

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-5-43-49>
УДК 635.25:631.526.325

В.С. Романов

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

***Автор для переписки:**

romanov_valera@mail.ru

Конфликт интересов. Автор заявляет
об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Романов В.С.

Биоразнообразие межвидовых гибридов
рода *Allium* L. Овощи России. 2022;(5):43-49.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-5-43-49>

Поступила в редакцию: 17.08.2022

Принята к печати: 09.09.2022

Опубликована: 26.09.2022

Valeriy S. Romanov

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

***Correspondence Author:**

romanov_valera@mail.ru

Conflict of interest: The author declare that they
have no conflict of interest.

For citations: Romanov V.S. Biodiversity
of interspecific hybrids of the genus *Allium* L.
Vegetable crops of Russia. 2022;(5):43-49. (In
Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-5-43-49>

Received: 17.08.2022

Accepted for publication: 09.09.2022

Published: 26.09.2022

Биоразнообразие межвидовых гибридов рода *Allium* L.



Резюме

Актуальность. Межвидовая гибридизация в роде *Allium* L. – лучший способ увеличения биоразнообразия за счет интрогрессии желаемых признаков внутри рода. Это ценно для таких признаков, как устойчивость к болезням и вредителям, накопление важных метаболитов, получения новых источников цитоплазматической мужской стерильности. Создание на основе межвидовой гибридизации принципиально новых форм растений с уникальным генетическим материалом позволяет расширить отбор ценных в практическом отношении генотипов.

Материал и методы. Для характеристики селекционного материала проводилась оценка растений межвидовых гибридов лука методами морфологического и фитопатологического анализов. Проводили анализ растений межвидовых гибридов рода *Allium* L. из различных инбредных потомств от ВС1-2 комбинаций скрещивания видов *A. cepa* × *A. vavilovii* и *A. cepa* × *A. fistulosum* по селекционным признакам. Изучали растения по массе, окраске, форме луковицы, числу, высоте стрелок, семенной продуктивности и устойчивости к пероноспорозу. Выявляли биоразнообразие растений: по массе, форме, окраске луковицы; по устойчивости к пероноспорозу растений первого года вегетации и семенных растений; по числу, высоте стрелки; по семенной продуктивности.

Результаты. Растения межвидовых гибридов лука сформировали луковицы массой до 120 г, белой, жёлтой, коричневой и красной окраски, эллиптической, широкоэллиптической, круглой и поперечно-эллиптической формой луковицы. Фитопатологическая оценка растений лука первого года вегетации и семенных растений выявила разнообразие в инбредных потомствах по устойчивости к пероноспорозу. В комбинации скрещивания *A. cepa* × *A. vavilovii* у растений первого года вегетации наблюдалось наибольшее число устойчивых растений к пероноспорозу (до 66,7%). По семенной продуктивности растений в зависимости от комбинации скрещивания, поколения инбридинга и беккрасса выделены высоко фертильные растения с повышенной завязываемостью семян (до 2,0 г/растение). Проведенные исследования продемонстрировали увеличение биоразнообразия растений лука, полученных на основе межвидовой гибридизации, насыщающих скрещиваний и инбридинга.

Ключевые слова: межвидовая гибридизация, биоразнообразие, *Allium cepa* L., *Allium fistulosum* L., *Allium vavilovii* M.Pop et Vved., селекционный признак

Biodiversity of interspecific hybrids of the genus *Allium* L.

Abstract

Relevance. Interspecific hybridization in the genus *Allium* L. is the best way to increase biodiversity by introgression of desired traits within the genus. This is valuable for signs such as resistance to diseases and pests, accumulation of important metabolites, obtaining new sources of cytoplasmic male sterility. The creation based on interspecific hybridization of fundamentally new plant forms with unique genetic material makes it possible to expand the selection of genotypes that are valuable in practical terms.

Methods. To characterize the breeding material, the plants of interspecific *allium* hybrids were evaluated using morphological and phytopathological analyses. The analysis of plants of interspecific hybrids of the genus *Allium* L. from various inbred offspring from BC1-2 combinations of crossing species *A. cepa* × *A. vavilovii* and *A. cepa* × *A. fistulosum* by breeding characteristics was carried out. Plants were studied by weight, color, bulb shape, number, height of seed stalks, seed productivity and resistance to downy mildew.

Results. The biodiversity of plants was revealed: by weight, shape, color of the bulb; by resistance to downy mildew of plants of the first year of vegetation and seed plants; by the number, height of seed stalk; by seed productivity. Plants of interspecific *allium* hybrids formed bulbs weighing up to 120 g, white, yellow, brown and red, elliptical, broadly elliptical, round and transversely elliptical bulb shape. Phytopathological assessment of *allium* plants of the first year of vegetation and seed plants revealed diversity in inbred offspring with resistance to peronosporosis. In the combination of crossing species *A. cepa* × *A. vavilovii* plants of the first year of vegetation had the largest number of resistant plants to downy mildew (up to 66.7%). According to the seed productivity of plants, depending on the combination of crossing, inbreeding generation and backcross, highly fertile plants with increased seed setability (up to 2.0 g /plant) were identified. The conducted studies have demonstrated an increase in the biodiversity of *allium* plants obtained based on interspecific hybridization, backcrosses and inbreeding.

