

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-27-33>
УДК 635.649:631.526.325:573.6

Е.А. Джос, Д.В. Шумилина,
О.Н. Пышная, М.И. Мамедов,
А.А. Байков, А.А. Матюкина

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИССОК, ул. Селекционная, д. 14

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

Для цитирования: Джос Е.А., Шумилина Д.В., Пышная О.Н., Мамедов М.И., Байков А.А., Матюкина А.А. Создание межвидового гибрида *Capsicum annuum* L. и *C. frutescens* L. с использованием биотехнологических подходов. *Овощи России*. 2021;(4):27-33.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-27-33>

Поступила в редакцию: 26.06.2021

Принята к печати: 03.08.2021

Опубликована: 25.08.2021

Elena A. Dzhos, Darya V. Shumilina,
Olga N. Pyshnaya, Mubaris I. Mamedov,
Alexey A. Baikov, Anna A. Matyukina

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC) 14, Selectsionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article.

For citations: Dzhos E.A., Shumilina D.V., Pyshnaya O.N., Mamedov M.I., Baikov A.A., Matyukina A.A. Creation of an interspecific hybrid of *Capsicum annuum* L. and *C. frutescens* L. using biotechnological approaches. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):27-33. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-27-33>

Received: 26.06.2021

Accepted for publication: 03.08.2021

Accepted: 25.08.2021

Создание межвидового гибрида *Capsicum annuum* L. и *C. frutescens* L. с использованием биотехнологических подходов



Резюме

Актуальность. В последнее время вместе с возрастающей популярностью перца *C. annuum* L. увеличивается интерес и к другим видам этого рода, которые обладают рядом селекционно важных свойств. Важнейшим методом обогащения генофонда культурных растений является отдаленная гибридизация, посредством которой идет передача ценных признаков от диких видов к культурным. Создание нового сорта – длительный процесс, который растягивается во времени на несколько лет. В связи с этим перед селекционерами стала задача получить чистые линии для создания гибрида перца с заданными свойствами, применяя современные биотехнологические методы, которые ускоряют этот процесс. Одним из них является метод культуры микроспор, позволяющий массово получать гаплоидные растения, что сокращает время создания константных родительских линий.

Материал и методика. Целью работы было создание межвидового гибрида острого перца (*C. annuum* L. x *C. frutescens* L.) с высокими декоративными свойствами, комплексом хозяйственно ценных признаков, с хорошими вкусовыми качествами. Исследования проводили в пленочной теплице ФГБНУ ФНЦО в Московской области. Материалом исследований явилась сортопопуляция острого перца *Capsicum frutescens* Cz-544-14, используемая в качестве отцовской линии, которая была гетерогенной и чистая линия *C. annuum* L. (P6-551), созданная методом классической селекции.

Результаты. Гибрид перца острого F₁ Рождественский букет был создан в результате гибридизации видовых родительских форм, полученных различными методами (биотехнологическими и классическими). Для ускорения получения выровненной отцовской формы *C. frutescens* L. была использована технология удвоенных гаплоидов через культуру микроспор. В результате чего получены удвоенные гаплоидные растения, отвечающие запланированной модели (компактный низкий габитус, фиолетовая окраска плода в технической спелости и красная в биологической). Полученный гибрид сочетал все необходимые хозяйственные признаки: высокую декоративность, компактность, букетное расположение плодов, высокие вкусовые качества и аромат. Таким образом, использование в селекционном процессе отдаленной межвидовой гибридизации в сочетании с биотехнологическими подходами позволяет ускорить получение новых, форм перца острого, отвечающих запросам рынка.

Ключевые слова: перец острый, виды перца, гибридизация, чистая линия, удвоенные гаплоиды, биотехнологические методы, растения-регенеранты

Creation of an interspecific hybrid of *Capsicum annuum* L. and *C. frutescens* L. using biotechnological approaches

Abstract

Relevance. Pepper is a common crop both for fresh consumption and for the preparation of spices. Recently, along with the increasing popularity of *C. annuum* L. pepper, there is increasing interest in other species of this genus, which have a number of breeding and important properties. The most important method of enriching the gene pool of cultivated plants is distant hybridization, through which valuable traits are transferred from wild species to cultivated ones. The development of a new variety is a lengthy process, stretching over several years. In this regard, breeders have faced the challenge of obtaining pure lines to create a pepper hybrid with desired properties by applying modern biotechnological methods that will accelerate this process. One of them is the method of microspore culture, which allows mass production of haploid plants, reducing the time for creating constant parental lines.

Material and methods. The aim of the work was to create an interspecific hybrid of hot pepper (*C. annuum* L. x *C. frutescens* L.) with high ornamental properties, a complex of economically valuable traits, with good taste qualities. The research was carried out in the film greenhouse of FSBSI FSVC in the Moscow region. The research material was a variety population of hot pepper *Capsicum frutescens* Cz-544-14, used as a paternal line, which was heterogeneous, and a pure line of *C. annuum* L. (Pb-551) created by classical breeding.

