

С.А. Корнеева ✉
Е.Н. Седов
Т.В. Янчук
А.В. Пикунова
Н.Г. Лаврусевич

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, дер. Жилина, Орловская обл., Россия

✉ ksv81_57@bk.ru

Поступила в редакцию: 13.03.2024
Одобрена после рецензирования: 13.09.2024
Принята к публикации: 27.09.2024

© Корнеева С.А., Седов Е.Н., Янчук Т.В., Пикунова А.В., Лаврусевич Н.Г.

Конструирование новых геномов колонновидной яблони во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В статье представлены данные по созданию новых генотипов колонновидной яблони на основе интервалентных скрещиваний типа $2x \times 4x$ с использованием методов традиционной селекции и элементов ускоренной оценки гибридных форм цитозембриологическими и молекулярно-генетическими методами.

Результаты. Цитологическая оценка сеянцев, полученных от изученных интервалентных скрещиваний шести колонновидных сортов яблони и отборной колонновидной формы 29-35-123 с тетраплоидными формами 30-47-88 и 25-37-45, являющимися донорами диплоидных гамет, показала, что сеянцы с тройным набором хромосом преобладают и их доля составляет 83,0%. На долю диплоидов приходится 17,0%. Сравнительная оценка пloidности потомства показала, что разница между показателями выхода триплоидных сеянцев в потомстве семей, где в качестве отцовских форм были взяты разные доноры диплоидных гамет (25-37-45 и 30-47-88), незначительна. От тетраплоида 30-47-88 получено 81,7% триплоидного потомства, от 25-37-45 — 91,3%.

Данные молекулярно-генетического анализа подтверждают, что в комбинациях, где оба родителя обладают геном *Rvi6* устойчивости к парше (Поззия \times 30-47-88, Приокское \times 30-47-88, Созвездие \times 30-47-8), выход иммунных сеянцев высокий (70,7%) и соответствует расщеплению по этому признаку в соотношении 3:1. В семьях, где только один из родителей несет в своем генотипе ген *Rvi6*, иммунные сеянцы встречались реже (52%). Уникальная комбинация в одном генотипе колонновидности, гена *Rvi6* и тройного набора хромосом характерна для 23,1% сеянцев.

Ключевые слова: колонновидный сорт, гибрид, полиплоидия, донор диплоидных гамет, интервалентные скрещивания, иммунитет

Для цитирования: Корнеева С.А., Седов Е.Н., Янчук Т.В., Пикунова А.В., Лаврусевич Н.Г. Конструирование новых геномов колонновидной яблони во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур. *Аграрная наука*. 2024; 387(10): 154–158.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-154-158>

Svetlana A. Korneeva ✉
Evgeny N. Sedov
Tatiana V. Yanchuk
Anna V. Pikunova
Natalya G. Lavrusevich

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, village Zhilina, Orel region, Russia

✉ ksv81_57@bk.ru

Received by the editorial office: 13.03.2024
Accepted in revised: 13.09.2024
Accepted for publication: 27.09.2024

© Korneeva S.A., Sedov E.N., Yanchuk T.V., Pikunova A.V., Lavrusevich N.G.

Construction of new genomes of columnar apple trees in the Russian research institute of fruit crop breeding

ABSTRACT

Relevance. The article presents data on the creation of new genotypes of columnar apple trees based on interval crossings of the $2x \times 4x$ type using traditional breeding methods and elements of accelerated assessment of hybrid forms using cytoembryological and molecular genetic methods.

Results. Cytological assessment of seedlings obtained from the studied interval crossings of six columnar apple varieties and the selected columnar form 29-35-123 with tetraploid forms 30-47-88 and 25-37-45, which are donors of diploid gametes, showed that seedlings with a triple set of chromosomes prevail and their share is 83.0%. The share of diploids accounts for 17.0%. A comparative assessment of the ploidy of offspring showed that the difference between the yield of triploid seedlings in the offspring of families where different donors of diploid gametes (25-37-45 and 30-47-88) were taken as paternal forms is insignificant. From the tetraploid 30-47-88, 81.7% of triploid offspring were obtained, from 25-37-45 — 91.3%.

The data of molecular genetic analysis confirm that in combinations where both parents have the scab immunity gene, the yield of immune seedlings is high (70,7%) and corresponds to the splitting on this basis in a ratio of 3:1. In families where only one of the parents carries the *Rvi6* gene in its genotype (Garland \times 25-37-45, 29-35-123 \times 25-37-45, Moscow necklace \times 30-47-88 and Constellation \times 25-37-45) immune seedlings were less common (52%). A unique combination of columnarity, the *Rvi6* gene and a triple set of chromosomes in one genotype is characteristic of 23.1% of seedlings.

