

## СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

## PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-865

УДК 633.88:631.527.7



Научная статья

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ С *POLEMONIUM CAERULEUM* L.

Ф.М. Хазиева, И.Н. Коротких, И.В. Басалаева, Т.Е. Саматадзе

**Обоснование.** Методы искусственной полиплоидизации недостаточно используются в лекарственном растениеводстве. Использование колхицина вызывает явные морфологические изменения у полученных полиплоидов *P. caeruleum* и изменения показателей продуктивности сырья и семян. Исследование проводилось в НИИ ВИЛАР, Московский регион.

**Цель.** На основании сравнительных биолого-морфологических и хозяйственно-ценных признаков диплоидных и тетраплоидных форм лекарственного растения синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.) провести идентификацию и оценку полученных полиплоидных форм как исходного материала в селекционной работе.

**Материалы и методы.** Впервые полиплоидные растения *P. caeruleum* получены в 2019 году. В 2021-2022 гг. (на 2-й и 3-й год вегетации) в поколении С2, были изучены биолого-морфологические и хозяйственно-ценные признаки колхицин индуцированных тетраплоидных растений. Контроль (исходная форма) – культивируемый сорт «Лазурь».

**Результаты.** Впервые дана оценка хозяйственно-биологических и морфологических показателей исходного материала лекарственной культуры синюхи голубой, полученного на основе колхицин-индуцированных тетраплоидных растений. Хозяйственно-биологические показатели исходного материала выше, чем в контроле: по урожайности сырья (корневища с корнями) - на 21-52 % и по урожайности семян - на 44-53 %. По содержанию суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на  $\beta$ -эцин тетраплоидные растения соответствовали требованиям фармакопейной статьи (не менее 10 %). Наиболее высокое содержание биологически активных веществ превышало контроль на 14-15 %.

Получены также биометрические и описательные данные по высоте, размеру и форме соцветий и листьев, толщине стебля, окраске частей растения, в том числе по выраженности антоцианового окрашивания. Эти отличительные морфологические характеристики легко идентифицируются и могут быть использованы для предварительной оценки предполагаемых полиплоидных форм *P. caeruleum*. Тетраплоидные растения имеют многочисленные побеги с антоцианово-окрашенным стеблем большей толщины, чем у контрольных растений. Изучение морфологических признаков показало, что колхицин-индуцированные растения низкорослые – до 86 % ниже контрольных растений. Соцветия также меньше размером, но более плотные и разветвленные, чем в контроле. Листья у тетраплоидов крупнее, имеют темно-зеленую окраску листовой пластинки. Превышение над контролем по длине стеблевых листьев составляло 12-32 %, по ширине листьев – 7-25 %. Семян формировалось меньше, но они были крупнее. Масса 1000 семян увеличилась на 5,5 % по сравнению с контролем.

**Заключение.** В результате исследований по комплексу биоморфологических и хозяйственно-биологических признаков выделены перспективные номера синюхи голубой для дальнейшей селекционной работы. Результаты исследования актуальны для создания новых высокопродуктивных сортов лекарственной культуры синюхи голубой.

**Ключевые слова:** синюха голубая; лекарственные растения; биоморфологические признаки; урожайность сырья и семян; содержание тритерпеноидов; колхицин-индуцированные растения; селекция

**Для цитирования.** Хазиева Ф.М., Коротких И.Н., Басалаева И.В., Саматадзе Т.Е. Некоторые аспекты селекционной работы с *Polemonium caeruleum* L. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 254-273. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-865

Original article

## SOME ASPECTS OF BREEDING WITH *POLEMONIUM CAERULEUM* L.

*F.M. Khazieva, I.N. Korotkikh, I.V. Basalaeva, T.E. Samatadze*

**Background.** Methods of artificial polyploidization are not used enough in medicinal crop production. The use of colchicine causes obvious morphological changes in the obtained *P. caeruleum* polyploids and changes in the productivity of

raw materials and seeds. The research was conducted at the All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal Plants, Moscow region.

**Purpose.** Based on comparative biological, morphological and economically valuable features of diploid and tetraploid forms of the medicinal plant *Polemonium caeruleum* L. to identify and evaluate the obtained polyploid forms as a initial material in breeding.

**Materials and methods.** Polyploid plants of *P. caeruleum* were obtained for the first time in 2019 [6, 14]. In 2021-2022 (in the 2nd and 3rd year of vegetation) in generation C2, the biological, morphological and economically valuable signs of colchicine-induced tetraploid plants were studied. The control (initial form) is the cultivated variety "Lazur".

**Results.** For the first time, an assessment of the economic, biological and morphological parameters of the initial material of the medicinal culture of *P. caeruleum* obtained on the basis of colchicine-induced tetraploid plants is given. The economic and biological indicators of the initial material are higher than in the control: in terms of the yield of raw materials (rhizomes with roots) - by 21-52% and in terms of seed yield - by 44-53%. In terms of the amount of triterpene saponins in terms of  $\beta$ -escin, tetraploid plants met the requirements of the pharmacopoeia article (at least 10 %). The highest content of biologically active substances exceeded the control by 14-15 %.

Biometric and descriptive data were also obtained on the height, size and shape of inflorescences and leaves, stem thickness, color of plant parts, including the severity of anthocyanin staining. These distinctive morphological characteristics are easily identified and can be used for a preliminary assessment of the putative polyploid forms of *P. caeruleum*. Tetraploid plants have numerous shoots with anthocyanin-colored stems of greater thickness than those of control plants. The study of morphological features showed that colchicine-induced plants are stunted – up to 86% lower than control plants. The inflorescences are also smaller in size, but more dense and branched than in the control. The leaves of tetraploids are larger, have a dark green color of the leaf blade. The excess over the control in the length of the stem leaves was 12-32 %, in the width of the leaves – 7-25 %. Fewer seeds were formed, but they were larger. The weight of 1000 seeds increased by 5.5 % compared to the control.