Results. The pepper hybrid F₁ Christmas bouquet was created as a result of hybridization of species parental forms obtained by different methods (biotechnological and classical). To accelerate the production of an aligned paternal form of *C. frutescens* L., the technology of doubled haploids through microspore culture was used. As a result, doubled haploid plants meeting the planned model (compact low habit, purple fruit colouring in technical ripeness and red in biological ripeness) were obtained. The resulting hybrid combined all the necessary economic features: high ornamentality, compactness, bouquet arrangement of fruits, high taste and aroma. Thus, the use of remote interspecific hybridization in the breeding process in combination with biotechnological approaches can accelerate the production of new forms of hot peppers that meet the demands of the market.

Keywords: hot pepper, pepper species, hybridization, pure line, doubled haploids, biotechnological methods, regenerant plants.

Введение

Перец является распространенной культурой, так как используется для потребления как в свежем виде, так и для приготовления специй. Род *Capsicum* происходит из тропической зоны Америки и включает в себя 38 видов, однако только 5 из них используют в сельском хозяйстве и выращивают для питания человека: *C. annuum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L., *C. pubescens* Ruizet Pav., *C. baccatum* L. (var. *pendulum*) [1, 2]. В последнее время вместе с возрастающей популярностью перца *C. annuum* L. увеличивается интерес и к другим видам этого рода, которые обладают рядом селекционно важных свойств, спрос на новые сорта острого перца растет [3]. Важнейшим методом обогащения генофонда культурных растений является отдаленная гибридизация, посредством которой идет передача ценных признаков от диких видов к культурным. Она позволяет расширить спектр генетической изменчивости, а также дает возможность получения нетрадиционных форм с хозяйственно ценными признаками. К современным сортам предъявляют следующие требования: высокая товарность, качество плодов, декоративность, устойчивость к абиотическим и биотическим факторам окружающей среды. *C. frutescens* L. – один из интересных видов перца, который приобретает популярность благодаря высокому качеству плодов, устойчивости к ряду заболеваний и разнообразию форм [4, 5]. Использование в селекции видов перца с устойчивостью к болезням, с высоким содержанием биологически активных веществ позволяет создавать продуктивные гибриды, которые не только обладают повышенной питательной ценностью, но и устойчивостью к болезням, что позволяет не применять пестициды в процессе выращивания [6, 7, 8]. Виды перца *C. frutescens* L. и *C. annuum* L. хорошо скрещиваются с образованием фертильных гибридов.

Первым этапом создания гибридов является получение чистых родительских линий. Современным методом быстрого получения чистых линий перца является культура пыльников и микроспор. Для перца гаплоидные растения впервые были получены в культуре пыльников рядом исследователей: Kuo, George, Narayanaswamy и Wang [9, 10, 11]. Дальнейшие изучения факторов, влияющих на эффективность образования эмбриоидов в культуре микроспор и пыльников, показали, что важными факторами является генотип донорного растения [12, 13, 14] и питательная среда. В частности, было показано, что результативным является культивирование пыльников и микроспор на двухслойной среде [15, 16]. Кроме того, было показано, что добавление мальтозы к питательной среде с сахарозой оказывает положительное влияние на эмбриогенез, а добавление к агаризованной части среды активированного угля положительно влияет на правильное развитие эмбриоидов [15, 16, 17, 18].

Целью нашей работы являлось создание межвидового гибрида перца острого с высокими декоративными свойствами и комплексом хозяйственно ценных признаков, в том числе с высоким содержанием биологически активных веществ. Для ускорения получения чистых родительских линий была применена культура микроспор.

Материал и методы

Исследования проводили в пленочной теплице ФГБНУ ФНЦО в московской области. Материалом исследований явилась гетерогенная сортопопуляция перца острого *C. frutescens* L. Сз-544-14 и чистая линия *C. annuum* L. (Р6-551), созданная методом классической селекции.

Получение удвоенных гаплоидов. Удвоенные гаплоидные (DH) растения *C. frutescens* Сз-544-14 регенерировали в соответствии с протоколом, описанным ранее [19], с некоторыми модификациями.

Донорные растения выращивали при температуре 24–25°C и фотопериоде 16 часов, освещенность 10 000 люкс.

Стерилизация бутонов. Бутоны стерилизовали 30 секунд в 96% этаноле, затем в течение 10–15 минут в 50% водном растворе коммерческого препарата «Белизна» с добавлением Твина-20 (1 капля на 100 мл раствора), затем многократно промывали в стерильной дистиллированной воде до исчезновения пены.