Key words: columnar cultivar, hybrid, polyploidy, donor of diploid gametes, interval crosses, immunity

For citation: Korneeva S.A., Sedov E.N., Yanchuk T.V., Pikunova A.V., Lavrusevich N.G. Construction of new genomes of columnar apple trees in the Russian research institute of fruit crop breeding. *Agrarian science*. 2024; 387(10): 154–158 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-154-158>

Введение/Introduction

Колонновидные сорта яблони характеризуются особым габитусом. Деревья растут преимущественно вверх, образуют очень мало боковых побегов, взрослое дерево в пространстве занимает очень мало места, что позволяет создавать сверхплотные насаждения порядка 20–22 тыс. растений на 1 га. Листья толстые, имеют дополнительный слой столбчатой ткани, темно-зеленого цвета, с большим количеством хлоропластов [1–3]. Первый колонновидный сорт Vijeik появился в результате спонтанной мутации на 50-летнем дереве сорта Мекинтош в Канаде в 1964 году. В Россию колонновидная форма яблони попала в виде пыльцы сорта Vijeik в 1972 году [1].

Скороплодность, ежегодное плодоношение и высокая урожайность с единицы площади обеспечивают высокую эффективность использования колонн для закладки производственных суперинтенсивных насаждений с быстрым возвратом инвестируемых средств [3, 4].

Колонновидная форма яблони — перспективный объект для селекционеров. Так, ген *Co*, отвечающий за особенности габитуса этой формы яблони, является доминантным, что позволяет прогнозировать результаты скрещиваний [5, 6].

Самым вредоносным заболеванием яблони, снижающим товарные качества плодов, ухудшающим ассимиляционную деятельность, ослабляющим общее состояние деревьев, снижающим зимостойкость и урожайность, является парша [7, 8]. В связи с этим одна из задач при создании новых колонновидных сортов — наличие у них устойчивости к парше. Для этого в селекционные программы включают доноры гена *Rvi6* [9, 10].

Повышенная плоидность ведет к увеличению размеров клеток и, как следствие, массы вегетативных и генеративных органов, что повышает хозяйственную ценность подобных генотипов. Известно, что полиплоиды характеризуются большей устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам окружающей среды, поэтому получение триплоидных форм колонновидной яблони является весьма актуальной задачей селекции [11–13].

Спонтанное возникновение полиплоидов происходит редко, поэтому целенаправленная работа по получению триплоидных сортов — одно из перспективных селекционных направлений [9]. Использование тетраплоидных форм в качестве доноров диплоидных гамет и колонновидных сортов в качестве доноров гена *Co* в интервалентных скрещиваниях типа $2x \times 4x$ позволяет создавать триплоидные сорта с колонновидным габитусом [11].

Цитологический контроль, сопровождающий данную работу, позволяет интенсифицировать и ускорить ее, так как еще на ранних этапах онтогенеза семян (на второй год жизни растений) лабораторными методами можно установить плоидность гибридного потомства и провести отбор нужных форм [14].

В ФНЦ им. И.В. Мичурина (г. Мичуринск) созданы 5 колонновидных сортов, из них колонновидный габитус с моногенной устойчивостью к парше сочетает один — сорт Каскад. В ФНЦ «Садоводства» (г. Москва) созданы 9 колонновидных сортов, иммунитетом к парше обладают сорта Валуа, Червонец, Лукомор, Триумф [15]. Во ВНИИСПК получены 5 колонновидных сортов, 4 из которых имеют ген *Rvi6* (Приокское, Восторг, Поэзия, Гирлянда) [16].

Колонновидные сорта Россошанской опытной станции Виктория, Корал, Михайловская, Натальяшка и сорт Белоснежка селекции Крымской опытной станции садоводства гена *Rvi6* не имеют [17].

В качестве родительских форм зарубежных колонновидных сортов часто используется Vijeik или первые гибридные формы, полученные от него. Все они характеризуются низким уровнем хозяйственно ценных признаков, передающихся потомству. В частности, посредственный вкус плодов, низкое содержание аскорбиновой кислоты, периодичность плодоношения, низкая зимостойкость [18, 19]. Триплоидных колонновидных сортов яблони и тем более сортов, сочетающих тройной набор хромосом, иммунитет к парше и колонновидный габитус кроны, нет. Целенаправленная селекционная работа в этом направлении ведется только во ВНИИСПК.