**Conclusion.** As a result of research on a complex of biomorphological and economic and biological signs, promising numbers of *P. caeruleum* have been identified for further breeding work. The results of the study are relevant for the creation of new highly productive varieties of the *P. caeruleum* medicinal culture.

**Keywords:** *P. caeruleum*; medicinal plants; biomorphic signs; yield of raw materials and seeds; triterpenoid content; colchicine-induced plants; breeding

**For citation.** Khazieva F.M., Korotkikh I.N., Basalaeva I.V., Samatadze T.E. Some Aspects of Breeding with *Polemonium caeruleum* L. Siberian Journal of Life

*Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 254-273. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-865*

## Введение

Синюха голубая (*Polemonium caeruleum* L.) – многолетнее травянистое растение рода *Polemonium*, семейства Синюховые (*Polemoniaceae*). В России сырье синюхи, корневища с корнями синюхи – (*Polemonii caerulei rhizomata cum radicibus*), включено в Государственную фармакопею в качестве отхаркивающего средства [3].

Большинство литературных источников отмечают седативное, ранозаживляющее, адаптогенное, противоопухолевое, кровоостанавливающее, противовоспалительное и антибактериальное действие препаратов синюхи голубой [5; 7]. В селекционной работе широко используются полиплоиды. Полиплоидная селекция является эффективным методом по сравнению с мутационной селекцией и обычным скрещиванием благодаря простоте обработки в течение короткого промежутка времени [22; 28]. В отличие от мутационной селекции, которая включает мутацию гена, искусственная полиплоидизация вызывает изменение всего генома, что приводит к большим фенотипическим вариациям [12; 29]. Наиболее распространенным веществом, приводящим к появлению полиплоидных форм растений, является колхицин ( $C_{22}H_{25}NO_6$ ) – алкалоид растительного происхождения, первоначально извлеченный из *Colchicum autumnale* L. (крокус осенний, безвременник осенний, шафран луговой).

Известно, что наряду с увеличением размеров различных вегетативных и репродуктивных частей у тетраплоидных растений, полученных методом колхицинирования, может наблюдаться стерильность, задержка цветения, увеличение диаметра цветка и различная деформация цветков, иногда повышается холодостойкость [11; 23]. Кроме полиплоидизации всего растения, в ряде случаев представляют интерес его отдельные полиплоидные ткани и органы, например, корни [13]. В настоящее время колхицинированием получены тетраплоидные растения некоторых видов растений: пижмы девичьей (*Tanacetum parthenium* L.), полыни однолетней (*Artemisia annua* L.), змееголовника (*Dracocephalum moldavica* L.; *Dracocephalum kotschy* Boiss.) и др. [8, 34, 24, 33]. Однако, несмотря на значительные исследования по искусственной полиплоидии растений, очень мало исследований по получению полиплоидов в лекарственном растениеводстве [10; 16].

В связи с этим **цель** нашей работы – на основании сравнительных биолого-морфологических и хозяйственно-ценных признаков провести



оценку полученных полиплоидных форм *P. caeruleum* с перспективой их использования в качестве исходного материала для дальнейшей селекционной работы. Исследования проводятся с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР».

### Материалы и методы

Исследования проводились в течение 2018-2022 гг. в лабораторных условиях, в тепличном комплексе, на опытном участке лаборатории агробиологии ФГБНУ ВИЛАР. Почва опытного поля дерново-подзолистая средне-суглинистая, имеет следующие агрохимические показатели: гумус (по Тюрину) – 2,23 %, массовая доля азота нитратов – <2,80 млн-1, массовая доля соединений фосфора (по Кирсанову) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 386,28 мг/кг, K<sub>2</sub>O – 87,7 мг/кг (по Масловой), сумма поглощенных оснований (по Каппену) – 6,3 ммоль/100 г, рН солевой – 5,15 [4].

Впервые полиплоидные формы растений синохи голубой были получены в 2019 году по методике, описанной в работе [6; 14].

В первый год (2018 год) растения закончили вегетацию в стадии розетки. На втором году жизни (2019 год) растения проходят полный цикл развития – от отрастания до образования семян – поколение колхичин индуцированных растений С<sub>1</sub> [1]. Индивидуальным растениям были присвоены номера по расположению на делянке и номеру растения: 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6 (первый ряд); 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 (второй ряд).

В 2020 году в поколении С<sub>2</sub> продолжили изучение влияния колхичина на морфологию и продуктивность растений. Посев семян синохи был проведен в первой декаде мая, глубина заделки семян 2-3 см. Ширина междурядий 60 см. Предшественник – черный пар. Площадь опытной делянки 7,2 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная, размещение делянок рендомизированное. Вегетация растений синохи завершилась в стадии розетки листьев.

В 2021-2022 гг. (на 2-й и 3-й год вегетации) в поколении С<sub>2</sub> для изучения биолого-морфологических и хозяйственно-ценных признаков на каждой делянке были выделены по 5 учетных площадок по 1 м погонному, на которых измеряли высоту и число генеративных побегов, толщину стебля, длину и ширину листа. Биометрические измерения проводились в фазу массового цветения, начиная со 2-го года жизни растений. Для определения продуктивности сырья корни растений с учетной площадки выкапывали в конце вегетации (3-4 декада сентября), промывали проточной водой, взвешивали свежую массу. После высушивания при температуре 40 °С в течение 72 ч определяли сухую массу сырья. Семена собирали в I декаде июля.

Количественное определение суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на  $\beta$ -эсцин в сырье определяли в Центре химии и фармацевтической технологии ФГБНУ ВИЛАР согласно ФС.2.5.0039.15. Для статистической интерпретации экспериментальных данных использовались стандартные функции Microsoft Excel.

### Результаты

Впервые дана оценка хозяйственно-биологических и морфологических показателей исходного материала лекарственной культуры синюхи голубой, полученного на основе колхицин-индуцированных тетраплоидных растений.

