

DOI: DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162

УДК 615.322:582.943:547.917.074



Научная статья | Лекарственные культуры

СКРИНИНГ БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ *POLEMONIUM CAERULEUM* L. ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛХИЦИНА

*Ф.М. Хазиева, И.В. Басалаева, Е.А. Коняева,
А.Е. Бурова, Т.Е. Саматадзе*

Состояние вопроса. В настоящее время достаточно актуальным в селекции является создание сортов с высокими показателями урожайности сырья и содержания биологически активных соединений.

Цель работы – выявление перспективных форм синюхи голубой для дальнейшего включения в селекционный процесс на основании биоморфологических, анатомических, цитогенетических исследований и биопродуктивности колхицин-индуцированной и дикорастущей форм в сравнении с сортом Лазурь.

Материалы и методы. Для получения полиплоидов в 2018 году семена синюхи голубой сорта Лазурь проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при комнатной температуре. Когда корешки достигали длины семени, их помещали в разные концентрации раствора колхицина 0,05%, 0,1%, 0,2% и 0,52% на 12 и 24 часа, затем промывали в проточной воде в течение трёх часов.

Результаты. В статье впервые приведены данные по сравнительному изучению трех форм синюхи голубой по морфологическим признакам, микроскопии эпидермиса листьев и цитогенетическому анализу. Установлено, что продуктивность сырья подземной части тетраплоидных форм растений в поколении С1 достоверно превышала диплоидную и дикорастущую формы растений на 32 %, а также урожайность семян на 22 %. В поколении С2 урожайность сырья (корневиц с корнями) у тетраплоидных растений увеличивается по отношению к контролю на 56 %, семян на 34 %. Количественное определение суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β -эсцин в растительном материале трех форм синюхи голубой показало превышение данного показателя у колхицинированной формы на 24 % в траве и на 36 % в корневищах с корнями, у дикорастущей формы – на 15 % в надземной части и уменьшение в подземной

части на 9 % по отношению к контролю. Обнаружено, что растения колхицинированной и дикорастущей форм отличаются наличием более крупных устьиц по сравнению с контролем. По рисунку DAPI-бэндина и распределения 45S рДНК и 5S рДНК генов построена обобщенная видовая идиограмма синюхи голубой с учетом полиморфных вариантов рисунков DAPI-бэндина и указанием расположения сайтов 45S рДНК и 5S рДНК генов. Выявлена цитогенетическая стабильность полученной тетраплоидной формы.

Заключение. В статье приведены сравнительные исследования по морфологическим признакам, биопродуктивности, по микроскопии эпидермиса листьев и цитогенетическому анализу тетраплоидной формы (колхицинированной) синюхи голубой в сравнении с сортом Лазурь (диплоидная форма) и дикорастущей формой растений синюхи.

Ключевые слова: синюха голубая; колхицин; тетраплоид; биоморфологические признаки; содержание сапонинов; микро-анатомический анализ; хромосомы; кариотип; флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH-анализ)

Для цитирования. Хазиева Ф.М., Басалаева И.В., Коняева Е.А., Бузова 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. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162

Original article | Medicinal Plants

SCREENING FOR BIOMORPHOLOGICAL AND CYTOGENETIC FEATURES OF *POLEMONIUM CAERULEUM* L. AFTER COLCHICINE APPLICATION

*F.M. Khazieva, I.V. Basalaeva, E.A. Konyaeva,
A.E. Burova, T.E. Samatadze*

Background. Currently, it is quite relevant in breeding to create varieties with high yields of raw materials and the content of biologically active compounds.

This work aim is to identify promising forms of *P. caeruleum* L. is for further inclusion in the breeding process based on biomorphological, anatomical, cytogenetic studies and the bioproductivity of colchicine-induced and wild-growing forms in comparison with the Lazur variety.

Materials and methods. To obtain polyploids in 2018, the seeds of the *P. caeruleum* L. the Lazur variety were germinated in Petri dishes on filter paper at room

temperature. When the roots reached the length of the seed, they were placed in different concentrations of colchicine solution 0.05 %, 0.1 %, 0.2 % and 0.52 % for 12 and 24 hours, then washed in running water for three hours.

Results. The article for the first time presents data on a comparative study of three forms of *Polemonium caeruleum* L. in terms of morphological characteristics, microscopy of the leaf epidermis and cytogenetic analysis. It was established that the raw materials productivity of the underground part of the plants tetraploid forms in the C1 generation significantly exceeded the diploid and wild forms of plants by 32 %, as well as the yield of seeds by 22 %. In the C2 generation, the yield of raw materials (rhizomes with roots) in tetraploid plants increases in relation to the control by 56 %, seeds by 34 %. Quantitative determination of the amount of triterpene saponins in terms of β -escin in the plant material of three forms of *P. caeruleum* L. showed an excess of this indicator in the colchicine form by 24 % in the grass and by 36 % in rhizomes with roots, in the wild-growing form - by 15 % in the aerial part and decrease in the underground part by 9 % in relation to the control. It was found that plants of colchicine and wild forms differ in the presence of larger stomata compared to the control. Based on the pattern of DAPI-bandin and the distribution of 45S rDNA and 5S rDNA genes, a generalized species idiogram of blue cyanosis was constructed, taking into account polymorphic variants of DAPI-bandin patterns and indicating the location of the sites of 45S rDNA and 5S rDNA genes. The cytogenetic stability of the resulting tetraploid form was revealed.

Conclusion. The article presents comparative studies on morphological characteristics, bioproductivity, microscopy of the leaf epidermis and cytogenetic analysis of the tetraploid form (colchicine) of *P. caeruleum* L. in comparison with the variety Lazur (diploid form) and the wild form of *P. caeruleum* L. plants.

Keywords: *P. caeruleum* L.; colchicine; tetraploid; biomorphological features; the content of saponins; micro-anatomical analysis; chromosomes; karyotype; fluorescent in situ hybridization (FISH analysis)

For citation. Khazieva F.M., Basalaeva I.V., Konyaeva E.A., Burova A.E., Samatadze T.E. Screening for Biomorphological and Cytogenetic Features of *Polemonium caeruleum* L. after Colchicine Application. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 139-162. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162

Введение

Среди лекарственных растений, обладающих широким спектром биологического действия, позволяющим использовать их для профилактики и лечения многих заболеваний заслуживает внимание синюха голубая

(*Polemonium caeruleum* L.) – многолетнее травянистое растение рода *Polemonium*, семейства Синюховые (*Polemoniaceae*). В России корневища с корнями синюхи – (*Polemonii caerulei rhizomata cum radicibus*), включены в ГФ [4] в качестве отхаркивающего средства.