Цель исследования — создание новых генотипов колонновидной яблони с уникальным сочетанием в одном генотипе колонновидности, триплоидного набора хромосом и моногенной устойчивости к парше (ген *Rvi6*) на основе интервалентных скрещиваний типа $2x \times 4x$ с использованием методов традиционной селекции и элементов ускоренной оценки гибридных форм цитогенетическими и молекулярно-генетическими методами.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для получения гибридного фонда, из которого проводится отбор ценных генотипов, проведен ряд целенаправленных скрещиваний доноров колонновидности (гена *Co*), гена *Rvi6* и доноров диплоидных гамет.

Объектами исследования являются сеянцы 9 гибридных семей:

- колонновидный сорт яблони Поэзия \times тетраплоидная форма яблони селекции ВНИИСПК 30-47-88;
- колонновидный сорт яблони Московское ожерелье \times 30-47-88 (4x);
- колонновидный сорт Восторг \times тетраплоидная форма яблони селекции ВНИИСПК 25-37-45;
- колонновидный сорт Приокское \times 25-37-45 (4x);
- Приокское \times 30-47-88 (4x);
- колонновидный сорт Гирлянда \times 30-47-88 (4x);
- колонновидный сорт Созвездие \times 30-47-88 (4x);
- колонновидный сорт Гирлянда \times 25-37-45 (4x);
- отборный колонновидный гибрид 29-35-123 \times 25-37-45 (4x).

Сорта Поэзия, Приокское, Восторг, Гирлянда получены во ВНИИСПК. Они характеризуются высокой скороплодностью, высокими товарными и вкусовыми качествами плодов, стабильным плодоношением, высокой устойчивостью к парше, обусловленной геном *Rvi6*.

Сорт Московское ожерелье получен селекционером кандидатом с.-х. наук М.В. Качалкиным. Сорт скороплодный, высокоурожайный с плодами позднего срока созревания. Характеризуется частичной самоплодностью и регулярностью плодоношения.

29-35-123 — отборная колонновидная форма яблони селекции ВНИИСПК зимнего срока созревания.

Отцовские формы — тетраплоиды 30-47-88 и 25-37-45 селекции ВНИИСПК. Они являются донорами диплоидных гамет, а форма 30-47-88 еще и донором гена *Rvi6*. С их участием уже получен ряд триплоидных сортов яблони.

Для цитологического анализа плоидности гибридного потомства яблони использовался пропионово-

лакмоидный метод¹. Прямой подсчет числа хромосом осуществлялся на временных давленных препаратах, приготовленных из меристем и молодых листочков точек роста. Исследования проводили на микроскопе Nikon-80i (Nikon, Япония).

Наличие гена *Rvi6* у гибридов выявляли с помощью ПЦР (полимеразная цепная реакция) анализа *Vfc*-маркера². ДНК выделяли из молодых листьев по методике Plant DNA Extraction Protocol for DArT³. Продукты ПЦР визуализировали в 1,7% агарозном геле.

Плоидность, колонновидный габитус и наличие гена *Rvi6* при отборе гибридов определяются еще в школке у однолетних сеянцев. Оценка набора хозяйственно ценных признаков в саду первичного сортоизучения — согласно общепринятой методике⁴. Колонновидный габитус оценивали по показателю степени компактности (отношение длины междоузлия к толщине однолетнего побега), отбору подлежат гибриды с коэффициентом не более 2,5 [1].

Математическая обработка результатов исследований проводилась методом дисперсионного анализа⁵ с использованием компьютерной программы Excel (США). Существенность различий в степени вариации выхода триплоидных сеянцев оценивалась по критерию *F*. Оценка соответствия между теоретическими и практическими результатами скрещивания по признаку колонновидности и наличия гена *Rvi6* представлена данными критерия χ^2 при уровне значимости 0,05.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для получения нужных генотипов с 2010 по 2014 г. были проведены целенаправленные скрещивания с использованием доноров колонновидного габитуса кроны, гена *Rvi6* и диплоидных гамет.

Гибридологический анализ 559 сеянцев, полученных от колонновидных сортов, показал, что фактическое расщепление между колонновидными фенотипами и неколонновидными соответствует теоретически ожидаемому (1:1), что подтверждается данными статистической обработки результатов. Значения χ^2 по всем изученным семьям значительно меньше критического значения (3,84) при уровне значимости 0,05 (табл. 1). В среднем 54,4% гибридного потомства характеризуются колонновидным габитусом.