На ранних этапах исследования ( $C_1$ ) воздействия колхицина в поколении  $C_1$  было выявлено, что растения имеют меньшее количество листьев и меньшую высоту по сравнению с контролем. В ранее опубликованных работах нами было показано, что тетраплоидные растения значительно отличаются от диплоидных по морфологическим признакам и по многообразию окраски и формы соцветий. Тетраплоидные растения оказались низкорослые, характеризовались большим количеством побегов с антоцианово-окрашенным стеблем большей толщины, чем у контрольных растений. Листья у тетраплоидов были крупнее, имели темно-зеленую окраску листовой пластинки [14].

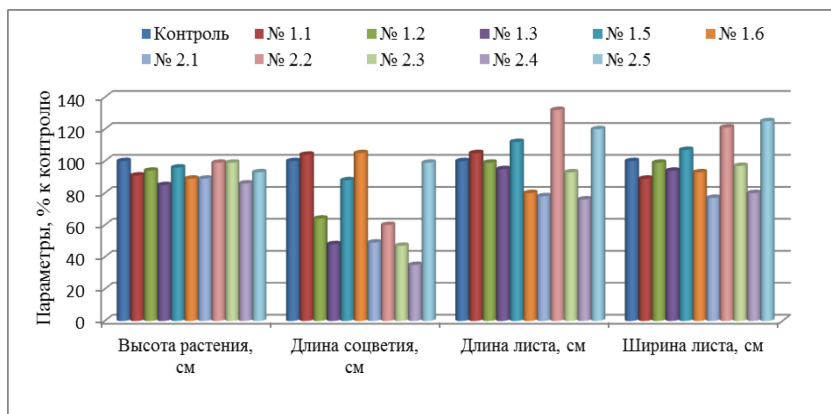
Биометрические показатели растений синюхи второго и третьего года вегетации поколения ( $C_2$ ) приведены в таблице 1.

Таблица 1.

#### Влияние колхицина на биометрические показатели растений *P. caeruleum* L. (2021-2022 гг.)

Варианты опыта	Высота растения, см	Длина соцветия, см	Длина листа, см	Ширина листа, см
Контроль	110,8±4,02	25,6±1,65	15,2±0,80	6,90±0,221
№ 1.1	101,3±3,88	26,5±1,88	15,9±0,86	6,15±0,259
№ 1.2	103,9±1,33	16,5±1,91	15,1±0,52	6,85±0,183
№ 1.3	94,6±1,65	12,2±0,95	14,4±0,29	6,50±0,309
№ 1.5	106,5±1,65	22,4±1,68	17,0±0,60	7,40±0,417
№ 1.6	98,9±1,236	26,9±2,08	12,2±0,60	6,43±0,233
№ 2.1	98,5±2,80	12,5±1,01	11,9±0,35	5,31±0,366
№ 2.2	109,3±2,43	15,4±1,31	20,0±2,21	8,33±0,249
№ 2.3	109,2±3,69	12,1±0,98	14,2±0,39	6,67±0,155
№ 2.4	94,9±1,32	9,0±0,59	11,6±0,52	5,55±0,217
№ 2.5	103,3±0,97	25,4±1,55	18,3±0,88	8,65±0,460

Высота растений в потомствах индивидуальных колхидин индуцированных растений уступает контролю в разной степени. Наибольшее снижение высоты наблюдается в вариантах 1.3 и 2.4 (85 и 86 % от контроля, соответственно). Большинство соцветий у растений, полученных после обработки колхидином, меньшей длины, но плотнее и ветвистее, чем в контроле, исключение составляют номера 1.1, 1.6 и 2.5. Длина и ширина стеблевых листьев также больше: длина листа по вариантам 1.1, 1.5, 2.2 и 2.5 превышает контроль на 5, 12, 32 и 20 %, соответственно, ширина листа в вариантах 1.5, 2.2 и 2.5 превышает контроль на 7, 21 и 25 %, соответственно (табл. 1, рис. 1).



**Рис. 1.** Биометрические показатели колхидин-индуцированных растений по отношению к контролю, %

Использование колхидина вызывает явные морфологические изменения у полученных полиплоидов *P. caeruleum*. Эти отличительные морфологические характеристики легко идентифицируются и могут быть использованы для предварительной оценки предполагаемых полиплоидных форм *P. caeruleum* (рис. 2).

Урожайность сырья (воздушно-сухая масса корневищ с корнями) двулетних и трехлетних растений сильно варьирует по вариантам опыта: в контрольном варианте она составляет до 1,58 т в пересчете на гектар, в пределах опыта составляет от 1,19 до 2,40 т/га. Наиболее перспективными по этому показателю оказались номера 1.5, 1.6 и 2.5, превышение над контролем у данных вариантов опыта составило 52, 21 и 41 %, соответственно (табл. 2, рис. 3).

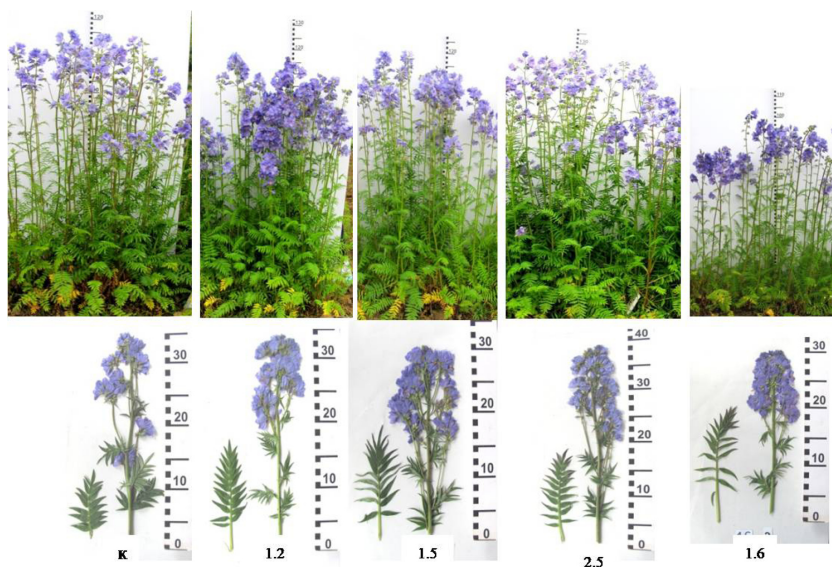


Рис. 2. Растения *P. caeruleum* в фазе цветения 3 года вегетации в поколении  $C_2$