Keywords: interspecific hybridization, biodiversity, *Allium cepa* L., *Allium fistulosum* L., *Allium vavilovii* M.Pop et Vved., breeding trait

Введение

Род *Allium* L. самый большой из семейства Луковых (*Alliaceae* J.K. Agardh.) класса Однодольных растений (*Monocotyledineae*) с огромным разнообразием морфологических признаков, адаптированных к различным климатическим условиям. Он включает около 1000 видов [1]. Лук репчатый (*Allium cepa* L.) – наиболее важный вид и ценная овощная культура в мире. Это перекрестноопыляющийся диплоидный вид ($2n=2x=16$) с сильной инбредной депрессией. Из-за двух-, трехлетнего жизненного цикла селекция лука репчатого очень продолжительная.

Окультуривание лука репчатого улучшило его хозяйственные признаки, но при этом снизило его биоразнообразие, а также адаптацию к изменяющимся биотическим и абиотическим факторам среды. Гибридизация между дикорастущими и культурными видами рода *Allium* L. – лучший способ увеличения биоразнообразия за счет интрогрессии желаемых признаков внутри рода. Это ценно для таких признаков, как устойчивость к болезням и вредителям, накопление важных метаболитов, а также получения новых источников цитоплазматической мужской стерильности у селекционных линий. А создание на основе межвидовой гибридизации принципиально новых форм растений с уникальным генетическим материалом позволяет расширить рамки генотипической и фенотипической изменчивости. Благодаря этому увеличивается возможность отбора ценных в практическом отношении генотипов.

При межвидовой гибридизации лука создание новых форм возможно в двух основных направлениях. С одной стороны, можно получать гаплоидные растения из-за элиминации хромосом, затем методом полиплоидизации удвоенные гаплоидные растения и далее селекционные линии и сорта. С другой стороны, межвидовые гибриды могут быть рекомбинантами, амфидиплоидами, миксополоидами, анеуплоидами и др. Эти растения в зависимости от их генетической природы подвергаются инбридингу, кроссбридингу, беккроссированию [2], полиплоидизации, скрещиванию с промежуточным видом [3].

Межвидовая гибридизация является эффективным методом получения новых форм растений внутри рода *Allium* L. При скрещиваниях между *A. fistulosum* L. и *A. schoenoprasum* L. создан новый межвидовой гибрид богатый каротином [4]. Скрещивание лука репчатого с *A. roylei* Stearn обеспечило полную устойчивость к ложной мучнистой росе и контроль устойчивости одним доминантным геном (Pd1). И это способствовало развитию устойчивых гомозиготных линий лука (ILs) [5, 6, 7, 8].

Однако межвидовая гибридизация часто сопровождается множеством барьеров до и после оплодотворения, что приводит к ограниченному числу растений межвидовых гибридов F_1 и дополнительные трудности при беккроссировании. Изучение мейоза гибридов *Allium* L. и потомков от беккроссов выявили новые знания интрогрессии и лучшее понимание передачи чужеродного хроматина в *A. cepa* L. [9].

Созданные во ВНИИССОК (ныне ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства») популяции от скрещивания лука репчатого с многолетними луками (*A. vavilovii* M.Pop et Vved., *A. fistulosum* L., *A.*

altaicum Pall.) по морфологическим признакам занимали промежуточное положение между родительскими видами [10]. Последовательное использование преодоления несовместимости в культуре *in vitro*, беккроссирование, инбридинг, кроссбридинг и индивидуального отбора позволило получить многолетние и луковичные формы лука [11]. У этих форм высокое разнообразие и потенциал при отборе для создания сортов с благоприятными селекционно ценными признаками (окраска, форма луковицы, содержание высоко растворимых и сухих веществ, устойчивость к грибным болезням).

Для разносторонней характеристики исходного материала проводилась комплексная оценка исходных видов и форм межвидовых гибридов лука методами морфологического, фитопатологического, цитологического и молекулярного анализов.

Межвидовая гибридизация внутри рода *Allium* L. имеет древнюю историю и может стать основой для увеличения биоразнообразия. Цель данной работы – роль межвидовой гибридизации для увеличения биоразнообразия у основных видов лука.