Молекулярно-генетический анализ показал, что из 160 образцов в комбинации скрещивания Поэзия × 30-47-88 ген *Rvi6* обнаружен у 118 из них. В комбинации скрещивания Приокское × 30-47-88 ген *Rvi6* обнаружен у 48 сеянцев из 70 проанализированных. В гибридной семье Созвездие × 30-47-88 из 53 сеянцев 37 имеют ген *Rvi6*.

Оценка наследования гена *Rvi6* в гибридных семьях, полученных на основе колонновидных сортов селекции ВНИИСПК (Приокское, Поэзия, Созвездие), имеющих ген *Rvi6* и тетраплоидной формы 30-47-88 (в свою очередь обладающей геном *Rvi6*), свидетельствует о гетерозиготном состоянии изучаемого гена у обоих родителей. Полученные значения χ^2 меньше критического при уровне значимости 0,05, что подтверждает расщепление по этому признаку 3:1.

В семьях Гирлянда × 25-37-45, 29-35-123 × 25-37-45, Московское ожерелье × 30-47-88, Созвездие × 25-37-45 сеянцы с геном *Rvi6* встречались реже: в 44 случаях из 81, в 17 из 30, 47 из 91, 10 из 18 соответственно. В данных семьях только один из родителей обладает геном *Rvi6*, и теоретическое расщепление 1:1 по этому признаку подтверждается анализом и статистической обработкой полученных данных (значение χ^2 колеблется в пределах 1,2–0,2 и меньше критического (3,84) при уровне значимости 0,05).

Ряд гибридов сочетают в своем генотипе тройной набор хромосом, колонновидный габитус и ген *Rvi6*. В комбинации скрещивания Поэзия × 30-47-88 подобных сеянцев 20,6% (33 шт. из 160 проанализированных), в семьях Приокское × 30-47-88 — 27,1% (19 из 70), Гирлянда × 25-37-45 — 40,7% (33 из 81), 29-35-123 × 25-37-45 — 40,0% (12 из 30). Созвездие × 30-47-88 (4х) — 18,9% (10 из 53), Московское ожерелье × 30-47-88 (4х) — 24,2% (22 из 91). В семьях Восторг × 25-37-45 (4х) и Созвездие × 25-37-45 (4х) подобных генотипов не обнаружено.

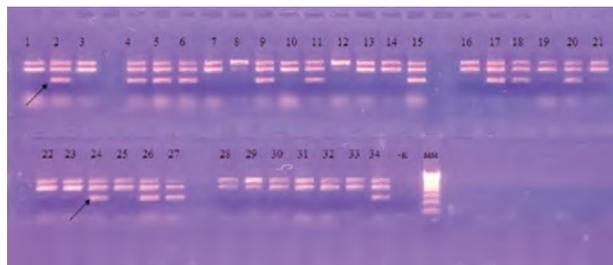
Цитологический анализ плоидности полученных гибридных сеянцев показал, что из 559 сеянцев диплоидов ($2n = 2x = 34$) 95 шт., триплоидов ($2n = 2x = 51$) 464 шт., тетраплоидов ($2n = 4x = 68$) 0 шт. (табл. 1).

Сравнительная оценка доноров диплоидных гамет 25-37-45 и 30-47-88 в скрещиваниях с колонновидными сортами по всем комбинациям скрещивания показала, что в семьях, где в качестве отцовской формы использовался тетраплоид 30-47-88 81,7% гибридных сеянцев имеют тройной набор хромосом, что всего на 9,6% меньше, чем в семьях тетраплоидной формы 25-37-45, что является несущественным различием ($F_{\phi} < F_{\tau}$). В семье Приокское × 25-37-45 100% сеянцев являются триплоидными. Наименьшая доля новых генотипов с тройным набором хромосом отмечена в семье Поэзия × 30-47-88, но и это значение большое — 70%.

В среднем по всем проанализированным семьям большая доля триплоидных сеянцев — 83,0%, это подтверждает перспективность тетраплоидных форм

Рис. 1. Фрагмент электрофореграммы продуктов амплификации с *Vfc*-праймерами в 1,7% агарозном геле: стрелкой указаны фрагменты размером 286 п. н., которые свидетельствуют о наличии *Vfc*-маркера гена *Rvi6*; 1-34 — условные обозначения гибридов; -к — минус контроль амплификации без добавления ДНК; мм — маркер молекулярного веса с фрагментами размером 100, 200, 300, 400, 500... 1000 п. н.