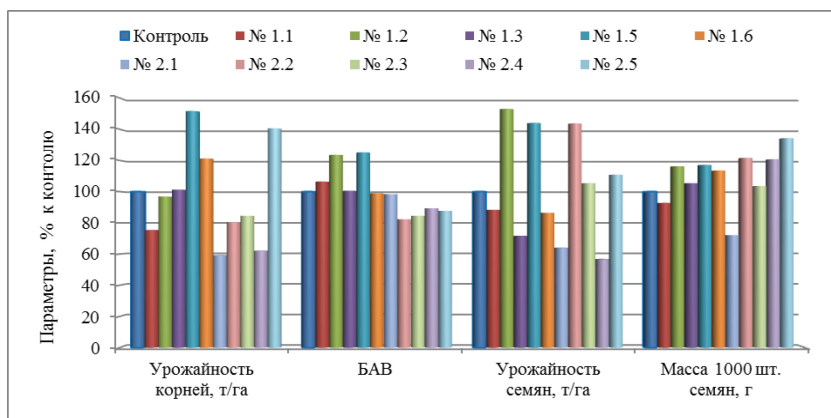
Таблица 2.

**Влияние колхицина на биопродуктивность *P. caeruleum* L.  
(средние данные за 2021-2022 гг.)**

Варианты опыта	Урожайность корней, т/га	Сумма тритерпеновых сапонинов в пересчете на $\beta$ -эсцин	Урожайность семян, т/га	Масса 1000 шт. семян, г
Контроль	1,58	18,7±0,93	0,591	1,11±0,009
1.1	1,19	19,9±0,99	0,522	1,03±0,008
1.2	1,53	23,1±1,16	0,904	1,29±0,015
1.3	1,60	18,8±1,19	0,423	1,17±0,007
1.5	2,40	23,4±0,92	0,851	1,30±0,017
1.6	1,92	18,5±0,92	0,511	1,26±0,010
2.1	0,94	18,4±0,90	0,378	0,80±0,015
2.2	1,27	15,4±0,77	0,859	1,52±0,004
2.3	1,34	15,8±0,79	0,623	1,15±0,006
2.4	0,98	16,7±0,66	0,335	1,34±0,003
2.5	2,22	16,4±0,82	0,655	1,49±0,002
НСР <sub>05</sub>	0,158		0,058	

Содержание биологически активных веществ (БАВ) в сырье во всех вариантах соответствовали ФС.2.5.0039.15 «Синюхи голубой корневища с корнями», согласно которой сумма тритерпеновых сапонинов в пересчете на  $\beta$ -эсцин должно быть не менее 10 %.

Наиболее высокое содержание БАВ наблюдалось у вариантов 1.2, 1.5, остальные были в пределах ошибки опыта или уступали контролю. Наиболее низкое значение сапонинов наблюдается у номеров 2.2 и 2.3. (табл. 2, рис. 3).

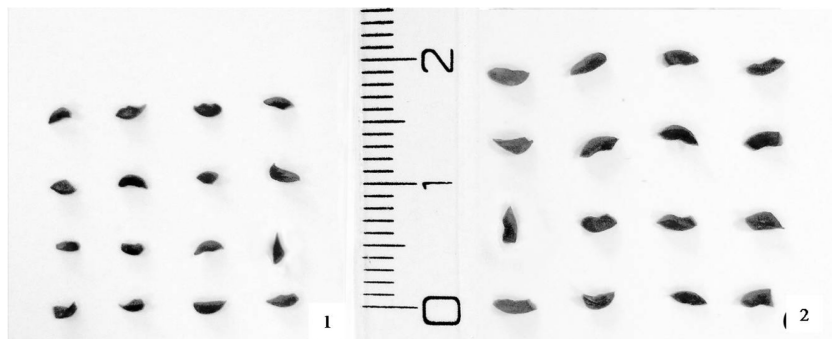


**Рис. 3.** Показатели биопродуктивности колхицин-индуцированных растений по отношению к контролю, %

Установлено, что урожайность семян, как и урожайность сырья сильно варьирует по вариантам опыта. Лучшими по данному показателю являются номера 1.2, 1.5 и 2.2 превышение над контролем составляет 53, и 44 и 45 %, соответственно (табл. 2, рис. 3).

Масса 1000 шт. семян является одним из косвенных признаков тетраплоидности растений. На рисунке 4 представлены фотографии семян диплоидных и тетраплоидных растений. На тетраплоидных растениях семена имели увеличенные размеры по сравнению с диплоидными формами, что привело к увеличению массы 1000 семян на 5,5 % по сравнению с контролем. Такая особенность объясняется как воздействием колхицина с последующим эффектом полиплоидного гигантизма, определяемого увеличением размеров соматических клеток, так и перераспределением неиспользованных пластических веществ между меньшим количеством завязавшихся плодов [21]. Семена, полученные с тетраплоидных растений, могут иметь более крупные размеры по сравнению с диплоидными

формами, тем не менее, наличие пыльников с полным отсутствием пыльцевых зерен может приводить к снижению как количества образовавшихся семян, так и их посевных качеств [31]. Ранее в наших работах приводились данные по посевным качествам семян синюхи голубой [2].



**Рис. 4.** Сравнительные размеры семян *P. caeruleum*: 1 – диплоидная форма растений; 2 – колхицин-индуцированная форма растений

У большинства номеров мы наблюдаем превышение массы 1000 семян над контролем. Наилучшие результаты мы отмечаем у номеров 1.2, 1.5, 1.6, 2.2, 2.4 и 2.5 – превышение над контролем 16, 17, 14, 37, 21 и 34%, соответственно.