Материал и методы

Селекционно-генетические исследования проводили на растениях инбредных потомств I_{1-5} от BC_{1-2} межвидовых гибридов лука комбинаций скрещивания F_{3-5} (*A. cepa* x *A. vavilovii*), F_5 (*A. cepa* x *A. fistulosum*). Морфологические признаки у растений межвидовых гибридов лука оценивали согласно «Методике проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность лук репчатый (*Allium cepa* L.) и лук шалот (*Allium ascalonicum* L.)» [12]. В качестве стандарта использовали растения сорта Одинцовец. Растительный материал предоставлен УНУ «Генетическая коллекция растительных ресурсов ВНИИССОК».

Растения оценивали по признакам: у растений первого года вегетации – основная окраска сухих чешуй луковицы, масса луковицы, форма луковицы; у растений-семенников – высота стрелки, число стрелок, диаметр стрелки, семенная продуктивность. Окраску сухих покровных чешуй луковицы, массу луковицы определяли после уборки и подсушивания луковиц. Высоту стрелки, число стрелок и диаметр стрелки учитывали в фазу цветения. Диаметр стрелки измеряли ниже вздутия цветоноса лука. Семенную продуктивность определяли путём взвешивания сухих очищенных семян. Уборку семян производили в фазу технической спелости отдельно с каждого растения.

Растения первого года вегетации и семенные растения выращивали в полевых условиях по технологии возделывания культуры лука репчатого для данной почвенно-климатической зоны [13]. Для оценки на устойчивость к ложной мучнистой росе (ЛМР) или пероноспорозу использовали инфекционный фон на изолированном плохо проветриваемом орошаемом участке с искусственным заражением путём посадки растений лука многоярусного и маточных луковиц лука репчатого, заражённых водной суспензией конидий гриба (10-15 конидий в поле зрения микроскопа). Фитопатологическая оценка включала выявление характера устойчивости межвидовых гибридов лука к пероноспорозу по 5-балльной шкале [14].

Статистическую обработку результатов проводили согласно «Методике полевого опыта» [15] и с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Данное изучение межвидовых гибридов лука направлено на выявление биоразнообразия растений по форме и окраске луковицы, устойчивости к пероноспорозу, а также по морфометрическим признакам семенных растений. При анализе межвидовых гибридов лука F_{3-5} (*A. cepa* × *A. vavilovii*) и F_5 (*A. cepa* × *A. fistulosum*) был установлен ряд особенностей в зависимости от поколения инбридинга и беккрасса.

Растения межвидовых гибридов лука образовывали луковицы от 20 до 120 г (табл. 1). В комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. vavilovii* растения сформиро-

вали луковицы массой не менее 20 г. С увеличением инбредного поколения увеличивался процент растений с массой луковицы более 50,0 г. Растения в потомствах $I_4BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$ и $I_3BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$ образовали луковицы свыше 50 г (88,9 и 64,7%, соответственно). У растений $I_5BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$ с луковицей более 100 г было 50,0%.

У растений комбинации скрещивания видов *A. cepa* × *A. fistulosum* разнообразие форм по массе луковицы было выше: отмечали луковицы как менее 20 г, так и более 100 г. Здесь также с увеличением инбредного поколения увеличивался процент растений от BC_1 массой луковицы более 50,0 г. Однако у растений от BC_2 с увеличением инбредного поколения наблюдали наоборот снижение процента растений с массой луковицы более 50,0 г. В этом случае сказывалось сильней дей-

Таблица 1. Разнообразие растений у межвидовых гибридов лука по массе луковицы, %
Table 1. Plant diversity in interspecific allium hybrids on the bulb weight, %

Комбинация скрещивания	Масса луковицы, г				
	<20	20-50	51-80	81-100	101-140
$I_5BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	21,4	21,4	7,2	50,0
$I_4BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	11,1	88,9	0	0
$I_3BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	35,3	24,9	39,8	0
$I_2BC_1(F_3(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	86,7	13,3	0	0
$I_1(F_4(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	50,0	50,0	0	0
$I_1BC_1(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	80,0	20,0	0	0
$I_1BC_2(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	3,8	46,1	50,1	0	0
$I_2BC_1(F_3(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	11,8	33,5	17,6	37,1
$I_2BC_2(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	28,9	37,8	24,4	8,9
$I_3BC_1(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	40,0	26,7	26,7	6,6
$I_3BC_2(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	53,3	26,7	20,0	0
$I_4BC_1(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	0	37,5	25,0	37,5
$I_4BC_2(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	3,4	79,3	17,3	0	0
Одинцовец (<i>A. cepa</i> L.)	0	34,5	48,6	16,9	0

Таблица 2. Разнообразие окрасок луковицы у растений межвидовых гибридов лука, %
Table 2. Diversity of bulb colors in plants of interspecific allium hybrids, %

