

# Оценка устойчивости родительских форм и гибридов арбуза столового к фузариозному увяданию

Е. Г. КОЗАРЬ<sup>1</sup>, И. А. ЕНГАЛЫЧЕВА<sup>1</sup>, Е. С. МАСЛЕННИКОВА<sup>2</sup>, Е. А. ВАРИВОДА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр овощеводства, ул. Селекционная, 14, пос. ВНИИССОК, Московская обл., 143080, Российская Федерация

<sup>2</sup>Быковская бахчевая селекционная опытная станция – филиал Федерального научного центра овощеводства, ул. Сиреневая 11, пос. Зеленый, Быковский р-н, Волгоградская обл., 404067, Российская Федерация

**Резюме.** Исследования проводили с целью оценки селекционной ценности родительских линий и гибридных комбинаций для создания новых сортов и гибридов арбуза столового, устойчивых к фузариозному увяданию. Работу выполняли в 2016–2023 гг. в богарных условиях Волгоградской области на фитоучастке, расположенном в трёхпольном севообороте. Материалом для исследований служили две стерильные ms-линии, 18 фертильных mf-линий и 22 гибридные комбинации (ГК) с их участием. Инфекционный фон создавали путем внесения инвазионного материала возбудителя в почву перед посевом. Ранжирование на группы устойчивости проводили в сравнении со стандартами устойчивости по итогам многолетних учетов развития болезни в процессе вегетации. Интенсивность развития фузариоза в зависимости от метеословий года в среднем варьировала от 11 до 18 %. Ввиду высокой экологической изменчивости признака ( $Cv_{ecol} > 15\%$ ) уровень пораженности в группе устойчивых образцов по годам изменялся от 2 до 13 %, в группе восприимчивых – от 15 до 33 %. В качестве источников устойчивости к фузариозу высокую селекционную ценность продемонстрировали стерильные линии Л-12ms и Л-1ms. Доля относительно устойчивых и толерантных ГК на их основе превысила 70 %, при отсутствии восприимчивых. Устойчивость в ГК определялась также уровнем устойчивости, комбинационной и адаптивной способности отцовской формы и не всегда наследовалась доминантно ( $-1.9 < hp < 2.2$ ). Среди изученных отцовских mf-линий интерес с этой точки зрения представляют относительно устойчивые Л-Икар и Л-Новогодний, а также пять mf-линий из других групп устойчивости. Урожайность лучших ГК с их участием в контроле превышала стандарты на 0,4...6,1 т/га и на инфекционном фоне снижалась менее, чем на 20 %, что находится на уровне стандарта устойчивости сорта Быковский 22.

**Ключевые слова:** *Citrullus lanatus* (Thunb.), линии, гибриды, устойчивость, фузариозное увядание, *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*.

**Сведения об авторах:** Е. Г. Козарь, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; И. А. Енгальчева, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией; Е. С. Масленникова, научный сотрудник; Е. А. Варивода, старший научный сотрудник (e-mail: elena-varivoda@mail.ru).

**Для цитирования:** Оценка устойчивости родительских форм и гибридов арбуза столового к фузариозному увяданию / Е. Г. Козарь, И. А. Енгальчева, Е. С. Масленникова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. №10. С. 25–32. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_10\_25

## Evaluation of resistance of parental forms and hybrids of watermelon to fusarium wilt

E. G. Kozar<sup>1</sup>, I. A. Engalycheva<sup>1</sup>, E. S. Maslennikova<sup>2</sup>, E. A. Varivoda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal Scientific Center for Vegetable Growing, ul. Selektionnaya, 14, pos. VNISSOK, Odintsovskii r-n, Moskovskaya obl., 143080, Russian Federation

<sup>2</sup>Bykovo Melon-Field Breeding Experimental Station, Federal Scientific Center for Vegetable Growing, ul. Sirenevaya 11, pos. Zelenyi, Bykovskii r-n, Volgogradskaya obl., 404067, Russian Federation

**Abstract.** The studies aimed to assess the breeding value of parental lines and hybrid combinations for the creation of new varieties and hybrids of watermelon resistant to fusarium wilt. The work was carried out in 2016–2023 under dryland conditions of the Volgograd Region on a phytplot located in a three-field crop rotation. The material for the studies was two sterile ms lines, 18 fertile mf lines and 22 hybrid combinations (HC) with their participation. The infectious background was created by introducing invasive material of the pathogen into the soil before sowing. Ranking into resistance groups was carried out in comparison with resistance standards based on the results of long-term records of disease development during the growing season. The intensity of fusarium development, depending on the meteorological conditions of the year, varied on average from 11 to 18%. Due to high ecological variability of the trait ( $Cv_{ecol} > 15\%$ ), the level of infestation in the group of resistant samples varied from 2 to 13% over the years, and in the group of susceptible samples – from 15 to 33%. Sterile lines L-12ms and L-1ms demonstrated high selection value as sources of resistance to fusarium. The share of relatively resistant and tolerant GCs based on them exceeded 70%, in the absence of susceptible ones. Resistance in GC is also determined by the level of resistance, combinatory and adaptive capacity of the paternal form and is not always inherited dominantly ( $-1.9 < hp < 2.2$ ). Among the studied paternal mf lines, the relatively resistant L-Ikar and L-Novogodniy, as well as five mf lines from other resistance groups are of interest from this point of view. The yield of the best GCs with their participation in the control exceeded the standards by 0.4–6.1 t/ha and against the background of infection decreased by less than 20%, which is at the level of the resistance standard of the Bykovsky 22 variety.