**Рис. 5.** Фото корневищ с корнями синюхи голубой: слева контроль, справа колхицин-индуцированные растения

Известно, что корневая система синюхи голубой отличается наличием тонких корней, которые при выкапывании остаются в почве, а при промывании они отрываются. В связи с этим, отбирались тетраплоидные растения с мощной корневой системой. На рисунке 5 представлено фото корневищ с корнями контрольного и колхицин-индуцированного растения, демонстрирующее, что обработка колхицином в концентрации 0,2% при экспозиции 12 часов приводит к развитию более мощной корневой системы синюхи голубой.

### Обсуждение

Ранее нами сообщалось, что в поколении  $C_1$  тетраплоиды обладают многими хозяйственно-ценными признаками, в частности более длинными листьями, толстыми стеблями и корнями, а также интенсивным ростом [14]. Известно, что пыльцевой анализ используется как косвенный метод определения плоидности растений, когда по наличию фертильных и жизнеспособных пыльцевых зерен можно судить об успешности селекционных работ [21]. В ранее опубликованных нами работах было показано, что тетраплоидные формы синюхи отличались пониженной фертильностью пыльцевых зерен, в результате формировалось меньшее количество семян, которые в поколении  $C_1$  характеризовались более низкими посевными качествами по сравнению с контролем [14]. Исключение составляли варианты 1.3 и 2.5 [2].

Исследования морфологических качеств и биопродуктивности растений в 2021-2022 гг. в поколении  $C_2$  показали, что высота всех колхицин-индуцированных растений уступает контролю, наибольшее снижение высоты наблюдается в вариантах 1.3 и 2.3 (85 и 86 % от контроля, соответственно), что также согласуется с результатами др. исследователей [9; 18; 20; 24,]. Длина соцветий у растений, обработанных колхицином, также уступает контролю, но соцветия у них были более плотные и разветвленные (рис. 2). Установлено, что длина листа у номеров 1.5, 2.2 и 2.5 превышает контроль на 12, 32, 20 % и ширина листа – на 7, 21, 25 %, соответственно. Эти результаты согласуются с работами других исследователей [17; 26; 27; 30].

Выявлено, что урожайность сырья сильно варьирует по вариантам опыта, при этом, наиболее перспективными по этому показателю оказались номера 1.5, 1.6 и 2.5, превышение над контролем у данных вариантов опыта составило 52, 21 и 41 % соответственно.

В нашем опыте установлено, что наиболее высокое содержание биологически активных веществ наблюдалось у вариантов 1.2 и 1.5, превосхо-



дящих контроль на 24 и 25 %, соответственно. Наши данные совпадают с литературными данными, согласно которым увеличение содержания действующих веществ в тетраплоидных формах растений по сравнению с диплоидными отмечается у полыни однолетней (артемизинин) [8], белены египетской (скополамин) [15], эхинацеи пурпурной [20].

### **Заключение**

Впервые дана оценка исходного материала колхицин индуцированных растений по урожайности и качеству лекарственного сырья, описаны морфологические признаки для идентификации тетраплоидных растений синюхи голубой. По урожайности сырья наблюдается сильный разброс показателей по отношению к контролю (диплоидные растения). Корневища с корнями (сырье синюхи голубой) у тетраплоидных растений отличаются более мощным развитием по сравнению с диплоидными. Выявлены перспективные номера 1.5, 1.6 и 2.5, которые по урожайности сырья превышают контроль на 52, 21 и 41 %, соответственно.

По содержанию суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на  $\beta$ -эцин тетраплоидные растения соответствовали фармакопейной статье (не менее 10 %). Наиболее высокое содержание биологически активных веществ наблюдалось у вариантов 1.2 и 1.3, которые превышали контроль на 14 и 15 %, соответственно.

Установлено, что в поколении  $C_2$  потомства от индивидуальных растений из  $C_1$  получены растения, различающиеся по урожайности семян, а лучшими по данному показателю являются номера 1.2, 1.5 и 2.2 превышение над контролем которых составило 53, 44 и 45 %, соответственно.

Таким образом, результаты нашей работы позволили дать оценку полученных колхицин-индуцированных растений синюхи голубой по биолого-морфологическим и хозяйственно-ценным признакам и на основании этих показателей выделить перспективные номера 1.2, 1.5, 1.6 и 2.5 для дальнейшего их включения в селекционную работу.

**Информация о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности.** Семена сорта Лазурь для исследования взяты из биологической коллекции семян ФГБНУ ВИЛАР, которая входит в Уникальную научную установку «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР» в рамках темы НИР ФГБНУ ВИЛАР FGUU-2022-0014.