Комбинация скрещивания	Основная краска сухих чешуй луковицы			
	белая	желтая	коричневая	красная
$I_5BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	100,0	0	0
$I_4BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	88,9	11,1	0
$I_3BC_1(F_5(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	100,0	0	0
$I_2BC_1(F_3(A. cepa \times A. vavilovii))$	6,6	93,4	0	0
$I_1(F_4(A. cepa \times A. vavilovii))$	0	100,0	0	0
$I_1BC_1(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	88,3	0	16,7
$I_1BC_2(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	100,0	0	0
$I_2BC_1(F_3(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	100,0	0	0
$I_2BC_2(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	100,0	0	0
$I_3BC_1(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	100,0	0	0
$I_3BC_2(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	53,3	46,7	0
$I_4BC_1(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	37,5	62,5	0
$I_4BC_2(F_5(A. cepa \times A. fistulosum))$	0	100,0	0	0
Одинцовец (<i>A. cepa</i> L.)	0	100,0	0	0

ствии инбредной депрессии. Растения $I_4BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ и $I_2BC_1(F_3(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ имели более 37,0% луковиц 50-80 г. Кроме того, у растений $I_4BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ отсутствовали луковицы с массой меньше 50 г. Наименьшая изменчивость по массе луковицы наблюдалась у растений $I_1BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ и $I_4BC_2(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$, у которых 80,0 и 82,7% луковиц имели массу менее 50 г. Напротив, наибольшее разнообразие растений по массе луковицы отмечали у $I_2BC_2(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ и $I_3BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$. Растения стандарта (сорт Одинцовец) характеризовались массой луковицы от 20 до 100 г.

У растений межвидовых гибридов лука наблюдали разнообразную основную окраску сухих чешуй луковицы: белую, жёлтую, коричневатую и красную (табл. 2). У растений комбинации скрещивания видов $A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}$ преобладала жёлтая (от 88,9 до 100,0%) окраска луковицы. Однако 11,1% растений $I_4BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$ имела коричневатую окраску луковицы, а 6,6% растений $I_2BC_1(F_3(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$ – белую. Появление новых окрасок луковицы можно объяснить генотипической изменчивостью при инбридинге.

Среди растений комбинации скрещивания видов $A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}$ также преобладала жёлтая (53,3-100,0%) окраска луковицы. Исключение составили растения $I_3BC_2(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$, $I_4BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ с коричневой и $I_1BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ с красной окраской с частотой появления 46,7, 62,5 и 16,7%, соответственно. В стандарте же все растения образовали луковицы жёлтой окраски.

Межвидовые гибриды лука имели эллиптическую ($I=0,6-0,7$), широкоэллиптическую ($I=0,8-0,9$), круглую

($I=1,0$) и поперечно-эллиптическую ($I=1,1-1,3$) форму луковицы (табл. 3).

В комбинации скрещивания видов $A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}$ растения характеризовались эллиптической и широкоэллиптической формой луковицы с частотой встречаемости от 10,0 до 90,0%. Исключение составляют растения $I_4BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$, у которых 44,4% имели широкоэллиптические луковицы, а 55,6% растений – луковицы круглой формы.

Растения комбинации скрещивания видов $A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}$ характеризовались эллиптической, широкоэллиптической, круглой и поперечно-эллиптической формой луковицы. У растений $I_3BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ и $I_1BC_2(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$ сформировались эллиптические (93,3%), круглые (6,7%) и круглые (61,5%), поперечно-эллиптические (38,5%) луковицы. Растения стандарта в большей массе образовали луковицы широкоэллиптической и круглой формы с частотой встречаемости 25,4% и 74,6%, соответственно.

Фитопатологическая оценка межвидовых гибридов лука первого года вегетации показала, что в зависимости от поколения инбридинга и беккрасса растения обладали различной устойчивостью к пероноспорозу (табл. 4). В комбинации скрещивания видов $A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}$ у растений $I_2BC_1(F_3(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$, $I_4BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$ и $I_5BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$ наблюдалось наибольшее число устойчивых растений к пероноспорозу (до 66,7%). Остальные растения данной комбинации скрещивания оказались неустойчивыми к болезни.

У растений комбинации скрещивания видов $A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}$ количество устойчивых растений к ЛМР варьировала от 26,7 до 55,0%. У растений

Таблица 3. Разнообразие растений межвидовых гибридов лука по форме луковицы, (I), %
Table 3. Diversity of plants of interspecific allium hybrids by bulb shape, I, %