В сырье подземной части *P. caeruleum* содержатся тритерпеновые сапонины, производные олеанана в виде полемониозида С, антоцианы и каротиноидные пигменты и др. Эти соединения имеют широкий спектр активности: антиоксидантный, противоопухолевый, противовоспалительный, антиатерогенный, мочегонный, противогрибковый, противовирусный, антиаритмический и детоксицирующий [6]. В народной медицине, помимо подземных органов синюхи, используется трава растения (в настоящее время – отход при заготовке официального сырья). С учетом постоянно возрастающей потребности в новых видах лекарственного растительного сырья, а также перспектив безотходного использования растения, целесообразно углубленное изучение травы синюхи голубой.

В настоящее время достаточно актуальным в селекции является создание сортов с высокими показателями урожайности сырья и содержания биологически активных соединений. Еще в 70-е годы прошлого века многие генетики и селекционеры высказывали единодушное мнение о целесообразности использования искусственных полиплоидов, предоставляющих богатый исходный материал для селекционной работы. Полиплоидная селекция является эффективным методом по сравнению с мутационной селекцией и обычным скрещиванием благодаря простоте обработки в течение короткого промежутка времени [16]. Более того, искусственная полиплоидизация, в отличие от мутационной селекции, которая включает в себя мутацию гена, приводит к изменению всего генома, что приводит к большим фенотипическим вариациям по сравнению с мутацией одного гена [14].

Наиболее распространенным веществом, приводящим к появлению полиплоидных форм растений, является колхицин, который широко используется для индукции полиплоидии [15]. Хотя колхицин легко используется для индуцирования полиплоидии во многих культурах, все еще существуют ограничения в разработке эффективных протоколов индукции полиплоидии и получения высокоурожайного плоидного мутанта [10].

Известно, что микроскопический анализ является одним из наиболее важных методов стандартизации и контроля качества лекарственного растительного сырья, применяется для определения его подлинности, а также выявления наличия примесей. Кроме того, особенности строения эпидермиса листа используются в качестве диагностических признаков для под-

тверждения подлинности надземной части растения. В этой связи, важными диагностическими признаками для идентификации растительного сырья являются форма клеток эпидермиса; наличие, расположение и типы устьиц; наличие и строение волосков, железок и вместилищ; наличие кристаллических включений, секреторных каналов; структура мезофилла листа.

Показано, что основным препятствием к использованию полиплоидных форм растений является их нестабильность, а также пониженная фертильность пыльцы [17, 16, 21]. Это негативно сказывается на жизнеспособности пыльцевых зерен, а также участия их в процессе двойного оплодотворения [5]. Использование одних лишь морфологических признаков для выявления перспективных форм синюхи не может дать полную картину всех индивидуальных особенностей этого растения. Привлечение дополнительных методов хромосомного анализа – флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH-анализа) позволит провести сравнительное исследование изучаемых форм синюхи и охарактеризовать эти растения на уровне генома [1].

Цель нашей работы – выявление перспективных форм синюхи голубой для дальнейшего включения в селекционный процесс на основании биоморфологических, анатомических, цитогенетических исследований и биопродуктивности колхицин-индуцированной и дикорастущей форм в сравнении с сортом Лазурь.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в течение 2018-2022 гг. в лабораторных условиях, в тепличном комплексе, на опытном участке лаборатории агробиологии ФГБНУ ВИЛАР. Для получения полиплоидов в 2018 году семена синюхи голубой сорта «Лазурь» (контроль) проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при комнатной температуре. Когда корешки достигали длины семени, их помещали в разные концентрации раствора колхицина 0,05 %, 0,1 %, 0,2 % и 0,52 % на 12 и 24 часа, затем промывали в проточной воде в течение трёх часов. После появления семядольных листочков рассаду колхицированной, контрольной и дикорастущей форм пересаживали в ящики в теплицу и выращивали в течение 1,5 месяца, затем высаживали в полевые условия по схеме 60×30 см. Семена дикорастущей формы были получены от отдела растительных ресурсов из экспедиции в Мещеру (55°33'40" с. ш. 40°15'14" в. д.) в 2017 году.

В 2019 году были собраны семена со всех вариантов опыта и в 2020 году был заложен опыт по сравнительному изучению разных форм синюхи. Посев семян синюхи был проведен в первой декаде мая, норма высева

8 кг/га семян, глубина заделки семян 2-3 см. Ширина междурядий 60 см. Предшественник – черный пар. Площадь опытной делянки 7,2 м², повторность трехкратная, размещение делянок рендомизированное.

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) P₂O₅ – 386,28 мг/кг, K₂O – 87,7 мг/кг (по Масловой), сумма поглощенных оснований (по Каппену) – 6,3 ммоль/100 г, pH солевой – 5,15.

Исследования осуществляли в соответствии с методиками: «Проведения полевых опытов с лекарственными культурами» (1981) и «Требования к оформлению полевых опытов во Всероссийском научно-исследовательском институте лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)» (2006). Фенологические наблюдения проводили по методике И.Н. Бейдеман (1974), статистическую обработку опытных данных - по Б.А. Доспехову (1985) с использованием программного обеспечения MS Excel, посевные качества семян – по ГОСТ Р 51096-97.

Биометрические измерения проводили в фазу массового цветения на 2 и 3 годах вегетации растений. На 10 учетных растениях измеряли высоту, число генеративных побегов, толщину стебля, длину и ширину листа. Для определения продуктивности сырья корни растений выкапывали в конце вегетации (3 декаде сентября), промывали проточной водой, высушивали при температуре 40°C в течение 72 ч.

Содержание сапонинов в сырье определяли согласно ФС.2.5.0039.15 [4]. Для определения суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β-эсцин использовали отдельно подземную часть (корневища с корнями) и надземную часть (розеточные листья) синюхи.

Для анатомического исследования листьев использовали высушенные розеточные листья растений синюхи голубой: сорт Лазурь (контроль), колхицинированная и дикорастущие формы 3 года вегетации. Исследование проводили согласно общей фармакопейной статье Государственной фармакопеи Российской Федерации XIV издания: ОФС.1.5.3.0003.15 “Техника микроскопического и микрохимического исследования лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов” [3]. Препараты готовили с поверхности, фотографии были сделаны на биологическом микроскопе “Альтами БИО 2 LED” с цифровой окулярной USB камерой 3,1 Мпикс (Россия).