Fig. 1. Fragment of the electrophoregram of amplification products with *Vfc* primers in 1.7% agarose gel: the arrow indicates fragments with a size of 286 bp, which indicate the presence of the *Vfc* marker of the *Rvi6* gene; 1-34 are the symbols of hybrids; -k — minus amplification control without DNA addition; mm — molecular weight marker with fragments of size 100, 200, 300, 400, 500... 1000 P. n.



¹ Руденко И.С., Дудукал Г.Д. Простой и быстрый метод приготовления временных препаратов для цитологических исследований плодовых. Цитология и генетика. 1972; 6(3): 266–268.

² Afunian M.R., Goodwin P.H., Hunter D.M. Linkage *Vfa4* in *Malus domestica* and *Malus floribunda* with *Vf* resistance to the apple scab pathogen *Venturia inaequalis*. Plant Pathology. 2004; 53: 461–467.

³ Diversity Array Technology, Australia. https://ordering.diversityarrays.com/files/DArT_DNA_isolation.pdf

⁴ Седов Е.Н., Красова Н.Г., Жданов В.В., Долматов Е.А., Можар Н.В. Особенности сортоизучения семечковых культур. В программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК. 1999; 253–259.

⁵ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

Таблица 1. Оценка плоидности, иммунитета и колонновидности гибридных сеянцев яблони
Table 1. Assessment of ploidy, immunity and columnarity of hybrid apple seedlings

Комбинация скрещивания	Всего растений, шт.	С геном иммунитета к парше (Rvi6)			Колонновидные			3x		С тремя признаками	
		шт.	%	$\chi^2_{1:1}$	шт.	%	$\chi^2_{1:1}$	шт.	%	шт.	%
Восторг × 25-37-45 (4x)	56,0	24,0	42,9	1,2	26,0	46,4	0,3	51,0	91,1	0	0
Созвездие × 25-37-45 (4x)	18,0	10,0	55,6	0,2	8,0	44,4	0,2	18,0	100,0	0	0
Гирлянда × 25-37-45 (4x)	81,0	44,0	54,3	0,3	55,0	67,9	0,3	79,0	97,5	33,0	40,7
29-35-123 × 25-37-45 (4x)	30,0	17,0	56,7	0,3	21,0	70,0	0,3	23,0	76,7	12,0	40,0
Среднее значение	46,3	23,8	52,4		27,5	57,2		42,8	91,3	11,3	20,2
Московское ожерелье × 30-47-88 (4x)	91,0	47,0	51,6	0,6	48,0	52,7	0,3	71,0	78,0	22,0	24,2
Поэзия × 30-47-88 (4x)	160,0	118,0	73,8	0,1*	83,0	51,9	0,2	112,0	70,0	33,0	20,6
Приокское × 30-47-88 (4x)	70,0	48,0	68,6	1,2*	33,0	47,1	0,2	63,0	90,0	19,0	27,1
Созвездие × 30-47-88 (4x)	53,0	37,0	69,8	0,8*	30,0	56,6	1,0	47,0	88,7	10,0	18,9
Среднее значение	93,5	62,5	66,0		48,5	65,1		73,3	81,7	21,0	22,7
HCP _{0,5}								$F_{\phi} < F_T$		$F_{\phi} < F_T$	
Итого по всем комбинациям	559	345	59,2		304	54,4		464	83,0	129	21,5

Примечание: * значение χ^2 при теоретическом расщеплении 3:1.

30-47-88 и 25-37-45 как доноров качественных диплоидных гамет. Полученные данные свидетельствуют о высокой ценности этих тетраплоидных форм для селекционных программ по созданию новых сортов яблони.

Лучшие сеянцы (получившие высокую оценку степени культурности) селекционерами перенесены в сад для дальнейших наблюдений и изучения колонновидного габитуса, набора хозяйственно ценных признаков и уровня адаптивности.

Из этих гибридных сеянцев на основе полевых наблюдений и результатов лабораторных исследований выделены отборные и элитные формы.

35-1-74 [Созвездие × 25-37-45 (4x) (Орловская гирлянда × Уэлси тетраплоидный)] — сеянец колонновидного габитуса с геном Rvi6.

35-1-105 {Поэзия × 30-47-88 (4x) [Либерти × 13-6-106 (сеянец Суворовца)]} — триплоидный колонновидный гибридный сеянец.

35-1-106 {Поэзия × 30-47-88 (4x) [Либерти × 13-6-106 (сеянец Суворовца)]} — триплоидный колонновидный гибридный сеянец.

35-1-109 {Поэзия × 30-47-88 (4x) [Либерти × 13-6-106 (сеянец Суворовца)]} — триплоидный колонновидный гибридный сеянец.