Комбинация скрещивания	Форма луковицы (I)*			
	эллиптическая ($<0,7$)	широко- эллиптическая ($0,8-0,9$)	круглая ($1,0$)	поперечно- эллиптическая ($1,1-1,3$)
$I_5BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$	57,1	42,9	0	0
$I_4BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$	0	44,4	55,6	0
$I_3BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$	52,9	47,1	0	0
$I_2BC_1(F_3(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$	10,0	90,0	0	0
$I_1(F_4(A. \text{cepa} \times A. \text{vavilovii}))$	90,0	10,0	0	0
$I_1BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$	90,0	10,0	0	0
$I_1BC_2(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$	0	0	61,5	38,5
$I_2BC_1(F_3(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$	87,8	12,2	0	0
$I_2BC_2(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$	88,3	11,7	0	0
$I_3BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$	93,3	0	6,7	0
$I_3BC_2(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$	6,7	93,3	0	0
$I_4BC_1(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$	87,5	12,5	0	0
$I_4BC_2(F_5(A. \text{cepa} \times A. \text{fistulosum}))$	6,9	93,1	0	0
Одинцовец ($A. \text{cepa}$ L.)	0	25,4	74,6	0

*I – индекс формы луковицы.

Таблица 4. Разнообразие растений межвидовых гибридов лука первого года, пораженных ложной мучнистой росой, %
Table 4. Diversity of plants of interspecific hybrids of allium of the first year affected by downy mildew, %

Комбинация скрещивания	Поражение пероноспорозом	
	устойчивые	неустойчивые
I ₅ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	64,2	35,8
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	66,7	33,3
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	47,0	53,0
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. vavilovii))	66,7	33,3
I ₁ (F ₄ (A. cepa × A. vavilovii))	50,0	50,0
I ₁ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	55,0	45,0
I ₁ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	30,7	69,3
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. fistulosum))	35,2	64,8
I ₂ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	42,3	57,7
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	46,7	53,3
I ₃ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	26,7	73,3
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	42,5	57,5
I ₄ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	43,3	57,7
Одинцовец (A. cepa L.)	16,7	83,3

Таблица 5. Разнообразие семенных растений межвидовых гибридов лука, пораженных ложной мучнистой росой, %
Table 5. Diversity of seed plants of interspecific allium hybrids affected by downy mildew, %

Комбинация скрещивания	Поражение пероноспорозом	
	устойчивые	неустойчивые
I ₅ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	14,3	85,7
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	44,3	55,7
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	50,0	50,0
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. vavilovii))	100,0	0,0
I ₁ (F ₄ (A. cepa × A. vavilovii))	90,0	10,0
I ₁ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	66,7	33,3
I ₁ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	22,2	77,8
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. fistulosum))	66,7	33,3
I ₂ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	95,0	5,0
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	70,0	30,0
I ₃ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	40,0	60,0
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	25,0	75,0
I ₄ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	11,1	88,9
Одинцовец (A. cepa L.)	12,4	87,6

I₁BC₁(F₅(A. cepa × A. fistulosum)) и I₃BC₁(F₅(A. cepa × A. fistulosum)) относительно устойчивые формы составили 55,0 и 46,7%, соответственно. У остальных растений отмечали сильную дифференциацию неустойчивых растений к поражению пероноспорозом от 45,0 до 73,3%. В контроле отмечали 83,3% неустойчивых растений, а также их гибель.

Фитопатологическая оценка семенных растений межвидовых гибридов лука показала распределение форм по частоте появления растений, относительно устойчивых к пероноспорозу, в зависимости от комбинации скрещивания видов (табл. 5).

Семенные растения комбинации скрещивания видов A. cepa × A. vavilovii в основном характеризовались высокой долей устойчивых растений до 100,0%, что превосходило показатели комбинации скрещивания видов A. cepa × A. fistulosum и контроля. Растения I₂BC₁(F₃(A. cepa × A. vavilovii)) и I₁(F₄(A. cepa × A. vavilovii)) показали высокую устойчивость к пероноспорозу 100,0 и 90,0%, соответственно.

В комбинации скрещивания видов A. cepa × A. fistulosum наблюдалось сильное варьирование семенных растений по поражению пероноспорозом. Следует отметить растения I₁BC₁(F₅(A. cepa × A. fistulosum)), I₂BC₁(F₃(A. cepa × A. fistulosum)) и I₃BC₁(F₅(A. cepa × A. fistulosum)), у которых наблюдали высокую частоту появления устойчивых растений (66,7, 66,7 и 70,0%, соответственно). Растения I₂BC₂(F₅(A. cepa ×

Таблица 6. Разнообразие семенных растений межвидовых гибридов лука по числу стрелок, %
Table 6. Diversity of seed plants of interspecific allium hybrids by the number of seed stalk, %

Комбинация скрещивания	Число стрелок, шт.			
	0-1	2-3	4-5	6-7
I ₅ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	0	14,3	57,1	28,6
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	0	64,2	35,8	0
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	50,0	33,3	16,7	0
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. vavilovii))	50,0	50,0	0	0
I ₁ (F ₄ (A. cepa × A. vavilovii))	10,0	70,0	20,0	0
I ₁ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	16,7	83,3	0	0
I ₁ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	11,1	88,9	0	0
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. fistulosum))	0	55,6	11,1	33,3
I ₂ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	10,0	45,0	35,0	10,0
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	90,0	10,0	0
I ₃ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	80,0	0	20,0
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	50,0	25,0	25,0	0
I ₄ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	4,4	95,6	0	0
Одинцовец (A. cepa L.)	15,3	53,8	30,9	0