**Keywords:** *Citrullus lanatus* (Thunb.); lines; hybrids; resistance; fusarium wilt; *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*.

**Author Details:** E. G. Kozar<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; I. A. Engalycheva, Cand. Sc. (Agr.), head of laboratory; E. S. Maslennikova, research fellow; E. A. Varivoda, senior research fellow (e-mail: elena-varivoda@mail.ru).

**For citation:** Kozar<sup>1</sup> EG, Engalycheva IA, Maslennikova ES, et al. [Evaluation of resistance of parental forms and hybrids of watermelon to fusarium wilt]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(10):25–32. Russian. doi: 10.53859/02352451\_2024\_38\_10\_25

Создание гибридов, обладающих устойчивостью к различным болезням, – актуальная задача современной селекции. К наиболее вредоносному микозу арбуза во всех регионах возделывания бахчевых культур относят фузариозное увядание, вызываемое микромицетом *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* (FON) [1, 2, 3]. На зараженных растениях уже на ранних стадиях отмечают симптомы увядания, обесцвечивание сосудов, некрозы в области верхней части корня, основания и верхних отделов стебля, что приводит к увяданию частей и гибели растения в целом. Симптомы

могут варьировать в зависимости от расы возбудителя, устойчивости генотипа и напряженности инфекционного фона. Эту болезнь до сих пор считают одним из основных факторов, ограничивающих производство арбузов во всем мире [4, 5, 6]. Выращивание устойчивых сортов – лучший метод борьбы с фузариозным увяданием [7, 8, 9].

В зоне Нижнего Поволжья поражение растений арбуза фузариозом было отмечено еще в 1905 г., а его изучение на Быковской бахчевой селекционной опытной станции (ББСОС) начали с момента создания, в 30-е

годы прошлого столетия. Распространенность фузариоза в естественных условиях на восприимчивых сортах достигала 16...50 % и из них было выделено большое число штаммов *Fusarium oxysporum f.sp. niveum* [10, 11]. Уже в это время из коллекционного питомника и местных форм были выявлены первые источники устойчивости, на основе которых создан сорт Быковский 22 (Мелитопольский 143×Белосемечко), который и до сих пор считают стандартом устойчивости к фузариозному увяданию [12, 13].

Сегодня основное направление селекции арбузов на Быковской бахчевой опытной станции – создание гибридов  $F_1$  на основе выведенных методом возвратно-насыщающих скрещиваний стерильных ms-линий с ядерной (генной) мужской стерильностью, которые имеют стерильные мужские цветки (ген ms) и маркерный фенотипический признак цельнолистность (nl). Эти линии характеризуются высокой комбинационной способностью по таким хозяйственно ценным признакам, как скороспелость, продуктивность и качество плодов, а также устойчивостью к фузариозу, которая носит доминантный характер и эффективнее передается гибридам по материнской линии. Поэтому указанные стерильные линии имеют высокую селекционную ценность [14, 15]. С использованием линии Л-1ms в центре уже созданы и районированы первые гибриды  $F_1$  для условий богары Нижнего Поволжья – Русич  $F_1$ , Итил  $F_1$ , Дуэт  $F_1$ , Темп  $F_1$  и Эдем  $F_1$  селекции Быковской бахчевой селекционной опытной станции.

Отцовские фертильные mf-линии нового поколения были выведены из различных сортопопуляций раннеспелых и среднеспелых сортов арбуза селекции