### Список литературы

1. Аникина А.Ю., Басалаева И.В., Бушковская Л.М., Быкова О.А., Грязнов М.Ю., Загуменников В.Б. и др. Лекарственные и эфиромасличные культуры // Особенности возделывания на территории Российской Федерации. Москва: изд-во «Наука», 2021. С. 147-154.
2. Басалаева И.В., Хазиева Ф.М., Коротких И.Н., Саматадзе Т.Е. Посевные качества и урожайность семян колхицин индуцированных растений в поколениях  $C_1$  и  $C_2$  *Polemonium caeruleum* L. // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Сборник научных трудов X Международной научно-практической конференции молодых ученых. Москва, 2022. С. 17-22. [https://doi.org/10.52101/9785870191058\\_17](https://doi.org/10.52101/9785870191058_17)
3. Государственная Фармакопея Российской Федерации XIII изд. ФС.2.5.0039.15. [Электронный ресурс]. URL: <http://pharmacopoeia.ru/fs-2-5-0039-15-sinyuhigoluboj-kornevishha-s-kornyami/> (дата обращения 04.05.2023)
4. Загуменников В.Б. Оптимизация культивирования лекарственных растений в Нечерноземной зоне России. Москва: ВИЛАР, 2006. 76 с.
5. Мальцева А. А., Сорокина А. А., Брежнева Т. А., Чистякова А. С., Сливкин А. И. Трава синюхи голубой – перспективный источник тритерпеновых сапонинов // Фармацевт. 2011. № 7. С. 13–16.
6. Хазиева Ф.М., Басалаева И.В., Коняева Е.А., Бурова А.Е., Саматадзе Т.Е. Скрининг биоморфологических признаков и цитогенетических особенностей *Polemonium caeruleum* L. после применения колхицина // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 139-162. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162>
7. Augustin J.M., Kuzina V., Andersen S.B., Bak S. Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins // Phytochemistry. 2011. Vol. 72. P. 435–457. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.015>
8. Banyai W., Sangthong R. Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L. // Plant Biotechnology. 2010. Vol. 27. № 5. P. 427–433. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0127-8>
9. Dhamaynathi K. P. M., Gotmare V. Induction of polyploidy in two diploid wild cotton (*G. armourianum* and *G.aridum*) // Electronic Journal of Plant Breeding. 2010. Vol. 1. № 4. P. 966–972.
10. Dehghan E., Häkkinen S. T., Oksman-Caldentey K-M., Ahmadi F. S. Production of tropane alkaloids in diploid and tetraploid plants and in vitro hairy root cultures of Egyptian henbane (*Hyoscyamus muticus* L.) // Plant Cell Tissue Organ Cult. 2012. Vol. 110, No. 1. P. 35–44. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0127-8>

11. Dibyendu T. Cytogenetic characterization of induced autotetraploids in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) // *Caryologia*. 2010. Vol. 63. P. 62–72. <https://doi.org/10.1080/00087114.2010.10589709>
12. Eng W. H., Ho W. S. Polyploidization using colchicine in horticultural plants: A review // *Sci. Hortic*. 2019. Vol. 246. P. 604–617. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.010>
13. Gao, S. L., Zhu, D. N., Cai, Z. H., Xu, D. R. Autotetraploid plants from colchicine-treated bud culture of *Salvia miltiorrhiza* Bge // *Plant Cell Tissue Organ Cult*. 1996. Vol. 47. P. 73–77.
14. Glazunova A., Hazieva F., Samatadze T. Effect of Colchicine treatment on the cytology and morphology signs of *Polemonium caeruleum* L. // *BIO Web of Conferences*. 2020. Vol. 17, 00210. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700210>
15. Javadian N., Karimzadeh G., Sharifi M., Moieni A., Behmanesh M. In vitro polyploidy induction: Changes in morphology, podophyllotoxin biosynthesis, and expression of the related genes in *Linum album* (Linaceae) // *Planta*. 2017. Vol. 245. P. 1165–1178. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2671-2>
16. Lavania U. C. Genomic and ploidy manipulation for enhanced production of phyto-pharmaceuticals // *Plant Genet Resour*. 2005. Vol. 3, No. 2. P. 170–177. <https://doi.org/10.1079/PGR200576>
17. Luo Z., Iaffaldano B. J., Cornish K. Colchicine-induced polyploidy has the potential to improve rubber yield in *Taraxacum kok-saghyz* // *Ind Crops Prod*. 2018. Vol. 112. P. 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.010>
18. Manzoor A., Ahmad T., Bashir M.A., Hafiz I.A., Silvestri C. Studies on colchicine induced chromosome doubling for enhancement of quality traits in ornamental plants // *Plants*. 2019. Vol. 8. P. 194. <https://doi.org/10.3390/plants8070194>
19. Myslennikov P.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N. The content of phenolic compounds in medicinal plants of a botanical garden (Kaliningrad oblast) // *Biol. Bull*. 2014. Vol. 41. P. 133–138.
20. Mohammad Abdoli, Ahmad Moieni, Hassanali Naghdi Badi. Morphological, physiological, cytological and phytochemical studies in diploid and colchicine-induced tetraploid plants of *Echinacea purpurea* (L.) // *Acta Physiol Plant*. 2013. Vol. 35. P. 2075–2083. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1242-9>
21. Moshnenko E.V., Zelentsov S.V., Pasmenko T.V., Luneva V.B. Morphological and cytological studies of artificial polyploids of coriander *Coriandrum sativum* L. // *Oilseeds*. 2009. Vol. 2. P. 13–18.
22. Niu L., Tao Y.B., Chen M. S., et al. Identification and characterization of tetraploid and octoploid *Jatropha curcas* induced by colchicine // *Caryologia*. 2016. Vol. 69. P. 58–66. <https://doi.org/10.1080/00087114.2015.1110308>

23. Obute G. C., Ndukwu B. C., Chukwu O. F. Targeted mutagenesis in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. and *Cucumer opsismannii* (NAUD) in Nigeria // *Afr. J. Biotechnol.* 2007. Vol. 6. P. 2467–2472. <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2390>
24. Omidbaigi R., Yavari S., Hassani M.E., Yavari S. Induction of autotetraploidy in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) by colchicine treatment // *J Fruit Ornament Plant Res.* 2010. Vol. 18. No. 1. P. 23–35.
25. Petersen K. K., Hagberg P., Kristiansen K. Colchicine and oryzalin mediated chromosome doubling in different genotypes of *Miscanthus sinensis* // *Plant Cell Tissue Org. Cult.* 2003. Vol. 73. P. 137–146. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022854303371>
26. Pan-pan H., Wei-Xu L., Hui-Hui L., Zeng-Xu X. In vitro induction and identification of autotetraploid of *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb.f. by colchicine treatment // *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 2018. Vol. 132. P. 425–432. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1339-8>
27. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.) // *Genet. Resour. Crop Evol.* 2020. Vol. 67. P. 129–137.
28. Sajjad Y., Jaskani M. J., Mehmood A., Ahmad I., Abbas H. E. Effect of colchicine on in vitro polyploidy induction in African marigold (*Tagetes erecta*). *Pak. J. Bot.* 2013. Vol. 45. P. 1255–1258.
29. Samatadze, T. E. Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (*Polemoniaceae*) / T. E. Samatadze, O.Yu. Yurkevich, F. M. Khazieva, I. V. Basalaeva, E. A. Konyaeva, A. E. Burova, S. A. Zoshchuk, A. I. Morozov, A. V. Amosova, O. V. Muravenko // *Plants.* 2022. Vol. 11. P. 2585. <https://doi.org/10.3390/plants11192585>
30. Tavan M., Mirjalili M. H., Karimzadeh G. In vitro polyploidy induction: changes in morphological, anatomical and phytochemical characteristics of *Thymus persicus* (*Lamiaceae*) // *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 2015. Vol. 122. P. 573–583. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0789-0>
31. Tulay E., Unal M. Production of colchicine induced tetraploids in *Vicia villosa*-roth // *Caryologia.* 2010. Vol. 63. P. 292–303.
32. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.) // *Genet. Resour. Crop Evol.* 2020. Vol. 67. P. 129–137. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00846-x>