Таблица 7. Разнообразие семенных растений межвидовых гибридов лука по высоте стрелки, %
Table 7. Diversity of seed plants of interspecific allium hybrids by height seed stalk, %

Комбинация скрещивания	Высота стрелки, см		
	20-50	51-100	101-150
I ₅ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	0	100,0	0
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	0	100,0	0
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	0	100,0	0
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. vavilovii))	16,7	83,3	0
I ₁ (F ₄ (A. cepa × A. vavilovii))	0	100,0	0
I ₁ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	100,0	0
I ₁ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	100,0	0
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. fistulosum))	0	100,0	0
I ₂ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	100,0	0
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	100,0	0
I ₃ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	100,0	0
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	100,0	0
I ₄ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	100,0	0
Одинцовец (A. cepa L.)	0	100,0	0

Таблица 8. Разнообразие семенных растений межвидовых гибридов лука по семенной продуктивности, %
Table 8. Diversity of seed plants of interspecific allium hybrids by seed productivity, %

Комбинация скрещивания	Семенная продуктивность, г/растения				
	<0,1	0,2-0,5	0,6-1,0	1,1-2,0	>2,0
I ₅ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	7,1	35,8	50,0	7,1	0
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	13,3	26,7	53,3	6,7	0
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. vavilovii))	16,7	16,7	33,3	33,3	0
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. vavilovii))	33,3	66,7	0	0	0
I ₁ (F ₄ (A. cepa × A. vavilovii))	30,0	50,0	0	20,0	0
I ₁ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	66,7	33,3	0	0	0
I ₁ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	0	11,1	22,2	55,6	11,1
I ₂ BC ₁ (F ₃ (A. cepa × A. fistulosum))	0	22,2	22,2	22,2	33,4
I ₂ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	5,0	5,0	15,0	20,0	55,0
I ₃ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	40,0	30,0	30,0	0	0
I ₃ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	60,0	40,0	0	0	0
I ₄ BC ₁ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	50,0	50,0	0	0	0
I ₄ BC ₂ (F ₅ (A. cepa × A. fistulosum))	22,2	44,4	33,4	0	0
Одинцовец (A. cepa L.)	13,3	33,3	46,7	6,7	0

A. fistulosum)) характеризовались наличием относительно высокоустойчивых 85%. У сорта Одинцовец (стандарт) 87,6% семенных растений были поражены пероноспорозом.

Подсчет числа стрелок у семенных растений межвидовых гибридов лука показал их варьирование от 2 до 5 шт (табл. 6). У сорта Одинцовец (стандарт) наблюдали растения с 2-3 и 4-5 числом стрелок (53,8 и 30,9%, соответственно). В комбинации скрещивания видов A. cepa × A. vavilovii у большинства растений отмечали не более 3 стрелок (14,3-70,0%). У растений I₅BC₁(F₅(A. cepa × A. vavilovii)) 28,6% имели 6-7 стрелок. У комбинации скрещивания видов A. cepa × A. fistulosum растения I₃BC₂(F₅(A. cepa × A. fistulosum)), I₂BC₂(F₅(A. cepa × A. fistulosum)) и I₂BC₁(F₃(A. cepa × A. fistulosum)) сформировали 6-7 стрелок (20,0, 10,0 и 33,3%, соответственно).

Измерение высоты семенных растений межвидовых гибридов лука показало, что высота стрелки находилась на среднем уровне в обеих комбинациях скрещивания видов (табл. 7). У семенных растений комбинации скрещивания видов A. cepa × A. vavilovii высота стрелки варьировала от 51 до 100 см. Однако 16,7% растений I₂BC₁(F₃(A. cepa × A. vavilovii)) имели короткую стрелку (20-50 см).

Комбинация скрещивания видов A. cepa × A. fistulosum характеризовалась растениями со средней высотой стрелки, как и стандарт.

Семенная продуктивность растений межвидовых гибридов лука зависела от комбинации скрещивания, поколения инбридинга и беккросса (табл. 8).

Комбинация скрещивания видов A. cepa × A. vavilovii в основном характеризовалась низкой семенной продуктивностью с растения. Самые высокие показатели по анализируемому признаку отмечали у растений I₃BC₁(F₅(A. cepa × A. vavilovii)) и I₁(F₄(A. cepa × A. vavilovii)), у которых 33,3 и 20,0% растений, имели массу семян от 1,1 до 2,0 г с растения.