Флуоресцентную гибридизацию *in situ* (FISH-анализ) проводили по ранее описанной методике с зондами 45S и 5S рДНК, полученными с помощью ПЦР из геномной ДНК *Linum austriacum* L. [8]. Пробу 45S рДНК метили био-

тином с помощью набора Biotin-Nick translation mix («Roche», Швейцария), а пробу 5S рДНК – дигоксигенином с помощью набора DIG-Nick translation mix («Roche», Швейцария) в соответствии с протоколом производителя. Для выявления мест гибридизации зонда 5S рДНК использовали антитела к дигоксигенину, конъюгированные с родамином («Roche», США), а для усиления сигнала использовали антитела конъюгированные с Cy3. Сайты гибридизации зонда 45S рДНК выявляли с использованием флуоресцеин-конъюгированного авидина («Vector laboratories», Великобритания). Для усиления сигнала использовали биотинилированный антиавидин («Vector laboratories», Великобритания) с повторным нанесением флуоресцеин-конъюгированного авидина. Препараты высушивали и окрашивали флуорохромом DAPI в концентрации 0.125 мкг/мл в Antifade («Abnova Corporation», Taiwan).

Просмотр препаратов, отбор метафазных пластинок и их анализ проводили с помощью флуоресцентного микроскопа Olimpus BX61, снабженного черно-белой ПЗС камерой CoolSnap («RoperScientific Inc.», США). Анализировали не менее 15 выбранных метафазных пластинок с хорошим разбросом хромосом из каждой исследуемой формы синюхи. Полученные изображения обрабатывали, используя программы хромосомного анализа, согласно технологии, принятой в лаборатории [7].

Результаты исследования

Влияние обработки различными концентрациями колхицина на выживаемость проростков растений оценивали в лабораторных условиях через 30 дней после обработки. В дозах 0,05 и 0,1 % при экспозиции 24 часа по биометрическим признакам проростки не отличались от контрольных, поэтому были исключены из дальнейшего изучения. В концентрации 0,5 % при экспозиции 12 часов в стадии рассады растения погибли. Наибольшая выживаемость рассады была в концентрации 0,2 % и экспозиции 12 часов (табл. 1). Растения 1 года в стадии розетки листьев закончили вегетацию.

Таблица 1.

Выживаемость растений в первый год вегетации, % (2018 г.)

Этап	Контроль	Колхицинированные	Дикорастущие
Прорастивание	85	80	50
Прорастание	85	57	27
Пикировка	85	52	27
Высадка в полевые условия	80	20	23
Конец вегетации 1 г.ж.	78	8	10

В 2019 году на растениях второго вегетации, обработанных колхицином (поколение C_1) были проведены исследования по размеру и фертильности пыльцевых зерен, морфологических характеристик и продуктивности растений.

Таблица 2.

**Влияние колхицина на морфологические характеристики растений
Polemonium caeruleum L. (2019 г.)**

Параметры	Контроль	Колхицин	Дикорастущая форма
Высота растения, см	71,3±3,31*	46,3±4,01	50,1±4,47*
Число генеративных побегов, шт.	6,1±0,50	7,2±0,88*	3,0±0,23
Толщина стебля, см	0,68±0,064	1,00±0,094*	0,39±0,23
Длина листа, см	17,7±1,11	21,8±0,44*	17,5±1,55
Ширина листа растения, см	6,4±0,24	7,8±0,68*	5,8±0,54

Примеч.: * – различия достоверны при $P \leq 0.05$.

Пыльцевые зерна у синюхи голубой многопоровые, шаровидной формы. В диаметре 52,8-59,4 мкм., в очертании круглые. Поры округлые или слегка вытянутые до 3 мкм в диаметре с крышечками, края пор извилистые. Пыльца темно-желтого цвета [2].

Характеристика пыльцевых зерен у контрольного варианта (сорт Лазурь) диплоидной ($2n=18$), тетраплоидной (обработанной колхицином) и дикорастущей форм представлены ниже (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3.

**Морфо-физиологические характеристики пыльцевых зерен
Polemonium caeruleum L., 2019 г.**

Варианты опыта	Размеры пыльцевых зерен, мкм		Фертильность пыльцы
	Средние значения	Пределы вариации	
Контроль (сорт Лазурь)	44,2 ± 3,54	40,3-48,1	95,5±5,41*
Обработка колхицином	53,7 ± 4,56*	50,5-61,7	76,1±2,42
Дикорастущая форма	42,6 ± 3,67	39,5-46,0	88,1±4,33

Примеч.: * - различия достоверны при $P \leq 0.05$

Обработка колхицином привела к увеличению размеров пыльцевых зерен на 13% у тетраплоидных форм, при этом фертильность пыльцы уменьшилась на 19% по сравнению с контролем. У дикорастущих растений размеры пыльцы были в пределах ошибки опыта по сравнению с контролем, фертильности пыльцы была меньше на 8% по отношению к сорту Лазурь.

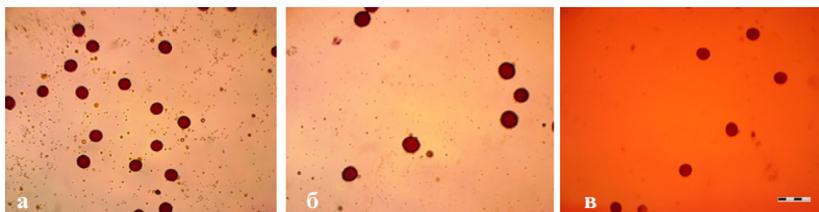


Рис. 1. Пыльцевые зерна: а – контроль (сорт Лазурь, диплоидные растения), б – Обработанные колхицином (тетраплоиды), г – дикорастущие растения. Масштабная линейка – 100 мкм.

Таблица 4.

**Влияние колхицина на продуктивность растений и семян
P. caeruleum L. 2019 г.**

Показатели	Сорт Лазурь (К)	Колхицинированная форма	Дикорастущая форма
Продуктивность корневища с корнями, г/растение	36,5±3,33	48,3±4,71*	16,2±0,11
Продуктивность травы, г/растение	26,8±2,15	29,5±2,82	14,3±1,39
Продуктивность семян, г/растение	8,7±0,56	10,7±1,28*	1,7±0,12

На втором году жизни (2019 год) растения проходят полный цикл развития – от отрастания до образования семян.