Элитный сеянец 35-2-28 [Гирлянда × 25-37-45 (4x) (Орловская гирлянда × Уэлси тетраплоидный)] — триплоидный с геном Rvi6 сеянец колонновидного габитуса.

Элитный сеянец № 295 {Поэзия × 30-47-88 (4x) [Либерти × 13-6-106 (сеянец Суворовца)]} — триплоидный

колонновидный (Co), обладающий моногенной устойчивостью к парше (Rvi6) сеянец зимнего срока созревания плодов. Такие сорта составят основу будущего суперинтенсивного садоводства и обеспечат высокую конкурентоспособность отечественного плододоводства.

Выводы/Conclusions

Из 559 сеянцев восьми гибридных семей выявлены 464 триплоидных растения. В среднем по всем семьям соотношение количества сеянцев по плоидности следующее: диплоиды составляют 17,0%, триплоиды — 83,0%.

Доля гибридов с геном Rvi6 в изученных семьях составила 61,7% от общего количества сеянцев.

Более высокий выход таких сеянцев в комбинациях Поэзия × 30-47-88 (4x), Приокское × 30-47-88 (4x), Созвездие × 30-47-88 (4x) (от 69,8 до 73,8%) обусловлен наличием гена Rvi6 как у материнской, так и у отцовской родительской формы. Сочетание в одном генотипе трех признаков — колонновидности, триплоидного набора хромосом, гена Rvi6 — отмечено у 23,0% сеянцев.

Гибридологический анализ потомства показывает, что все сорта колонновидной формы яблони, взятые в рамках исследования в качестве родительских форм в целенаправленных скрещиваниях, имеют гетерозиготный генотип по гену колонновидности (Coco), их использование в селекции обеспечит большой выход колонновидных сеянцев.

Сравнительная селекционная оценка изученных гибридных семей показала, что выдающейся по выходу отборных и элитных сеянцев является семья Поэзия × 30-47-88 (4x), от этой комбинации скрещивания получены 3 отборные формы и 1 элитный сеянец.

Полученные данные свидетельствуют о перспективности привлечения тетраплоидных форм 30-48-88, 25-37-45 и колонновидных сортов в селекцию яблони для получения уникальных генотипов, характеризующихся колонновидным габитусом, высоким потенциалом хозяйственно ценных признаков, адаптивностью. Подобные сорта составят основу современного и суперинтенсивного садоводства и сыграют значительную роль в реализации программы по импортозамещению плодовой продукции.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Создание новых конкурентоспособных, адаптивных сортов семечковых культур с использованием инновационных методов селекции и разработка экологически безопасных элементов технологии выращивания, переработки и хранения» (FGZS-2022-0008).

FUNDING

The Research completed as part of a security assignment on the topic "Creation of new competitive, adapted varieties of pome crops using innovative methods of selection and development of environmentally friendly elements, technologies for cultivation, processing and storage" (FGZS-2022-0008).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Качалкин М.В. Яблоня XXI века. Колонны, которые плодоносят. Москва. 2013; 64.
2. Talwara S., Grout B.W.W., Toldam-Andersen T.B. Modification of leaf morphology and anatomy as a consequence of columnar architecture in domestic apple (*Malus × domestica* Borkh.) trees. *Scientia Horticulturae*. 2013; 164: 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.025>

REFERENCES

1. Kachalkin M.V. Apples of the 21st century. Columnars that bear fruit. Moscow. 2013; 64 (in Russian).
2. Talwara S., Grout B.W.W., Toldam-Andersen T.B. Modification of leaf morphology and anatomy as a consequence of columnar architecture in domestic apple (*Malus × domestica* Borkh.) trees. *Scientia Horticulturae*. 2013; 164: 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.025>