В комбинации скрещивания видов A. cepa × A. fistulosum растения I₁BC₁(F₅(A. cepa × A. fistulosum)) характеризовались очень низкой массой семян – 66,7% растений имели менее 0,1 г с растения. А растения I₁BC₂(F₅(A. cepa × A. fistulosum)), I₂BC₂(F₅(A. cepa × A. fistulosum)) и I₂BC₁(F₃(A. cepa × A. fistulosum)) выделялись относительно высокой семенной продуктивностью по сравнению с остальными данной комбинации скрещивания с частотой появления растений с массой семян более 2,0 г – 11,1, 55,0 и 33,4%, соответственно. Растения контроля имели низкие и средние показатели семенной продуктивности – до 2,0 г из-за поражения пероноспорозом.

Заключение

Анализ растений межвидовых гибридов лука из различных инбредных потомств комбинаций скрещивания видов A. cepa × A. vavilovii и A. cepa × A. fistulosum позволил показать биоразнообразие растений:

- по массе луковицы – растения I₅BC₁(F₅(A. cepa × A. vavilovii)), I₂BC₁(F₃(A. cepa × A. fistulosum)) и I₄BC₁(F₅(A. cepa × A. fistulosum)), имеющие луковицы более 100 г;

- по основной окраске сухих чешуй луковицы – растения I₁BC₁(F₅(A. cepa × A. fistulosum)),

$I_2BC_1(F_3(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$, $I_3BC_2(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$, $I_4BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ и $I_4BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$ с различной окраской луковицы;

- по форме луковицы – растения $I_1BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$, $I_2BC_1(F_3(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$, $I_1(F_4(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$, $I_3BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$, $I_3BC_2(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ и $I_4BC_2(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ многообразной по форме луковицы;

- по устойчивости к пероноспорозу растений первого года вегетации – растения $I_1BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$, $I_2BC_1(F_3(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$, $I_1BC_2(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ и $I_5BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$ с высоким количеством устойчивых растений;

- по устойчивости семенных растений к пероноспорозу – растения $I_1BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$, $I_2BC_1(F_3(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$, $I_1(F_4(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$, $I_3BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$, $I_2BC_2(F_5(A. \textit{cepa} \times$

$A. \textit{fistulosum}))$ и $I_2BC_1(F_3(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ с низким числом неустойчивых растений в потомстве;

- по числу стрелок – растения $I_3BC_2(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$, $I_5BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$, $I_2BC_2(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ и $I_2BC_1(F_3(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ с самыми высокими значениями растений с большим числом стрелок;

- по высоте стрелки – растения $I_3BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$ с короткой стрелкой;

- по семенной продуктивности – растения $I_3BC_1(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{vavilovii}))$, $I_2BC_2(F_5(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ и $I_2BC_1(F_3(A. \textit{cepa} \times A. \textit{fistulosum}))$ с высоким процентом фертильных растений.

Проведенные исследования продемонстрировали увеличение биоразнообразия у растений лука, полученных с помощью межвидовой гибридизации, насыщающих скрещиваний и инбридинга.

Об авторе:

Валерий Станиславович Романов – кандидат с.-х. наук, с.н.с., <https://orcid.org/0000-0002-3287-1914>, romanov_valera@mail.ru

About the author:

Valeriy S. Romanov – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-3287-1914>, romanov_valera@mail.ru

• Литература

- Govaerts R, Kington S, Friesen N, Fritsch R, Snijman DA, Marcucci R, Silverstone-Sopkin PA, Brullo S (2005–2019) World checklist of *Amaryllidaceae* Available from: <https://apps.kew.org/wcsp/> accessed on 25th April 2019.
- Романов В.С. Селекционно-генетические особенности форм межвидовых гибридов лука (создание и оценка). М., 2008. 166 с.
- Khrustaleva L.I., Kik C. Introgression of *Allium fistulosum* into *A. cepa* mediated by *A. roylei*. *Theor. Appl. Genet.* 2000;(100):17-26.
- Umehara M., Sueyoshi T., Shimomura K., Iwai M., Shigyo M., Hirashima K., Nakahara T. Interspecific hybrids between *Allium fistulosum* L. and *Allium schoenoprasum* L. reveal carotene-rich phenotype. *Euphytica*. 2006;(148):295-301.
- Scholten O.E., Van Heusden A.W., Khrustaleva L.I., Burgermeijer K., Mank R.A., Antonise R.G.C., Harrewijn J.L., Van Haecke W., Oost E.H., Peters R.J., Kik C. The long and winding road leading to the successful introgression of downy mildew resistance into onion. *Euphytica*. 2007;(156):345-353.
- Chuda A., Adamus A. Hybridization and molecular characterization of F_1 (*Allium cepa* L. x *Allium roylei* Stearn) plants. *Acta. Biol. Cracov. Ser. Bot.* 2012;54(2):25-31.
- Chuda A., Grzebelus E., Adamus A. Experiments of backcrossing of interspecific F_1 (*Allium cepa* L. x *Allium roylei* Stearn) hybrids with *Allium cepa* L. *Acta. Hort.* 2012;(969):113-116.
- Chuda A., Grzebelus E., Adamus A. Morphological cytological and embryological characterization of F_1 (*A. cepa* L. x *Allium roylei* Stearn) hybrids. *Acta. Biol. Cracov. Ser. Bot.* 2015;54(2):25-31.
- Kik C. Exploitation of wild relatives for the breeding of cultivated *Allium* species. In: Rabinowitch H.D., Currah L. (eds) *Allium crop science: recent advances*. CABI Publishing, UK, 2002. pp 81-100.
- Титова И.В., Тимин Н.И., Юрьева Н.А. Межвидовая гибридизация луков с целью получения форм, устойчивых к ложной мучнистой росе. *Докл. ВАСХНИЛ*. 1983;(8):190.
- Титова И.В., Тимин Н.И., Юрьева Н.А. Межвидовая гибридизация лука: Науч. тр. По селекции и семеноводству. М., 1995. С. 91-101.
- Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность лук репчатый (*Allium cepa* L.) и лук шалот (*Allium ascalonicum* L.). RTG/46/2, UPOV, 2000. С.528-547.
- Пивоваров В.Ф., Ершов И.И., Агафонов А.Ф. Луковые культуры. М. ВНИИССОК. 2001. 500 с.
- Методические указания по селекции луковых культур. М., ВНИИССОК, 1997. 125 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