Исследования показали, что тетраплоидные растения более 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 (рис. 3).

Эти морфологические характеристики легко идентифицируются и могут быть использованы для предварительного отбора предполагаемых полиплоидных форм *P. caeruleum*.

По данным 2019 года, установлено, что обработка проростков 0,2% раствором колхицина приводит к уменьшению высоты растений на 35%, увеличению толщины стебля на 47 % и числа генеративных побегов на 18%, а также к увеличению длины (на 23%) и ширины листа (на 22%) у тетраплоидных форм по сравнению с диплоидными формами растений. Выявлено, что продуктивность сырья и урожайность семян у полиплоидных форм выше по сравнению с диплоидными на 32% и 22%, соответственно.

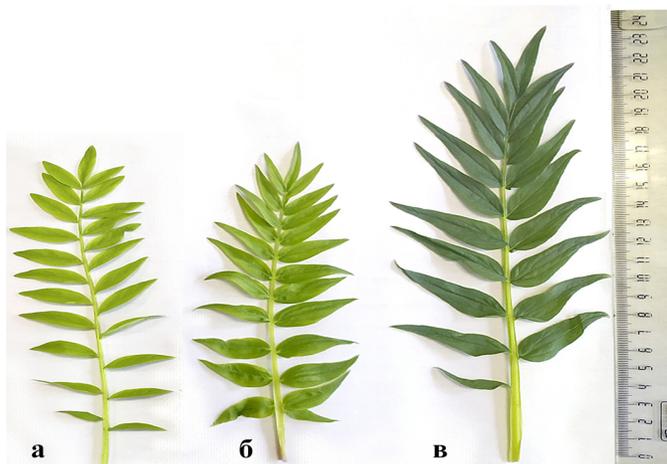


Рис. 2. Листовые пластинки: а – дикорастущая, б – контроль, в – колхичинированная форма синюхи голубой.

В 2020 году был заложен селекционный питомник семенным способом, растения в котором успешно росли и развивались и к концу вегетационного периода нарастили розетку листьев.

В условиях 2021-2022 гг. растения имели более высокие показатели морфологических признаков и биопродуктивности по сравнению с 2019 годом (табл. 5). Установлено, что урожайность воздушно-сухого сырья (корневища с корнями) тетраплоидных форм растений C_2 достоверно превышала аналогичный показатель у диплоидных растений на 56 %, урожайность семян на 34 % (табл. 6).

Таблица 5.

Морфометрические показатели растений разных форм *P. caeruleum* L. второго и третьего года жизни (2021-2022 гг.).

Параметры	Сорт Лазурь (К)	Колхичинированная форма	Дикорастущая форма
Высота растения, см	110,8±4,02*	94,6±1,65	90,3±2,31
Число генеративных побегов, шт.	6,1±0,50	7,2±0,67	3,0±0,23
Толщина стебля, см	0,66±0,060	1,00±0,082	0,41±0,021
Длина листа, см	15,2±0,80	18,3±0,14	14,5±1,10
Ширина листа, см	6,9±0,22	8,6±0,62	6,0±0,22

Примеч.: *- различия достоверны при $P \leq 0.05$.

Таблица 6.

**Урожайность сырья и семян разных форм *P. caeruleum* L.
второго и третьего гада жизни (2021-2022 гг.)**

Признаки	Сорт Лазурь (К)	Колхицинированная форма	Дикорастущая форма
Урожайность корневища с корнями, т/га	1,63±0,15	2,50±0,22*	0,95±0,089
Урожайность воздушно-сухих розеточных листьев, т/га	0,49±0,038	0,65±0,061	0,35±0,030
Урожайность семян, т/га	0,63±0,034	0,85±0,038*	0,11±0,009
Масса 1000 шт. семян, г	1,46±0,116	1,54±0,125	0,64±0,122
Энергия прорастания семян, %	55	47	50
Всхожесть семян, %	96	80	85
Содержание сапонинов, %			
Розетка листьев	18,89±1,37	23,58±2,05*	21,74±1,893
Корневища с придаточными корнями	14,92±1,24	20,36±1,23*	13,67±1,131

Примеч.: *- различия достоверны при $P \leq 0.05$.

Количественное определение суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β -эсцин в растительном материале (надземной и подземной части) трех форм синюхи голубой показало, что этот показатель у колхицинированной формы составляет 23,58 %; 20,36 %), в отличие от контрольной (18,89 %; 14,92 %) и дикорастущей формы (21,74 %; 13,67 %) (табл. 6).

Оценка воздействия колхицина на энергию прорастания и всхожесть семян, собранных с тетраплоидных растений позволила установить, что семена, собранные с растений, полученных после обработки колхицином, характеризуются более низкими посевными качествами, по сравнению с контролем и дикорастущей формой (табл. 6).

Выявлено, что по содержанию биологически активных соединений (тритерпеноидные сапонины) произошло увеличение этого показателя на 24 % в траве и на 36 % в сырье (корневища с корнями) у растений, обработанных колхицином. У дикорастущей формы синюхи наблюдалось превышение сапонинов на 15 % в надземной части и уменьшение в сырье (корневища с корнями) на 9 % по отношению к контролю.

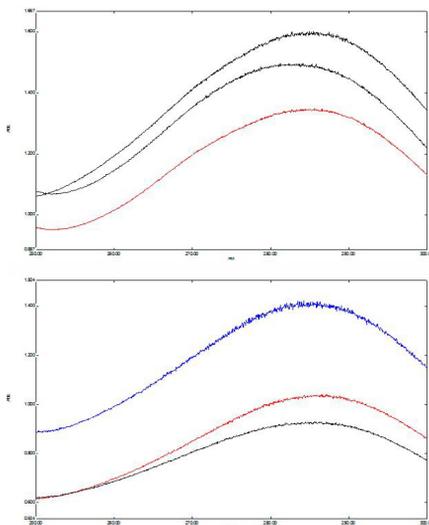


Рис. 3. Количественное определение суммы тритерпеновых сапонинов в образцах сырья синюхи голубой *в траве*: а) обработка колхицином (верхняя кривая); б) дикорастущая форма (средняя кривая); в) сорт Лазурь (нижняя кривая); *в корневищах с корнями*: а) обработка колхицином (верхняя кривая); б) сорт Лазурь (средняя кривая); в) дикорастущая форма (нижняя кривая)

Микроскопический анализ листьев показал, что устьица расположенные на нижней стороне аномоцитного типа, сопровождаются 3-6 (реже 7) клетками эпидермиса, варьируют по форме и размерам (лист гипостоматический). У растений колхицинированной и дикорастущей форм можно отметить наличие более крупных устьиц по сравнению с контролем (рис. 4, табл. 7).