Выделение микроспор. Стерильные бутоны помещали в питательную среду Nitsch и Nitsch с добавлением 13% сахарозы (30 бутонов в 6 мл среды). В пробирку так же помещали стерильный магнит, после чего на магнитной мешалке проводили измельчение бутонов. Суспензию микроспор фильтровали через нейлоновый фильтр с размером ячеек 40 мкм и осаждали 5 мин на центрифуге типа 5804 R (Eppendorf) при 100 g. Осадок ресуспендировали в среде и повторяли центрифугирование. Промывку микроспор повторяли дважды.

Культивирование микроспор. После выделения и промывки микроспор культивирование их проводили на двухслойной среде Nitsch и Nitsch [20] с добавлением 13% сахарозы, 2% мальтозы, 30 мг/л глутатиона и с добавлением 1% активированного угля и 0,3% фитогеля в агаризованной части среды.

Получение растений-регенерантов. Появившиеся эмбриоиды на стадии крупных глобул, а также сердцевидной или торпедовидной фазах своего развития, помещали в чашки Петри на среду В-5, содержащую 2% сахарозы, 0,5 г/л активированного угля, 0,1 мг/л гиббереллиновой кислоты и 3,0 г/л фитогеля, в стеклянных или пластиковых сосудах [21]. Для образования вторичных эмбриоидов экспланты переносили на среду 1/2 МСМ с 2% сахарозы, 0,1 мг/л БАП и 3,0 г/л фитогеля [22]. Дальнейшее культивирование проводили на стеллажах с люминесцентными лампами при 25°C и фотопериоде 14 часов, освещенности 2,5 тыс. люкс. Развившиеся проростки переносили на среду 1/2 МС с 2% сахарозы, 0,5 г/л активированного угля и 3,0 г/л фитогеля для получения семян [23]. Развившиеся укорененные растения переносили в сосуды с почвой для укоренения, первые 10 дней растения были прикрыты пластиковыми прозрачными стаканчиками для сохранения повышенной влажности воздуха и лучшей акклиматизации. Определение пloidности проводили по числу хромосом в меристематических клетках кончиков корешков или в мейотических клетках микроспор. Однако для большого числа растений эти исследования трудоемки. Поэтому использовали и косвенный метод определения пloidности по числу хлоропластов в замыкающих клетках устьиц листьев перца [24].

Гибридизация. Учитывая, что перец является факультативным самоопылителем, все скрещивания проводили с кастрацией в фазе хорошо развитых бутонов за день до раскрытия цветка. Пыльцу для опыления выбирали с бутонов непосредственно перед их раскрытием и до растрескивания пыльников [25; 26]. Межвидовую гибридизацию проводили путем опыления отцовской пылью кастрированных цветков материнских растений. Кастрацию проводили в фазе хорошо развитых бутонов. Опыление выполняли в день кастрации в утренние часы, с 6 до 11, свежесобранной пылью с последующей изоляцией опыленных цветков. Завязавшиеся на момент скрещивания плоды и раскрытые цветки удаляли. В течение вегетации проводили фенологические наблюдения по фазам развития согласно методическим указаниям [27] и по методике UPOV [28]. Агротехника выращивания селекционного материала – общепринятая для условий Центральной Нечерноземной зоны России. Статистическую обработку данных проводили по Доспехову [29] с использованием пакета прикладных программ MICROSOFT EXCEL 7,0.

Содержание пигментов определяли спектрофотометрическим методом. Хлорофиллы и каротиноиды экстрагировали 100%-ным ацетоном. Их концентрацию определяли по формулам Lichtenthaler [30] и Hornero-Mendez [31].

Результаты и их обсуждение

Для решения поставленной цели было проведено изучение различных видовых форм перца острого (*C. annuum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L., *C. pubescens* Ruizet Pav., *C. baccatum* L.) по морфологическим и хозяйственно ценным признакам: урожайность и содержание биологически активных веществ (БАВ).

Для создания гибрида были отобраны два образца – *C. frutescens* L. Сз-544-14 и *C. annuum* L. (Р6-551), анализ характеристик данных линий позволил предположить, что гибрид между данными линиями может обладать рядом преимуществ. Исходная популяция отцовской родительской линии *C. frutescens* L. Сз-544-14 была гетерогенной (табл. 1).