3. Vávra R., Vejil P., Blažek J. Growth characteristics of columnar apple tree genotype. *ISHS Acta Horticulturae*. 2021; 1307: 83–90. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2021.1307.13>
4. Шибзухов З.Г.С., Кумахов А.А., Кишев А.Ю., Езиев М.И., Ханцев М.М. Продуктивность колонновидных сортов яблони в условиях КБР. *International Agricultural Journal*. 2021; 64(6): 53. <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10437>
5. Blažek J., Křelínová J. Tree growth and some other characteristics of new columnar apple cultivars bred in Holovousy, Czech Republic. *Horticultural Science (Prague)*. 2011; 38(1): 11–20.
6. Otto D., Petersen R., Brauksiepe B., Braun P., Schmidt E.R. The columnar mutation ("Co gene") of apple (*Malus × domestica*) is associated with an integration of a Gypsy-like retrotransposon. *Molecular Breeding*. 2014; 33(4): 863–880. <https://doi.org/10.1007/s11032-013-0001-3>
7. Dar J.A., Zargar S.M., Rather R.N., Wani A.A. Mining new scab resistance alleles in apple (*Malus × domestica* Borkh.) germplasm of Kashmir: Towards breeding scab free apple cultivars. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2020; 80(01): 112–114.
8. Zelmene K., Kārklīna K., Ikase L., Lācis G. Inheritance of Apple (*Malus × domestica* (L.) Borkh.) Resistance against Apple Scab (*Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.) in Hybrid Breeding Material Obtained by Gene Pyramiding. *Horticulturae*. 2022; 8(9): 772. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090772>
9. Седов Е.Н., Корнеева С.А., Янчук Т.В. Роль отечественной селекции в совершенствовании сортаменты яблони в России. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2021; 4: 17–19. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/17-19>
10. Ikase L., Drudze I., Lācis G. Current achievements of the Latvian apple breeding programme. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B: Natural Exact and Applied Sciences*. 2022; 76(4): 424–431. <https://doi.org/10.2478/prolas-2022-0066>
11. Седов Е.Н., Корнеева С.А., Янчук Т.В. Продолжительность периода создания сортов яблони и задачи по его сокращению. *Аграрная наука*. 2021; 7–8: 104–108. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-104-108>
12. Podwyszyńska M., Markiewicz M., Klamkowski K., Broniarek A., Marasek-Ciołakowska A. The genetic background of the phenotypic variability observed in apple autotetraploids. *ISHS Acta Horticulturae*. 2021; 1307: 177–186. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1307.28>
13. Švara A., Ilnikar K., Carpentier S., De Storme N., De Conincke B., Keulemansab W. Polyploidy affects the development of *Venturia inaequalis* in scab-resistant and -susceptible apple cultivars. *Scientia Horticulturae*. 2021; 290: 110436. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110436>
14. Горбачева Н.Г., Седов Е.Н., Клименко М.А. Цитологический контроль в селекции яблони на полиплоидном уровне. *Современное садоводство*. 2018; 1: 18–23. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10103>
15. Савельева Н.Н., Земисов А.С. Успехи селекции яблони колонновидной в ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина. *Селекция и сортоведение садовых культур*. 2020; 7(1–2): 134–137. <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11235>
16. Корнеева С.А., Седов Е.Н., Янчук Т.В. Селекция колонновидных сортов яблони на суперкомпактный габитус. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022; 183(2): 129–136. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-2-129-136>
17. Есичев С.Т. Оценка сортов и гибридов колонновидных форм яблони. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2012; 32(1): 132–138. <https://elibrary.ru/owgwww>
18. Petersen R., Krost C. Tracing a key player in the regulation of plant architecture: the columnar growth habit of apple trees (*Malus × domestica*). *Planta*. 2013; 238(1): 1–22. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1898-9>
19. Baldi P., Wolters P.J., Komjanc M., Viola R., Velasco R., Salvi S. Genetic and physical characterisation of the locus controlling columnar habit in apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Molecular Breeding*. 2013; 31(2): 429–440. <https://doi.org/10.1007/s11032-012-9800-1>
3. Vávra R., Vejil P., Blažek J. Growth characteristics of columnar apple tree genotype. *ISHS Acta Horticulturae*. 2021; 1307: 83–90. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2021.1307.13>
4. Шибзухов З.Г.С., Кумахов А.А., Кишев А.Ю., Езиев М.И., Ханцев М.М. Productivity of columnar apple varieties in CBD conditions. *International Agricultural Journal*. 2021; 64(6): 53 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10437>
5. Blažek J., Křelínová J. Tree growth and some other characteristics of new columnar apple cultivars bred in Holovousy, Czech Republic. *Horticultural Science (Prague)*. 2011; 38(1): 11–20.
6. Otto D., Petersen R., Brauksiepe B., Braun P., Schmidt E.R. The columnar mutation ("Co gene") of apple (*Malus × domestica*) is associated with an integration of a Gypsy-like retrotransposon. *Molecular Breeding*. 2014; 33(4): 863–880. <https://doi.org/10.1007/s11032-013-0001-3>
7. Dar J.A., Zargar S.M., Rather R.N., Wani A.A. Mining new scab resistance alleles in apple (*Malus × domestica* Borkh.) germplasm of Kashmir: Towards breeding scab free apple cultivars. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2020; 80(01): 112–114.
8. Zelmene K., Kārklīna K., Ikase L., Lācis G. Inheritance of Apple (*Malus × domestica* (L.) Borkh.) Resistance against Apple Scab (*Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.) in Hybrid Breeding Material Obtained by Gene Pyramiding. *Horticulturae*. 2022; 8(9): 772. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090772>
9. Sedov E.N., Korneeva S.A., Yanchuk T.V. The role of domestic breeding in improving the apple assortment in Russia. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2021; 4: 17–19 (in Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/17-19>
10. Ikase L., Drudze I., Lācis G. Current achievements of the Latvian apple breeding programme. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B: Natural Exact and Applied Sciences*. 2022; 76(4): 424–431. <https://doi.org/10.2478/prolas-2022-0066>
11. Sedov E.N., Korneeva S.A., Yanchuk T.V. Duration of the period for creating apple cultivars and tasks on reducing it. *Agrarian science*. 2021; 7–8: 104–108 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-104-108>
12. Podwyszyńska M., Markiewicz M., Klamkowski K., Broniarek A., Marasek-Ciołakowska A. The genetic background of the phenotypic variability observed in apple autotetraploids. *ISHS Acta Horticulturae*. 2021; 1307: 177–186. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1307.28>
13. Švara A., Ilnikar K., Carpentier S., De Storme N., De Conincke B., Keulemansab W. Polyploidy affects the development of *Venturia inaequalis* in scab-resistant and -susceptible apple cultivars. *Scientia Horticulturae*. 2021; 290: 110436. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110436>
14. Gorbacheva N.G., Sedov E.N., Klimenko M.A. Cytological control in apple breeding with polyploidy using. *Contemporary horticulture*. 2018; 1: 18–23 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10103>
15. Saveleva N.N., Zemisov A.S. The success of selection of columnar apple trees in FSSI I.V. Michurin FSC. *Breeding and variety cultivation of fruit and berry crops*. 2020; 7(1–2): 134–137 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11235>
16. Korneeva S.A., Sedov E.N., Yanchuk T.V. Breeding columnar apple-tree cultivars for supercompact growth habit. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022; 183(2): 129–136 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-2-129-136>
17. Esichev S.T. Evaluation of varieties and hybrids of columnar apple trees. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2012; 32(1): 132–138 (in Russian). <https://elibrary.ru/owgwww>
18. Petersen R., Krost C. Tracing a key player in the regulation of plant architecture: the columnar growth habit of apple trees (*Malus × domestica*). *Planta*. 2013; 238(1): 1–22. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1898-9>
19. Baldi P., Wolters P.J., Komjanc M., Viola R., Velasco R., Salvi S. Genetic and physical characterisation of the locus controlling columnar habit in apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Molecular Breeding*. 2013; 31(2): 429–440. <https://doi.org/10.1007/s11032-012-9800-1>