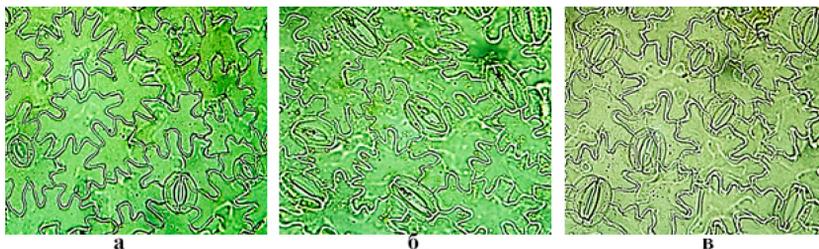


Рис. 4. Сравнительные анатомо-диагностические признаки листьев нижнего эпидермиса листа с устьицами (x400) у сорта Лазурь (К) (а), колхицинированной формы (б) и дикорастущей формы (в) растений *P. saeuleum* L.

Таблица 7.

Размеры устьиц изучаемых форм *P. caeruleum* L.

Характеристика	Сорт Лазурь (К)	Колхицинированная форма	Дикорастущая форма
Длина устьиц	11,70±1,12	15,30±1,25*	14,1±1,02*
Ширина устьиц	6,83±0,24	7,10±0,17*	6,86±0,15
Частота встречаемости устьиц – количество устьиц на 1 мм ²	83,7	85,2	88,7

Примеч.: *- различия достоверны при $P \leq 0.05$

Сравнительный визуальный анализ кариотипов показал, что у изучаемых форм синюхи DAPI бэнды мелких и средних размеров локализируются в основном в центромерных и интеркалярных районах хромосом. Прицентромерные блоки хромосом, как правило, наиболее крупные (прицентромерно интеркалярный тип распределения гетерохроматина) (рис. 5). Морфологические параметры хромосом и позиции на хромосомах, где выявляются DAPI бэнды, сходны у всех изучаемых форм синюхи. Теломерные, интеркалярные и прилегающие к вторичным перетяжкам DAPI бэнды были более полиморфными. У тетраплоидной формы синюхи также наблюдался незначительный полиморфизм по размерам интеркалярных DAPI бэндов в хромосомах субгеномов (рис. 5).

Изучение локализации рибосомных генов с помощью двухцветного FISH-метода показало, что кариотипы растений сорта Лазурь и дикорастущей формы *P. caeruleum* включали $2n = 2x = 18$ хромосом среднего размера в диапазоне от 3,6 до 5,0 мкм (рис. 5 а, б). Кластеры 45S рДНК были локализованы в коротких плечах трех сателлитных хромосом: 3, 4 и 7. Вторичные перетяжки 3 и 4 пар хромосом были довольно короткими, в отличие от спутничной хромосомы 7, имеющей длинную нить со спутником. Яркие сигналы 5S рДНК были выявлены на коротких плечах хромосомной пары 4, а также на длинных плечах хромосомной пары 8. Кариотип тетраплоидных растений *P. caeruleum* содержал два сходных генома $2n = 4x = 36$, а размеры хромосом варьировались от 3,0 до 4,4 мкм (рис. 5 в). Кластеры 45S рДНК были локализованы в коротких плечах шести пар спутничных хромосом 3, 4 и 7 обоих геномов. Яркие сигналы 5S рДНК наблюдались в перицентромерных областях коротких плеч хромосомных пар 4, а также в интерстициальных областях длинных плеч хромосомных пар 8 обоих геномов (рис. 5 в).

На основании компьютерного хромосомного анализа была построена видовая идиограмма генома *P. caeruleum* L. - с указанием расположения 26S и 5S рДНК генов (рис. 6).

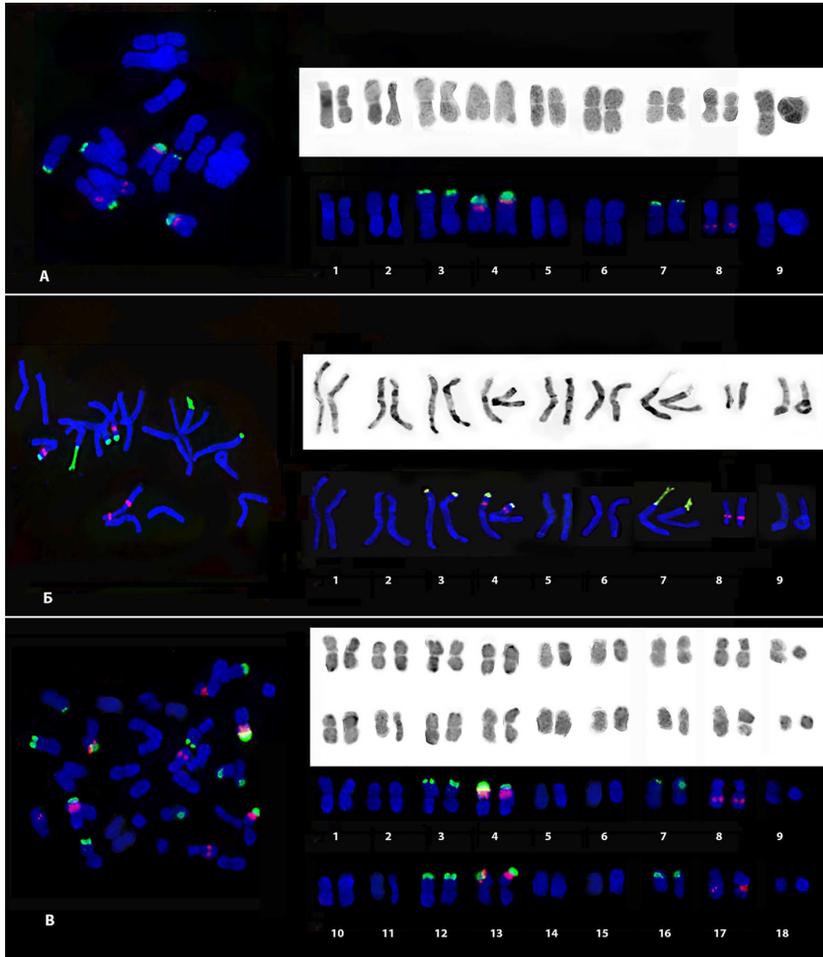


Рис. 5. Флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH) и DAPI-дифференциально-окрашенные метафазные хромосомы дикорастущей (а), сорта Лазурь (б) и колхицинированной (в) форм *P. caeruleum*. C/DAPI – дифференциально-окрашенные хромосомы – инвертированное изображение, зеленый сигнал – 45S рДНК, красный сигнал – 5S рДНК