• References

- Govaerts R, Kington S, Friesen N, Fritsch R, Snijman DA, Marcucci R, Silverstone-Sopkin PA, Brullo S (2005–2019) World checklist of *Amaryllidaceae* Available from: <https://apps.kew.org/wcsp/> accessed on 25th April 2019.
- Romanov V.S. Breeding and genetic features of forms of interspecific allium hybrids (creation and evaluation). М., 2008. 166 p. (In Russ.)
- Khrustaleva L.I., Kik C. Introgression of *Allium fistulosum* into *A. cepa* mediated by *A. roylei*. *Theor. Appl. Genet.* 2000;(100):17-26.
- Umehara M., Sueyoshi T., Shimomura K., Iwai M., Shigyo M., Hirashima K., Nakahara T. Interspecific hybrids between *Allium fistulosum* L. and *Allium schoenoprasum* L. reveal carotene-rich phenotype. *Euphytica*. 2006;(148):295-301.
- Scholten O.E., Van Heusden A.W., Khrustaleva L.I., Burgermeijer K., Mank R.A., Antonise R.G.C., Harrewijn J.L., Van Haecke W., Oost E.H., Peters R.J., Kik C. The long and winding road leading to the successful introgression of downy mildew resistance into onion. *Euphytica*. 2007;(156):345-353.
- Chuda A., Adamus A. Hybridization and molecular characterization of F_1 (*Allium cepa* L. x *Allium roylei* Stearn) plants. *Acta. Biol. Cracov. Ser. Bot.* 2012;54(2):25-31.
- Chuda A., Grzebelus E., Adamus A. Experiments of backcrossing of interspecific F_1 (*Allium cepa* L. x *Allium roylei* Stearn) hybrids with *Allium cepa* L. *Acta. Hort.* 2012;(969):113-116.
- Chuda A., Grzebelus E., Adamus A. Morphological cytological and embryological characterization of F_1 (*A. cepa* L. x *Allium roylei* Stearn) hybrids. *Acta. Biol. Cracov. Ser. Bot.* 2015;54(2):25-31.
- Kik C. Exploitation of wild relatives for the breeding of cultivated *Allium* species. In: Rabinowitch H.D., Currah L. (eds) *Allium crop science: recent advances*. CABI Publishing, UK, 2002. pp 81-100.
- Titova I.V., Timin N.I., Yuryeva N.A. Interspecific hybridization of alliums in order to obtain forms resistant to downy mildew. *Dokl. VASHNIL*. 1983;(8):190. (In Russ.)
- Titova I.V., Timin N.I., Yuryeva N.A. Interspecific hybridization of alliums: Nauch. tr. On selection and seed-growing. М., 1995. P.91-101. (In Russ.)
- Methods of testing for distinctness, uniformity and stability of onions (*Allium cepa* L.) and shallots (*Allium ascalonicum* L.). RTG/46/2, UPOV, 2000. pp. 528-547. (In Russ.)
- Pivovarov V.F., Ershov I.I., Agafonov A.F. Onion crops. М. VNISSOK. 2001. 500 p. (In Russ.)
- Methodological guidelines for the selection of onion crops. М., VNISSOK, 1997. 125 p. (In Russ.)
- Dosphehov B.A. Methodology of field experience. М.: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.)