ОБ АВТОРАХ

Светлана Александровна Корнеева

кандидат сельскохозяйственных наук

ksv81_57@bk.ru

orcid:0000-0003-2772-5311

Евгений Николаевич Седов

академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук,

профессор

sedov@orel.vniispk.ru

orcid:0000-0002-2067-1894

Татьяна Владимировна Янчук

кандидат сельскохозяйственных наук

yanchuk@orel.vniispk.ru

orcid: 0000-0003-4077-7095

Анна Викторовна Пикунцова

кандидат биологических наук

pikuanna84@mail.ru

orcid: 0000-0003-4269-4250.

Наталья Геннадьевна Лаврусевич

кандидат сельскохозяйственных наук

lavrusevich@orel.vniispk.ru

orcid: 0000-0001-8985-8967

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции

плодовых культур,

дер. Жилина, Орловская обл., 302530, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Svetlana Aleksandrovna Korneeva

Candidate of Agricultural Sciences

ksv81_57@bk.ru

orcid:0000-0003-2772-5311

Evgeny Nikolaevich Sedov

Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor

of Agricultural Sciences, Professor

sedov@orel.vniispk.ru

orcid:0000-0002-2067-1894

Tatyana Vladimirovna Yanchuk

Candidate of Agricultural Sciences

yanchuk@orel.vniispk.ru

orcid: 0000-0003-4077-7095

Anna Viktorovna Pkunova

Candidate of Biological Sciences

pikuanna84@mail.ru

orcid: 0000-0003-4269-4250

Natalya Gennadievna Lavrusevich

Candidate of Agricultural Sciences

lavrusevich@orel.vniispk.ru

orcid: 0000-0001-8985-8967

All-Russian Scientific Research Institute of Fruit Crop Breeding,

village Zhilina, Orel region, 302530, Russia