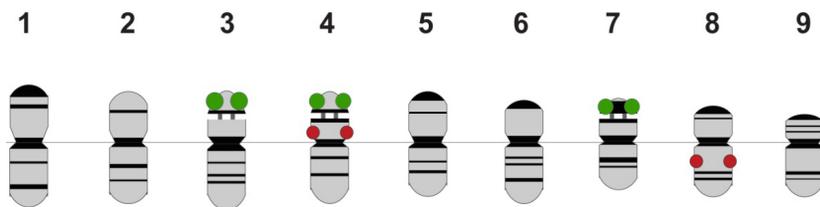


Рис. 6. Видовая идиограмма генома *P. caeruleum* L. с учетом полиморфизма DAPI-бэндов (черный цвет) и сайтов локализации генов 45S рДНК (зеленый цвет) и 5S рДНК (красный цвет).

Обсуждение

В ряде исследований сообщалось, что тетраплоиды у растений обладают многими ценными сельскохозяйственными характеристиками, такими как интенсивный рост, большие по сравнению с диплоидами листья, толстые стебли и корни [20]. Наши результаты также показали, что обработка колхицином привела к увеличению числа генеративных побегов, толщины стеблей, длины и ширины листа. Установлено, что цветение у тетраплоидных форм растений наступает на неделю позже контрольных диплоидных. Дикорастущая форма отстает по фенологическим фазам по годам исследований более чем на 20 суток. В результате обработки колхицином высота растений в 2019 году уменьшилась на 15 %, увеличились толщина стебля, количество генеративных побегов, длина и ширина листа на 47, 18, 23 и 22 %, соответственно, по сравнению с контролем. Выявлено, что по содержанию биологически активных соединений (*тритерпеновые* сапонины) произошло увеличение этого показателя на 24 % в розеточных листьях и на 36 % в сырье (корневища с корнями) у растений, обработанных колхицином. У дикорастущей формы синюхи наблюдалось превышение сапонинов на 15 % в розеточных листьях и уменьшение в сырье подземной части на 9 % по отношению к контролю. Изменение метаболического профиля у аутополиплоидных растений путем простого дублирования основного генома интерпретировалось, как причина действия механизма, регулирующего биосинтез отдельных соединений [12]. В другом исследовании авторы сообщили об увеличении содержания действующих веществ в тетраплоидных формах растений по сравнению с диплоидными: у польны однолетней (артемизинин) [11], белены египетской (скополамин) [13].

В нашем исследовании было установлено, что семена, собранные с растений, полученных после обработки колхицином, характеризуются более низкими посевными качествами, как энергии прорастания – 47 %, так и всхожести семян – 80 %, по сравнению с контролем (55 % и 96 %, соответ-

ственно). И хотя семена, полученные с тетраплоидных растений, по сравнению с диплоидными формами могут иметь более крупные размеры, тем не менее, наличие пыльников с полным отсутствием пыльцевых зерен, а также стерильных пыльцевых зерен может приводить к снижению посевных качеств таких семян [22, 24]. В последствии с каждым следующим поколением в опытах разрыв в продуктивности тетраплоидов и диплоидов может уменьшаться и стать практически неощутимым [19].

Известно, что для определения подлинности лекарственного растительного сырья, а также выявления наличия примесей используют морфолого-анатомический анализ, который является одним из наиболее важных методов стандартизации и контроля качества лекарственного растительного сырья. Кроме того, особенности строения эпидермиса листа используются в качестве диагностических признаков для подтверждения подлинности надземной части растения. В настоящем исследовании проведено микроскопическое изучение эпидермиса листьев у сорта Лазурь, колхицинированной и дикорастущей форм растений *P. caeruleum* и дана характеристика размеров устьиц. Показано, что у растений колхицинированной и дикорастущей форм можно отметить наличие более крупных устьиц по сравнению с контролем, характерные для данного вида растения, которые могут быть использованы при идентификации сырья.

Известно, что рибосомная ДНК является высоко консервативной, содержит повторяющиеся семейства генов с сотнями и тысячами копий и сосредоточена в одном или более кластерах на одной или многих хромосомных парах [17]. Сайты рДНК легко картируются на хромосомах при проведении флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH). Расположение рибосомных генов на хромосомах относят к синапоморфным признакам и сайты рДНК являются молекулярными маркерами для анализа филогенетических связей родственных геномов [1].

Ранее были проведены сравнительные исследования диплоидной (интродуцированной) и полученной колхицинированной форм растений *P. caeruleum* и проведен предварительный отбор растений по ряду показателей [9, 23]. В данной работе на основании DAPI бэндинга и FISH анализа изучена структура кариотипов и хромосомная локализация 26S и 5S рДНК генов на хромосомах изучаемых форм синюхи. В нашем исследовании FISH анализ хромосом в кариотипах у полученных тетраплоидных форм растений синюхи позволил установить их автотетраплоидное происхождение ($2n=36$). По локализации сайтов гибридизации 45S рДНК и 5S рДНК геномы оказались идентичными диплоидным формам (дикорастущей и сорта Лазурь), что может свидетельствовать об их стабильности.