Классическими методами, на протяжении 5 лет, отбор форм с требуемыми характеристиками (Тип 1 – раннеспелые, детерминантного типа, компактные, высотой 25-30 см, с округлой формой плода, фиолетовой окраской в технической и красной – в биологической спелости) не был успешен, не удавалось достичь выравненности. В качестве донора для культуры микроспор использовали растения с фенотипом, соответствующим заданным характеристикам родительской формы. Для исключения попадания соматических клеток в инкубационную среду было проведено изолирование микроспор из пыльников и культивирование их на двухслойной питательной среде. Через 30 дней от

Таблица 1. Гетерогенность популяции *C. frutescens* L. Сз-544-14
Table 1. Heterogeneity of the population of *C. frutescens* L. Cz-544-14

Растения	Высота растения, см	Тип растения	Окраска листа	Цветок	Плод		
					форма	окраска	масса
Тип 1	25-30	детерминантное / компактное	фиолетовая	фиолетовый	округлая	красная	6-10
Тип 2	100-120	детерминантное / раскидистое	фиолетовая	белый с фиолетовой каймой	треугольная	красная	10-14
Тип 3	50-70	детерминантное / неопределенное	темно-зеленая с антоцианом	фиолетовый	сердцевидная	оранжевая	6-12



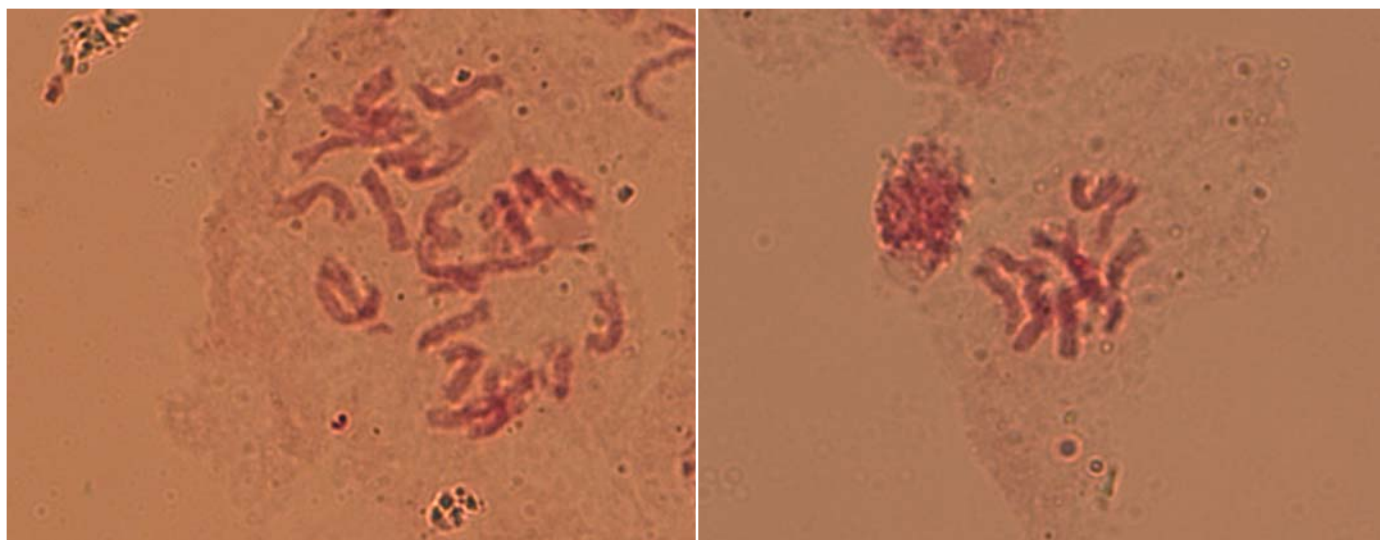
А



В

Рис. 1. Развитие эмбрионидов и растений регенерантов в культуре микроспор *Capsicum frutescens* L. Сз-544-14 А – эмбрионид на сердцевидной стадии развития, образовавшийся спустя 30 суток после начала инкубирования микроспор, В – развитие растений-регенерантов из эмбрионидов, полученных в культуре микроспор

