernozem zone of Russia. *Agrarian Russia*, 2021, no. 12, pp. 21–25. (In Russian) DOI: 10.30906/1999-5636-2021-12-21-25
23. Bushkovskaya L.M., Pushkina G.P., Maslyakov V.YU., Sidel'nikov N.I. *Biologicheskii faktor v agrotsenozakh lekarstvennykh kul'tur kak osnova ekologizirovannoi zashchity ot vrednykh organizmov* [Biological factor in agrocenoses of medicinal crops as the basis of ecologized protection from harmful organisms]. Moscow, VILAR Publ., 2015, 140 p. (In Russian)
24. Cybul'ko N.S., Savina T.A. Metodika kolichestvennogo opredeleniya fenilpropanoidov v kletochnoi kul'ture Rhodiola rosea [Method of quantitative determination of phenylpropanoids in *Rhodiola rosea* cell culture] *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 95-letiyu so dnya rozhdeniya prof. A.I. Shretera «Ot rasteniya k preparatu: traditsii i sovremennost'», Moskva, 23–24 aprelya 2014* [Proceedings of all-Russian Conference with international participation dedicated to the 95th anniversary of the birth of Professor A. I. Schroeter "From plant to drug: traditions and modernity", Moscow, 23–24 April, 2014]. Moscow, 2014, pp. 48–52. (In Russian)
25. Muravenko O.V., Zelenin A.V. Investigation of the chromosomal organization of the genomes of small-chromosomal plants. Genetika [Genetics]. 2009, no. 45 (11), pp. 1516–1529. (In Russian)
26. Agapova N.D., Grif V.G. On chromosomal terminology. Botanicheskiy zhurnal [Botanical Journal]. 1982, no. 67 (9), pp. 123–127. (In Russian)
27. Zaitsev G.N. *Matematika v eksperimental'noi botanike* [Mathematical analysis of biological data]. Moscow, Nauka Publ., 1991, 184 p. (In Russian)
28. Frolov Yu.M., Poletaeva I.I. *Rodiola rozovaya na Evropeiskom Severo-Vostoke* [*Rhodiola rosea* in the European Northeast]. Yekaterinburg, RAS. Ural. otd-nie. Komi Scientific Center. Institute of Biology Publ., 1998, 192 p. (In Russian)
29. Karpun Yu.N. The main problems of introduction. Hortus Botanicus. 2004, no. 2, pp. 17–32. (In Russian)
30. Dmitrieva S.A., Parfenov V.I. *Kariologiya flory kak osnova tsitogeneticheskogo* [Flora karyology as the basis of cytogenetic monitoring]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1991, 231 p. (In Russian)
31. Sedel'nikova T.S., Muratova E.N. Karyological features of siberian cedar pine (*Pinus sibirica* du tour) in the marshes of Western Siberia. Ekologiya [Ecology]. 2002, no. 5, pp. 323–328. (In Russian)
32. Samatadze T.E., Zoshchuk S.A., Khomik A.S., Amosova A.V., Svistunova N.Yu., Suslina S.N., Hazieva F.M., Yurkevich O.Yu., Muravenko O.V. Molecular cytogenetic characterization, leaf anatomy and ultrastructure of the medicinal plant *Potentilla alba* L. *Genet Resour Crop Evol*., 2018. DOI: 10.1007/s10722-018-0640-7
33. Badaeva E.D., Boguslavsky R.L., Badaev N.S., Zelenin A.V. Intraspecific chromosomal polymorphism of *Triticum araraticum* (*Poaceae*) detected by C-banding technique. Plant Systematics and Evolution, 1990, no. 169, pp. 13–24.
34. Samatadze T.E., Muravenko O.V., Popov K.V., Zelenin A.V. Genome comparison of the *Matricaria chamomilla* L. varieties by the chromosome C- and OR-banding patterns. *Caryologia*, 2001, no. 54 (4), pp. 299–306. DOI: 10.1080/00087114.2001.10589240
35. Samatadze T.E., Zelenin A.V., Suslina S.N., Amosova A.V., Popov K.V., Zagumennikova T.N., Cicilin A.N., Bykov V.A., Muravenko O.V. Comparative cytogenetic study of the forms of *Macleaya cordata* (Willd.) R. Br. from different localities. *Russian Journal of Genetics*, 2012, no. 48 (1), pp. 72–79. DOI: 10.1134/S1022795412010164

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга М. Савченко проводила полевые опыты, включающие фенологические и морфометрические наблюдения, проводила учеты и уборку семян и корневищ с корнями, проанализировала данные, написала рукопись. Наталья С. Цыбулько проводила биохимические анализы; Татьяна Е. Саматадзе осуществила кариологические исследования. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga M. Savchenko conducted field experiments, including phenological and morphometric observations, carried out records and harvesting of seeds and rhizomes with roots, analyzed data and wrote the manuscript. Natalia S. Tsybulko conducted biochemical analyses. Tatiana E. Samatadze carried out karyological studies. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ольга М. Савченко / Olga M. Savchenko http://orcid.org/0000-0002-3054-1719
Наталья С. Цыбулько / Natalia S. Tsybulko http://orcid.org/0000-0001-9542-5017
Татьяна Е. Саматадзе / Tatiana E. Samatadze http://orcid.org/0000-0002-1012-3560