Выводы

1. Показано, что наибольшее количество тетраплоидных растений (15 %) было получено при обработке колхицином в концентрации 0,2 % при экспозиции 12 часов. Выявлено, что в результате обработки колхицином высота растений уменьшилась на 15 %, увеличились толщина стебля, количество генеративных побегов, длина и ширина листа на 47, 18, 23 и 22 %, соответственно, по сравнению с контролем.
2. Установлено, что продуктивность воздушно-сухого сырья подземной части тетраплоидных форм растений достоверно превышала аналогичный показатель у диплоидных растений на 32 %, урожайность семян на 22 % в 2019 году, на 56 и 34 %, соответственно в 2021-2022 гг.
3. По содержанию биологически активных соединений (тритерпеновые сапонины) произошло увеличение этого показателя на 24 % в траве и на 36 % в сырье (корневища с корнями) у растений, обработанных колхицином. У дикорастущей формы синюхи наблюдалось превышение сапонинов на 15 % в надземной части и уменьшение в сырье (корневища с корнями) на 9 % по отношению к контролю.
4. Показано, что у растений колхицинированной и дикорастущей форм отмечаются более крупные размеры устьиц по сравнению с контролем. Данная морфолого-анатомическая характеристика листа может быть использована для идентификации сырья.
5. На основании DAPI бэндинга и флуоресцентной гибридизации *in situ* идентифицированы хромосомы, установлена локализация 45S рДНК и 5S рДНК генов на хромосомах в кариотипах изучаемых форм синюхи и выявлена цитогенетическая стабильность полученной тетраплоидной формы.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00221.

Список литературы

1. Бадаева Е.Д., Салина Е.А. Структура генома и хромосомный анализ растений // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2013. Т. 17, № 4/2. С. 1017-1043.
2. Бурмистров А.Н., Никитина В.А. Медоносные растения и их пыльца: Справочник. М.: Росагропромиздат. 1990, 192 с.

3. Государственная фармакопея РФ XIV издания. Федеральная электронная медицинская библиотека Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2018 ФС. 5.3.0003.15, ФС.1.5.1.0002.15). <https://femb.ru/record/pharmacopeia14> (дата обращения 01.07.2020).
4. Государственная Фармакопея Российской Федерации XIV изд. ФС.2.5.0020.15. 2015. <http://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-xiii-online-gf-14-online> (дата обращения: 21.09.2021)
5. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Морфологические особенности пыльцы и нарушения мейоза у автотетраплоидов сои // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур, 2004. Т. 1. N 130. С. 10-14.
6. Мальцева А.А. Трава синюхи голубой – перспективный источник тритерпеновых сапонинов / А.А. Мальцева, А.А. Сорокина, Т.А. Брежнева, А.С. Чистякова, А.И. Сливкин // Фармация. 2011. № 7. С. 13-16.
7. Муравенко О.В., Зеленин А.В. Исследование хромосомной организации геномов мелкохромосомных растений // Генетика. 2009. Т. 45. № 11. С. 1516-1529.
8. Семенова О.Ю., Саматадзе Т.Е., Зеленин А.В., Муравенко О.В. Сравнительное изучение геномов видов льна секции *Adenolinum* и *Stellerolinum* с использованием флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH) // Биологические мембраны. 2006. Т. 23. № 6. С. 453-460.
9. Цитогенетические особенности диплоидной и колхицин-индуцированной формы синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.) / Саматадзе Т.Е., Юркевич О.Ю., Хазиева Ф.М., Басалаева И.В., Амосова А.В., Муравенко О.В. // Коллекции как основа изучения генетических ресурсов растений и грибов: Тезисы докладов Всероссийской конференции. Санкт-Петербург, 22–23 июня 2022 г. (в рамках Первого научного форума «Генетические ресурсы России», 21–24 июня 2022 г.). СПб.: Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 2022. С. 45.
10. Azmi T.K.K., Sukma D., Aziz S.A., Syukur M. Polyploidy induction of moth orchid (*Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume) by colchicine treatment on pollinated flowers // J. Agric. Sci. 2016. Vol. 11(2). P. 62-73. <https://doi.org/10.4038/jas.v11i2.8118>
11. Banyai W., Sangthong R. Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L. // Plant Biotechnology. 2010. Vol. 27(5). P. 427–433.
12. Glazunova A., Haziieva F., Samatadze T. Effect of Colchicine treatment on the cariology and morphology signs of *Polemonium caeruleum* L. // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 17, 00210. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700210>

13. 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>
14. 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>
15. El-Nashar Y. I., Ammar M. H. Mutagenic influences of colchicine on phenological and molecular diversity of *Calendula officinalis* L. // *Genet. Mol. Biol.* 2015. Vol. 15. P. 1–15. <https://doi.org/10.4238/gmr.15027745>
16. 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>
17. Pedersen C., Linde Laursen I. Chromosomal locations of four minor rDNA loci and a marker microsatellite sequence in barley // *Chromosome Res.* 1994. V. 2. P. 65–71.
18. Pereira R. C., Ferreira, M. T. M., Davide, L. C., Pasqual, M., Mittelman, A., Techio, V. H. Chromosome duplication in *Lolium multiflorum* Lam. // *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 2014. Vol. 14. P. 251–255. <https://doi.org/10.1590/1984-70332014v14n4n39>
19. 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>
20. Rasmusson D.C., Glass R.L. Estimates of genetic and environmental variability in barley // *Crop Sci.* 1967. Vol. 7. P. 185–188.
21. 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.
22. Sattler M.C., Carvalho C.R., Clarindo W.R. The polyploidy and its key role in plant breeding // *Planta*. 2016. Vol. 243. P. 281–296. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2450-x>
23. Samatadze T. E., Yurkevich O. Y., Khazieva F. M., Basalaeva I. V., Konyaeva E. A., Burova A. E., Zoshchuk S. A., Morozov A. I., Amosova A. V., Muravenko O. V. Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (*Polemoniaceae*) // *Plants*. 2022. Vol. 11, 2585. <https://doi.org/10.3390/plants11192585>

24. Tulay E., Unal M. Production of colchicine induced tetraploids in *Vicia villosa* roth // *Caryologia-Firenze*. 2010. Vol. 63(3). P. 292–203.