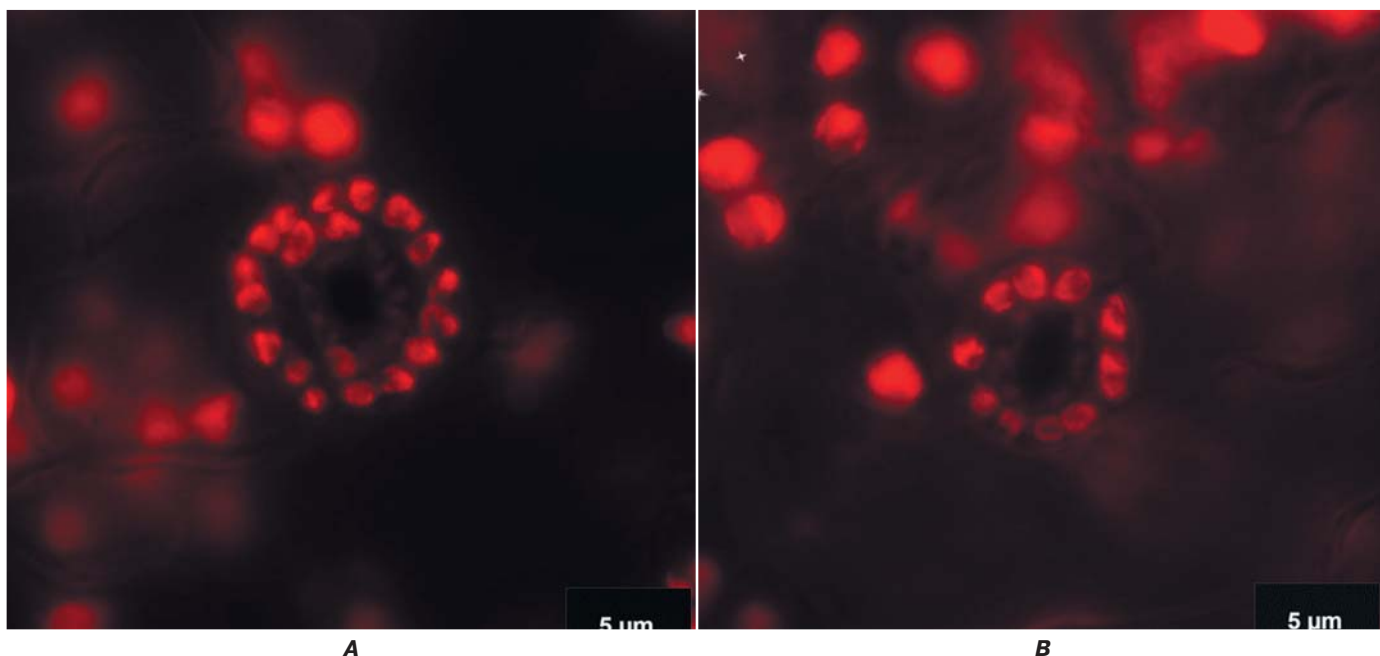
Fig. 1. Development of embryo and regenerant plants in microspore culture of *Capsicum frutescens* L. Cz-544-14 A – heart-shaped embryo formed 30 days after the start of microspore incubation, B – development of regenerant plants from embryo produced in micro-spore culture



Удвоенное гаплоидное растение $2n=24$

Гаплоидное растение $n=12$

Рис. 2. Цитологический анализ полученных из микроспор *C. frutescens* L. Cz-544-14 растений регенерантов
Fig. 2. Cytological analysis of *C. frutescens* L. Cz-544-14 of regenerant plants



A

B

Рис. 3. Определение числа хлоропластов в устьичных клетках листа: А – удвоенное гаплоидное растение, число хлоропластов в 2 замыкающих устьичных клетках 20-22 шт. В – гаплоидное растение, число хлоропластов в 2 замыкающих устьичных клетках 10-12 шт.
Fig. 3. Determination of the number of chloroplasts in stomatal cells of a leaf: A – Double haploid plant, number of chloroplasts in 2 closing stomatal cells 20-22 pcs. B – Haploid plant, number of chloroplasts in 2 terminal stomata cells 10-12

начала культивирования видимые глазом эмбриониды (фаза развития от глобулярной до сердцевидной) были перенесены для дальнейшего развития на плотную питательную среду.

Линия 1 – растение детерминантного типа, раскидистое, лист темно-зеленый со слабым антоцианом, плоды треугольной формы, пониклые, в технической спелости фиолетовый, в биологической спелости красный.

Линия 2 – растение детерминантного типа, полураскидистое, лист темно-зеленый с антоцианом, плод сердцевидной формы, в технической спелости фиолетовый, в биологической спелости оранжевый.

Линия 3 – растение детерминантного типа, раскидистое, лист темно-зеленый с антоцианом, плод округлой формы, в технической спелости фиолетовый, в биологической спелости темно желтый.

Линия 5 – растение детерминантного типа, сильно раскидистое, лист зеленый без антоциана, плод округ-

лой формы, в технической спелости сиреневый, в биологической спелости оранжевый.

Линия 6 – растение детерминантного типа, компактное, лист зеленый без антоциана, плод округлой формы, в технической спелости фиолетовый, в биологической спелости оранжевый.

Линия 7 – растение детерминантного типа, компактное, лист зеленый с сильным антоцианом, плод округлой формы, в технической спелости фиолетовый, в биологической спелости темно-красный.

Наибольший интерес для дальнейшей селекции представляла Dh-1 Линия № 4 (рис. 5). Dh-1 Л-№4 – среднеспелая линия (период от всходов до начала технической спелости плодов составляет 125 дней). Растение кустовое, штамбовое, компактное, высотой 25-30 см. Лист мелкий, фиолетовый. Плоды вверхторчащие, округлые, гладкие, глянцевые, в технической спелости – фиолетовые, в био-



Линия 1



Линия 2



Линия 3



Линия 5



Линия 6



Линия 7

Рис. 4. Гаплоидные растения *S. frutescens* L. в период плодоношения
 Fig. 4. Haploid plants of *S. frutescens* L. during the fruiting period



Рис. 5. *C. frutescens* L. (Сз-544-14) линия Dh 4
Fig. 5. *C. frutescens* L. (Sz-544-14) line Dh 4



Рис. 6. *C. annuum* L. (Pб-551)
Fig. 6. *C. annuum* L. (Pb-551)

логической спелости – красные. Толщина стенки плода 1,2 мм. Масса плода 8 г.