33. Zahedi A. A., Hosseini B., Fattahi M., Dehghan E., Parastar H., Madani H. Overproduction of valuable methoxylated flavones in induced tetraploid plants of *Dracocephalum kotschy* Boiss // *Bot. Stud.* 2014. Vol. 55. No. 1. P. 22. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1382522>
34. Zhang X. Y., Hu C. G., Yao J. L. Tetraploidization of diploid *Dioscorea* results in activation of the antioxidant defense system and increased heat tolerance // *J. Plant Physiol.* 2010. Vol. 167. P. 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.006>

### References

1. Anikina A.Y., Basalaeva I.V., Bushkovskaya L.M., Bykova O.A., Gryaznov M.Y., Zagumennikov V.B. et al. Medicinal and essential oilseed crops. *Features of cultivation on the territory of the Russian Federation*. Moscow: Nauka, 2021, pp. 147-154.
2. Basalaeva I.V., Khazieva F.M., Korotkikh I.N., Samatadze T.E. Sowing qualities and seed yield of colchicine induced plants in generations C1 and C2 *Polemonium caeruleum* L. *Modern trends in the development of health-saving technologies. Collection of scientific papers of the X International Scientific and Practical Conference of Young Scientists*. Moscow, 2022, pp. 17-22. [https://doi.org/10.52101/9785870191058\\_17](https://doi.org/10.52101/9785870191058_17)
3. State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIII ed. FS.2.5.0039.15. URL: <http://pharmacopoeia.ru/fs-2-5-0039-15-sinyuhi-goluboj-kornevishha-s-kornyami/>
4. Zagumennikov V.B. *Optimization of cultivation of medicinal plants in the Non-Black Earth Zone of Russia*. Moscow: VILAR, 2006, 76 p.
5. Maltseva A. A., Sorokina A. A., Brezhneva T. A., Chistyakova A. S., Slivkin A. I. Blue grass - a promising source of triterpene saponins. *Pharmaceia*, 2011, no. 7, pp. 13-16.
6. Khazieva F.M., Basalaeva I.V., Konyaeva E.A., Burova A.E., Samatadze T.E. Screening of biomorphological traits and cytogenetic features of *Polemonium caeruleum* L. after the application of colchicine. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 139-162. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162>
7. Augustin J.M., Kuzina V., Andersen S.B., Bak S. Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins. *Phytochemistry*, 2011, vol. 72, pp. 435–457. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.015>
8. Banyai W., Sangthong R. Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L. *Plant Biotechnology*, 2010, vol. 27, no. 5, pp. 427–433. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0127-8>

9. Dhamaynathi K. P. M., Gotmare V. Induction of polyploidy in two diploid wild cotton (*G. armourianum* and *G. aridum*). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 966–972.
10. Dehghan E., Häkkinen S. T., Oksman-Caldentey K-M., Ahmadi F. S. Production of tropane alkaloids in diploid and tetraploid plants and in vitro hairy root cultures of Egyptian henbane (*Hyoscyamus muticus* L.). *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2012, vol. 110, no. 1, pp. 35–44. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0127-8>
11. Dibyendu T. Cytogenetic characterization of induced autotetraploids in grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Caryologia*, 2010, vol. 63, pp. 62–72. <https://doi.org/10.1080/00087114.2010.10589709>
12. Eng W. H., Ho W. S. Polyploidization using colchicine in horticultural plants: A review. *Sci. Hortic.*, 2019, vol. 246, pp. 604–617. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.010>
13. Gao, S. L., Zhu, D. N., Cai, Z. H., Xu, D. R. Autotetraploid plants from colchicine-treated bud culture of *Salvia miltiorrhiza* Bge. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 1996, vol. 47, pp. 73–77.
14. Glazunova A., Hazieva F., Samatadze T. Effect of Colchicine treatment on the cytology and morphology signs of *Polemonium caeruleum* L. *BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 17, 00210. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20201700210>
15. Javadian N., Karimzadeh G., Sharifi M., Moieni A., Behmanesh M. In vitro polyploidy induction: Changes in morphology, podophyllotoxin biosynthesis, and expression of the related genes in *Linum album* (Linaceae). *Planta*, 2017, vol. 245, pp. 1165–1178. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2671-2>
16. Lavania U. C. Genomic and ploidy manipulation for enhanced production of phyto-pharmaceuticals. *Plant Genet Resour.*, 2005, vol. 3, no. 2, pp. 170–177. <https://doi.org/10.1079/PGR200576>
17. Luo Z., Iaffaldano B. J., Cornish K. Colchicine-induced polyploidy has the potential to improve rubber yield in *Taraxacum kok-saghyz*. *Ind Crops Prod.*, 2018, vol. 112, pp. 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.010>
18. Manzoor A., Ahmad T., Bashir M.A., Hafiz I.A., Silvestri C. Studies on colchicine induced chromosome doubling for enhancement of quality traits in ornamental plants. *Plants*, 2019, vol. 8, p. 194. <https://doi.org/10.3390/plants8070194>
19. Myslennikov P.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N. The content of phenolic compounds in medicinal plants of a botanical garden (Kaliningrad oblast). *Biol. Bull.*, 2014, vol. 41, pp. 133–138.