References

1. Badaeva E.D., Salina E.A. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*, 2013, vol. 17, no. 4/2, pp. 1017-1043.
2. Burmistrov A.N., Nikitina V.A. *Medonosnye rasteniya i ikh pyl'tsa: Spravochnik* [Honey plants and their pollen: Handbook]. M.: Rosagropromizdat, 1990, 192 p.
3. State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV edition. Federal Electronic Medical Library of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2018 FS. 5.3.0003.15, FS.1.5.1.0002.15). <https://femb.ru/record/pharmacopoeia14>
4. State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV ed. FS.2.5.0020.15. 2015. <http://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-xiii-online-gf-14-online>
5. Zelentsov S.V., Moshnenko E.V. *Nauchno-tehnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*, 2004, vol. 1, no. 130, pp. 10-14.
6. Mal'tseva A.A., Sorokina A.A., Brezhneva T.A., Chistyakova A.S., Slivkin A.I. *Farmatsiya*, 2011, no. 7, pp. 13-16.
7. Muravenko O.V., Zelenin A.V. *Genetika*, 2009, vol. 45, no. 11, pp. 1516-1529.
8. Semenova O.Yu., Samatadze T.E., Zelenin A.V., Muravenko O.V. *Biologicheskie membrany*, 2006, vol. 23, no. 6, pp. 453-460.
9. Samatadze T.E., Yurkevich O.Yu., Khazieva F.M., Basalaeva I.V., Amosova A.V., Muravenko O.V. *Kollektsii kak osnova izucheniya geneticheskikh resursov rasteniy i gribov: Tezisy dokladov Vserossiyskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 22–23 iyunya 2022 g. (v ramkakh Pervogo nauchnogo foruma «Geneticheskie resursy Rossii», 21–24 iyunya 2022 g.)* [Collections as a basis for the study of genetic resources of plants and fungi: Abstracts of the All-Russian Conference. St. Petersburg, June 22–23, 2022 (as part of the First Scientific Forum “Genetic Resources of Russia”, June 21–24, 2022)]. St. Petersburg: Botanical Institute. V.L. Komarova RAN, 2022, p. 45.
10. Azmi T.K.K., Sukma D., Aziz S.A., Syukur M. Polyploidy induction of moth orchid (*Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume) by colchicine treatment on pollinated flowers. *J. Agric. Sci.*, 2016, Vol. 11(2), pp. 62-73. <https://doi.org/10.4038/jas.v11i2.8118>
11. Banyai W., Sangthong R. Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L. *Plant Biotechnology*, 2010, vol. 27(5), pp. 427–433.
12. Glazunova A., Haziyeva F., Samatadze T. Effect of Colchicine treatment on the cariology and morphology signs of *Polemonium caeruleum* L. *BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 17, 00210. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700210>

13. 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>
14. 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>
15. El-Nashar Y. I., Ammar M. H. Mutagenic influences of colchicine on phenological and molecular diversity of *Calendula officinalis* L. *Genet. Mol. Biol.*, 2015, vol. 15, pp. 1–15. <https://doi.org/10.4238/gmr.15027745>
16. 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>
17. Pedersen C., Linde Laursen I. Chromosomal locations of four minor rDNA loci and a marker microsatellite sequence in barley. *Chromosome Res.*, 1994, vol. 2, pp. 65–71.
18. Pereira R. C., Ferreira, M. T. M., Davide, L. C., Pasqual, M., Mittelman, A., Techio, V. H. Chromosome duplication in *Lolium multiflorum* Lam. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, 2014, vol. 14, pp. 251–255. <https://doi.org/10.1590/1984-70332014v14n4n39>
19. 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>
20. Rasmusson D.C., Glass R.L. Estimates of genetic and environmental variability in barley. *Crop Sci.*, 1967, vol. 7, pp. 185–188.
21. 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.
22. Sattler M.C., Carvalho C.R., Clarindo W.R. The polyploidy and its key role in plant breeding. *Planta*, 2016, vol. 243, pp. 281–296. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2450-x>
23. Samatadze T. E., Yurkevich O. Y., Khazieva F. M., Basalaeva I. V., Konyaeva E. A., Burova A. E., Zoshchuk S. A., Morozov A. I., Amosova A. V., Muravenko O. V. Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (*Polemoniaceae*). *Plants*, 2022, vol. 11, 2585. <https://doi.org/10.3390/plants11192585>

24. Tulay E., Unal M. Production of colchicine induced tetraploids in *Vicia villosa* roth. *Caryologia-Firenze*, 2010, vol. 63(3), pp. 292–203.

ВКЛАД АВТОРОВ

Хазиева Ф.М.: морфологические наблюдения, статистическая обработка результатов, подготовка текста статьи.

Басалаева И.В.: морфологические наблюдения, статистическая обработка результатов, подготовка текста статьи.

Коняева Е.А.: анатомические исследования.

Бурова А.Е.: химический анализ.

Саматадзе Т.Е.: цитогенетические исследования, подготовка текста статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Firdaus M. Khazieva: morphological observations, statistical processing of the results, preparation of the text of the article.

Irina V. Basalaeva: morphological observations, statistical processing of the results, preparation of the text of the article.

Elena A. Konyaeva: anatomical studies.

Alla E. Burova: *chemical analysis*.

Tatyana E. Samatadze: cytogenetic studies, preparation of the text of the article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

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

Басалаева Ирина Владимировна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
basalaeva@vilarnii.ru

Коняева Елена Анатольевна, старший научный сотрудник, Испытательный центр Центра химии и фармацевтической технологии

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
konyaeva@vilarnii.ru*

Бурова Алла Евгеньевна, старший научный сотрудник, Испытательный центр Центра химии и фармацевтической технологии
*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
burova@vilarnii.ru*

Саматадзе Татьяна Егоровна, к. биол. наук, старший научный сотрудник
*Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН
ул. Вавилова, 32, г. Москва 119991, Российская Федерация
tsamatadze@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Firdaus M. Khazieva, PhD Biol., Leading Researcher of the Laboratory of Agrobiolology
*All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
vilar:6@yandex.ru
SPIN-code: 4935-9171
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-0773>
Researcher ID: ABE-7689-2020
Scopus Author ID: 57201894817*

Irina V. Basalaeva, Cand. Sci. (Agricult.), Leading Researcher of the Laboratory of Agrobiolology
*All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
basalaeva@vilarnii.ru
SPIN-code: 5969-4480
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8243-3026>*

Elena A. Konyaeva, Senior Researcher, Test Center of the Center for Chemistry and Pharmaceutical Technology

All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
konyaeva@vilarnii.ru
SPIN-code: 8803-2418

Alla E. Burova, *Senior Researcher*, Test Center of the Center for Chemistry and Pharmaceutical Technology
All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
burova@vilarnii.ru
SPIN-code: 5887-5933

Tatyana E. Samatadze, PhD Biol., *Senior Researcher*
Engelhardt Institute of Molecular Biology of the Russian Academy of Sciences
32 Vavilova Str., Moscow, 119991, Russian Federation
tsamatadze@gmail.com
SPIN-code: 3414-3514
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1012-3560>
Scopus Author ID: 6603552970

Поступила 25.10.2022

После рецензирования 08.11.2022

Принята 28.11.2022

Received 25.10.2022

Revised 08.11.2022

Accepted 28.11.2022