Отобранная линия *C. frutescens* L. (Сз-544-14) (Dh 4) была включена в гибридизацию с линией *C. annuum* L. (Pб-551) которая характеризуется супердетерминантным габитусом, высотой до 20-25 см, с характерными укороченными междоузлиями и цветками «букетного типа» обусловленными геном *fa* – пучковатость. Лист мелкий, ланцетовидный, зеленый. Цветок белый, плоды конусовидные, вверх торчащие, светло-зеленые в технической спелости, красные в биологической спелости. Длина плода 5,8 см, диаметр 0,5 см, средняя масса 2,0 г. (рис. 6).

В результате гибридизации был получен высокодекоративный гибрид перца острого со следующими характеристиками: растение компактное, низкое. Лист мелкий, тёмно-зелёный, морщинистый. Плоды направлены вверх, букетного типа, конусовидные, короткие, гладкие, глянцевые, окраска в технической спелости фиолетовая, в биологической – красная. Число гнезд - 3. Масса плода – 8 г, толщина стенки - 1,8-2 мм. Количество плодов до 120

штук на одном растении, длина плода 3,8 см, диаметр 1,2 см. Плоды имеют приятный вкус и сильный перечный аромат, острота – 5 баллов (по 10 бальной шкале). Урожайность плодов – 1,1-1,2 кг/м². Данный гибрид получил название F₁ Рождественский букет и был включен в Государственный реестр селекционных достижений для использования в качестве горшечной культуры, как для декоративных, так и для пищевых целей (рис. 7).

Следует отметить, что межвидовой гибрид F₁ Рождественский букет характеризуется высокими биохимическими показателями по сравнению с родительскими формами (табл. 2)

Анализ содержания красных и желтых пигментов в плодах свидетельствует о своеобразии количественного содержания каротиноидов каждого вида. Содержание красных и желтых пигментов определяет не только окраску плода, но и ее интенсивность в зависимости от их соотношения. Родительские образцы и гибридная комбинация перца имели красную окраску плодов в фазе биологической спелости, поэтому содержание красных пигментов было преобладающим, однако наибольшее количество отмечено у полученного гибрида F₁ (0,501±0,025). Сумма каротиноидов у созданного гибрида в 1,6-1,8 раза выше, чем у родительских форм. Как известно, среди овощных культур одно из лидирующих мест по содержанию витамина С занимает перец, и его содержание не зависит от окраски плода и видовой принадлежности. Содержание витамина С у межвидового гибрида F₁ Рождественский букет составляет 370±26 мг%, что в 1,2-2,5 раза выше по сравнению с родительскими компонентами.



Рис. 7. Гибрид перца острого F₁ Рождественский букет
Fig. 7. The F₁ pepper hybrid Christmas bouquet

Закключение

Гибрид перца острого F₁ Рождественский букет был создан в результате гибридизации видовых родительских форм, полученных различными методами (биотехнологическими и классическими). Для ускорения получения выровненной отцовской формы *C. frutescens* L. была использована технология удвоенных гаплоидов через культуру микроспор. В результате чего получены удвоенные гаплоидные растения,

Таблица 2. Содержание биохимических показателей в межвидовом гибриде и родительских формах
Table 2. Content of biochemical parameters in the interspecific hybrid and parental forms

Образец	Hornero-Mendez с соавт. [28]				Lichtenthaler [29]		Содержание витамина С, мг%
	Содержание каротиноидов, мг/г			Соотношение пигментов красные/желтые	Хл а+b, мг/г	Σ каротиноидов, мг/г	
	желтые пигменты	красные пигменты	Σ красных и желтых пигментов				
<i>C. frutescens</i> L. (Сз-544-14)	0,150±0,008	0,305±0,015	0,455±0,023	2,03±0,10	<0,003	0,498±0,025	150±10
<i>C. annuum</i> L. (Р6-551)	0,058±0,003	0,333±0,017	0,391±0,020	5,74±0,29	0,016±0,001	0,433±0,022	299±21
F ₁ Рождественский букет	0,243±0,012	0,501±0,025	0,744±0,037	2,06±0,10	0,007±0,001	0,821±0,041	370±26

отвечающие запланированной модели (компактный низкий габитус, фиолетовая окраска плода в технической спелости и красная – в биологической). Полученный гибрид сочетал все необходимые хозяйственные признаки: высокую декоративность, компактность, букетное расположение плодов, высокое

содержание БАВ, вкусовые качества и аромат. Таким образом, использование в селекционном процессе отдаленной межвидовой гибридизации в сочетании с биотехнологическими подходами позволяет ускорить получение новых, форм перца острого, отвечающих запросам рынка.