20. Mohammad Abdoli, Ahmad Moieni, Hassanali Naghdi Badi. Morphological, physiological, cytological and phytochemical studies in diploid and colchicine-induced tetraploid plants of *Echinacea purpurea* (L.). *Acta Physiol Plant*, 2013, vol. 35, pp. 2075–2083. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1242-9>
21. Moshnenko E.V., Zelentsov S.V., Pasmenko T.V., Luneva V.B. Morphological and cytological studies of artificial polyploids of coriander *Coriandrum sativum* L. *Oilseeds*, 2009, vol. 2, pp. 13–18.
22. Niu L., Tao Y.B., Chen M. S., et al. Identification and characterization of tetraploid and octoploid *Jatropha curcas* induced by colchicine. *Caryologia*, 2016, vol. 69, pp. 58–66. <https://doi.org/10.1080/00087114.2015.1110308>
23. Obute G. C., Ndukwu B. C., Chukwu O. F. Targeted mutagenesis in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. and *Cucumer opsismannii* (NAUD) in Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.*, 2007, vol. 6, pp. 2467–2472. <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2390>
24. Omidbaigi R., Yavari S., Hassani M.E., Yavari S. Induction of autotetraploidy in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) by colchicine treatment. *J Fruit Ornament Plant Res.*, 2010, vol. 18, no. 1, pp. 23–35.
25. Petersen K. K., Hagberg P., Kristiansen K. Colchicine and oryzalin mediated chromosome doubling in different genotypes of *Miscanthus sinensis*. *Plant Cell Tissue Org. Cult.*, 2003, vol. 73, pp. 137–146. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022854303371>
26. Pan-pan H., Wei-Xu L., Hui-Hui L., Zeng-Xu X. In vitro induction and identification of autotetraploid of *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb.f. by colchicine treatment. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2018, vol. 132, pp. 425–432. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1339-8>
27. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.). *Genet. Resour. Crop Evol.*, 2020, vol. 67, pp. 129–137.
28. Sajjad Y., Jaskani M. J., Mehmood A., Ahmad I., Abbas H. E. Effect of colchicine on in vitro polyploidy induction in African marigold (*Tagetes erecta*). *Pak. J. Bot.*, 2013, vol. 45, pp. 1255–1258.
29. Samatadze, T. E. Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (Polemoniaceae) / T. E. Samatadze, O.Yu. Yurkevich, F. M. Khazieva, I. V. Basalaeva, E. A. Konyaeva, A. E. Burova, S. A. Zoshchuk, A. I. Morozov, A. V. Amosova, O. V. Muravenko. *Plants*, 2022, vol. 11, p. 2585. <https://doi.org/10.3390/plants11192585>



30. Tavan M., Mirjalili M. H., Karimzadeh G. In vitro polyploidy induction: changes in morphological, anatomical and phytochemical characteristics of *Thymus persicus* (Lamiaceae). *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2015, vol. 122, pp. 573–583. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0789-0>
31. Tulay E. Unal M. Production of colchicine induced tetraploids in *Vicia villosaroth*. *Caryologia*, 2010, vol. 63, pp. 292–303.
32. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.). *Genet. Resour. Crop Evol.*, 2020, vol. 67, pp. 129–137. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00846-x>
33. Zahedi A. A., Hosseini B., Fattahi M., Dehghan E., Parastar H., Madani H. Overproduction of valuable methoxylated flavones in induced tetraploid plants of *Dracocephalum kotschy* Boiss. *Bot. Stud.*, 2014, vol. 55, no. 1, p. 22. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1382522>
34. Zhang X. Y., Hu C. G., Yao J. L. Tetraploidization of diploid *Dioscorea* results in activation of the antioxidant defense system and increased heat tolerance. *J. Plant Physiol.*, 2010, vol. 167, pp. 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.006>

#### ДАНИЕ ОБ АВТОРАХ

**Хазиева Фирдаус Мухаметовна**, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии  
ФГБНУ *Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений*  
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация  
[vilar.6@yandex.ru](mailto:vilar.6@yandex.ru)

**Коротких Ирина Николаевна**, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии  
ФГБНУ *Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений*  
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация  
[slavnica241270@yandex.ru](mailto:slavnica241270@yandex.ru)

**Басалаева Ирина Владимировна**, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии  
ФГБНУ *Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений*

ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация  
basalaeva4.i@yandex.ru

**Саматадзе Татьяна Егоровна**, канд. биол. наук, доцент

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов»*

ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва 117198, Российская Федерация  
tsamatadze@gmail.com

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Firdaus M. Hazieva**, PhD Biol., Leading Researcher

*All-Russian Institute of Medicinal and Aromatic Plants  
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation  
vilar.6@yandex.ru*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-0773>

Scopus Author ID: 57201894817

**Irina N. Korotkikh**, PhD Agr., Leading Researcher

*All-Russian Institute of Medicinal and Aromatic Plants  
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation  
slavnica241270@yandex.ru*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0954-9353>

**Irina V. Basalaeva**, PhD Agr., Leading Researcher

*All-Russian Institute of Medicinal and Aromatic Plants  
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation  
basalaeva4.i@yandex.ru*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8243-3026>

**Tat'yana E. Samatadze**, PhD Biol., Associate Professor

*RUDN University  
6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation  
tsamatadze@gmail.com*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1012-3560>

Поступила 08.12.2023

После рецензирования 22.01.2024

Принята 02.02.2024

Received 08.12.2023

Revised 22.01.2024

Accepted 02.02.2024