Об авторах:

Елена Алексеевна Джос – кандидат с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства пасленовых культур, elenadzhos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2216-0094>

Дарья Владимировна Шумилина – кандидат биол. наук, ст.н.с., dasha2409@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1462-8486>

Ольга Николаевна Пышная – доктор с.-х. наук, pishnaya_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9744-2443>

Мубариз Иса оглы Мамедов – доктор с.-х. наук

Алексей Алексеевич Байков – старший научный сотрудник

Анна Алексеевна Матюкина – старший научный сотрудник

About the authors:

Elena A. Dzhos – Cand. Sci. (Agriculture), elenadzhos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2216-0094>

Darya V. Shumilina – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, dasha2409@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1462-8486>

Olga N. Pishnaya – Doc. Sci. (Agriculture), pishnaya_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9744-2443>

Mubaris I. Mamedov – Doc. Sci. (Agriculture)

Alexey A. Baikov – Senior Researcher

Anna A. Matyukina – Senior Researcher

Литература / References

- Moscone E.A., Scaldaferrero M.A., Grabile M.A., Cecchini N.M., Sa'nchez G.Y., Jarret R., Davin A.J.R., Ducasse D.A., Barboza G.E., Ehrendorfer F. The evolution of chili peppers (*Capsicum*-*Solanaceae*): a cytogenetic perspective. *Acta Hort.* 2007;(745):137-170. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.745.5>
- Ibiza V.P., Blanca J., Can'izares J., Nuez F. Taxonomy and genetic diversity of domesticated *Capsicum* species in the Andean region. *Genetic Resources and Crop.* 2012;(59):1077-1088. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9744-z>
- Carvalho S.I.C., C.F. Ragassi, Faleiro F.G., Buso G.S.C., Bianchetti L.B., Lima M.F., Reifschneider F.J.B. and Ribeiro C.S.C. Establishment of *Capsicum frutescens* core collections based on morphological and molecular descriptors and on virus incidence. *Genetics and Molecular Research.* 19(1):gmr18503:1-19.
- Sudre C.P., Goncalves S.A., Rodrigues R., do Amaral Junior A.T., Riva-Souza E.M., Bento S.C. Genetic variability in domesticated *Capsicum* spp. as assessed by morphological and agronomic data in mixed statistical analysis. *Genetics Mol Res.* 2010;9(1):283-94. <https://doi.org/10.4238/vol9-1gmr698>
- Hennique Kuhn Massot Padilla, Rosa Lia Barbieri, Crop Science Dept., Capão do Leão. Plant breeding of chili peppers (*Capsicum*, *Solanaceae*) – A review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences.* 2016;10(15):148-154
- Silva S.A.M., Rodrigues R., Goncalves L.S.A., Sudre C.P., Bento C.S., Carmo M.G.F., Medeiros A.M. Resistance in *Capsicum* spp. to anthracnose affected by different stages of fruit development during pre- and post-harvest. *Tropical Plant Pathology.* 2014;39(4):335-341. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000400009>
- Iloibia C.V., C.E. Ugwoke T.P., Egboka E.E., Akachukwu U.M., ChukwumaandB.O. Aziagba. Breeding Pepper for Enhanced Food Nutrients. *Asian Journal of Crop Science.* 2015;7(3):214-218. DOI: 10.3923/ajcs.2015.214.218
- Gémes Juhász A. and Sági Zs. Strategies in pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrid breeding. *Acta Hort.* 2020;(1282):441-446. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1282.66>
- Kuo J.S., Wang Y.Y., Chien N.F., et al. Investigation on the anther culture *in vitro* of *Nicotiana tabacum* L. and *Capsicum annuum* L. *Acta Bot. Sinica.* 1973;(15):43-47.
- George L., Narayanaswamy S. Haploid *Capsicum* through experimental androgenesis. *Protoplasma.* 1973;(78):467-470.
- Wang Y.Y., Sun C.S., Wang C.C., et al. The induction of the pollen plantlets of trifoliate and *Capsicum annuum* from anther culture. *Sci. Sinica.* 1973;(16):147-151.
- Kristiansen K., Andersen S.B. Effects of donor plant temperature, photoperiod, and age on anther culture response of *Capsicum annuum* L. *Euphytica.* 1993;(67):105-109.
- Mityko' J., Andra'sfalvy A., Csille'ry G., Fa'ri M. Anther culture response in different genotypes and F₁ hybrids of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Breed.* 1995;(114):78-80. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1995.tb00764.x>
- Rodeva V., Koleva-Gudeva L., Grozeva S., Traikova F. Obtaining of haploids in anther culture of pepper *Capsicum annuum* L. and their including in the breeding process. *Goce Delchev Univ. Stip. Fac. Agric. Yearbook.* 2007;(7):7-17.
- Doicet-Sanjuan R., Claveira E., Huerfía A. Androgenesis in *Capsicum annuum* L. effects of carbohydrate and carbon dioxide enrichment. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 1997;(122):468-475. <https://doi.org/10.21273/JASHS.122.4.468>
- Gyulai G., G'emes'e J.A., S'agi Z.S., Venczel G., Pint'er P., Krist'of Z., T'orj'ek O., Heszky L., Bottka S., Kriss J., Zatyk'o L. Doubled haploid development and PCR-analysis of F₁ hybrid-derived DH-R2 paprika (*Capsicum annuum* L.) lines. *J. Plant Physiol.* 2000;(156):168-174.
- Supena E.D.J., Muswita W., Suharsono S., Custers J.B.M. Evaluation of crucial factors for implementing shedmicrospore culture of Indonesian hot pepper

- (*Capsicum annuum* L.) cult. vars. *Sci. Hortic (Amsterdam).* 2006b;(107):226-232. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.08.006>
- Parra-Vega V., Renau-Morata B., Sifres A., Segur'-Simarro J.M. Stress treatments and *in vitro* culture conditions influence microspore embryogenesis and growth of callus from anther walls of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 2013;(112):353-360. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0242-6>
- Пышная О.Н., Шумилина Д.В., Супрунова Т.П. Получение удвоенных гаплоидных линий перца (*Capsicum annuum* L.) через культуры пыльников/микроспор *in vitro*: Методические рекомендации. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии, 2012. 36 с. ISBN 9785901695555 [Pishnaya O.N., Shumilina D.V., Suprunova T.P. Obtaining doubled haploid lines of pepper (*Capsicum annuum* L.) through *in vitro* anther/microspore cultures: Guidelines. Moscow, All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production, Russian Acad.emy of Agricultural Sciences Publ. 2012. 36 p. (In Russ.)]
- Nitsch J.P., Nitsch C. Haploid plants from pollen grains. *Science.* 1969;(163):85-85.
- Gamborg O., Eveleigh D. Culture methods and detection of glucanases in suspension cultures of wheat and barley. *Canadian Journal of Biochemistry.* 1968. <https://doi.org/10.1139/o68-063>
- Masuda K., Kikuta Y., Okazawa Y. A revision of the medium for somatic embryogenesis in carrot suspension culture. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University.* 1981;60(3):183-193.
- Murashige S., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 1962;(15):473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Shumilina D., Komyukhin D., Dombldes E., Soldatenko A., Artemyeva A. Effects of Genotype and Culture Conditions on Microspore Embryogenesis and Plant Regeneration in *Brassica rapa* ssp. *rapa* L. *Plants.* 2020; 9(2):278. <https://doi.org/10.3390/plants9020278>
- Алпат'ев А.В. Перцы и баклажаны. М., 1952. 80 с. [Alpatiev A.V. Peppers and aubergines. Moscow. 1952. 80 p. (In Russ.)]
- Кружилин А.С., Шведская З.М. Помидоры, перцы, баклажаны. Биология и агротехника. М.: Россельхозиздат, 1972. 144 с. [Kruzhilin A.S., Shvedskaya Z.M. Tomatoes, pep-pers and aubergines. Biology and farming techniques. Moscow, Rosselkhozizdat Publ. 1972. 144 p. (In Russ.)]
- Мамедов М.И., Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н. Селекция томата, перца и баклажана на адаптивность. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии, 2002. 441 с. [Mamedov M.I., Pivovarov V.F., Pishnaya O.N.. Selection of tomato, pepper and eggplant for adaptability. Moscow, All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production, Russian Academy of Agricultural Sciences Publ. 2002. 441 p. (In Russ.)]
- Официальный сайт Госсортомиссии. Режим доступа: <http://gossort.com/22-metodiki-ispytaniya-na-oos.html> [Official website of the Gossort Commission. Available from: <http://gossort.com/22-metodiki-ispytaniya-na-oos.html>. [Accessed 15th July 2021]]
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агрпроимиздат, 1975. 315 с. [Dospikhov B.A. Methodology for the field experience. Moscow, Agropromizdat. 1975. 315 p. (In Russ.)]
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterisation by UV-VIS. Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA), (Supplement 1), F4.3.1 - F 4.3.8 (2001) (John Wiley, New York). DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01
- Hornero-Mendez D., Minguez-Mosquera M.I. Rapid spectrophotometric determination of red and yellow isochromic fractions in paprika and red pepper oleoresins. *J. Agric. Food Chem.* 2001;(49):3584-3588. DOI: 10.1021/jf0104001