Таблица 1. Погодные условия в зоне Волгоградского Заволжья

| Месяц                                         | 2016 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | Среднепогодное |
|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|
| <b>Среднесуточная температура воздуха, °С</b> |         |         |         |         |         |         |         |         |                |
| Апрель                                        | 12,5    | 10,2    | 10,5    | 11,4    | 8,0     | 10,0    | 12,8    | 12,1    | 10,7           |
| Май                                           | 17,9    | 16,3    | 20,3    | 19,2    | 15,9    | 19,6    | 13,8    | 17,6    | 18,4           |
| Июнь                                          | 22,9    | 20,9    | 20,3    | 24,8    | 24      | 23,4    | 22,6    | 21,4    | 23,3           |
| Июль                                          | 21,2    | 25,1    | 26,6    | 22,9    | 26,6    | 27,2    | 24,0    | 24,6    | 25,3           |
| Август                                        | 27,2    | 26,3    | 23,6    | 22,3    | 22,2    | 27,2    | 27,0    | 26,4    | 24,9           |
| Сентябрь                                      | 16,3    | 18,6    | 19,7    | 15,4    | 17,3    | 15,1    | 16,4    | 18,9    | 17,2           |
| <b>Количество осадков, мм</b>                 |         |         |         |         |         |         |         |         |                |
| Апрель                                        | 73,4    | 48,0    | 18,6    | 38,1    | 17,4    | 54,9    | 31,2    | 20,5    | 42,4           |
| Май                                           | 226,8   | 71,0    | 44,4    | 19,2    | 91,3    | 147,0   | 42,7    | 28,6    | 76,8           |
| Июнь                                          | 45,2    | 59,1    | 0       | 11,3    | 35,2    | 92,6    | 50,5    | 58,8    | 38,6           |
| Июль                                          | 73,2    | 27,9    | 166,7   | 201,5   | 29,2    | 13,1    | 33,1    | 85,7    | 63,1           |
| Август                                        | 14,9    | 0       | 7,4     | 0       | 2,9     | 4,8     | 10,2    | 11,6    | 10,1           |
| Сентябрь                                      | 78,0    | 0,3     | 58,9    | 2,5     | 2,6     | 67,6    | 133,6   | 4,3     | 56,8           |

ББСОС методами инцухтирования, индивидуального и группового отборов [16, 17]. Для выявления устойчивых форм к фузариозу, оценки родительских форм и гибридных комбинаций на станции проводят ежегодное испытание селекционного материала на искусственном инфекционном фоне. Однако, изменчивость погодных условий влияет на характер взаимоотношений в сложной патосистеме «растений-патоген-среда», усиливая или нивелируя активность отдельных генов, изменяя ритм, скорость роста, морфологию развития растений и патогена и, соответственно, иммунный статус растения-хозяина и агрессивность возбудителя [18].

В разные годы один и тот же образец, даже относительно стандартов, может быть отнесен к различным группам устойчивости, в зависимости от напряженности сложившегося инфекционного фона. В связи с чем, при однолетнем испытании, не всегда удается дать объективную оценку и ранжировать образцы (ге-

нотипы) по группам устойчивости. Только многолетнее испытание на искусственном инфекционном фоне дает полную информацию об уровне и стабильности проявления устойчивости к фузариозному увяданию, комбинационной способности родительских линий, их селекционной ценности для селекции на иммунитет, создания и выделения перспективных гибридов  $F_1$  арбуза столового.

Цель исследования – оценка селекционной ценности родительских форм и гибридных комбинаций арбуза столового для создания новых сортов и гибридов устойчивых к фузариозному увяданию на основе обобщения результатов многолетних исследований.

**Условия, материалы и методы.** Исследования проводили на фитоучастке, расположенном в трёхпольном севообороте (пар, бахча, ячмень), Быковской бахчевой селекционной опытной станции в условиях Волгоградского Заволжья в 2016–2023 гг. Наиболее благоприятным для роста и развития растений арбуза столового был температурный фон 2018 г. на уровне среднепогодного, а большое количество осадков, выпавших в июле (166,7 мм), позволило сформировать высокий урожай плодов. Достаточно высокий уровень осадков в мае (147,0...226,8 мм) и низкое их количество в летние месяцы (4,8...92,6 мм) в 2016 и 2021 гг. отрицательно сказались на урожайности культуры, а холодная и влажная весна 2020 г. (температура на 2,5...2,7 °С ниже среднепогодной, количество осадков в мае на 19 % выше нормы) спровоцировала развитие фузариозного увядания и выпадения растений в посевах арбуза столового на ранних этапах вегетации (табл. 1).

Почва зоны исследований характеризуется низким содержанием гумуса – до 1,1 %. Содержание общего азота достигает 0,12...0,15 %, гидролизующего (по Корнфилду) – 36,5 мг/кг,  $N-NO_3$  – 28,0...28,3 мг/кг, общего фосфора – 0,07...0,09 %, подвижного – от 18,0...20,0 до 45,6...48,3 мг/кг (по Мачигину), обменного калия – 120...180 мг/кг (метод пламенной фотометрии). Реакция почвы слабокислая (по методу Алямовского).

Материалом для исследования служили две стерильные ms-линии и 18 фертильных mf-линий, выведенных из разных сортопопуляций методами инбридинга, индивидуального и группового отборов; 22 гибридные комбинации  $F_1$  (ГК) на их основе; три стандарта – устойчивый сорт Быковский 22 и два восприимчивых сорта Зенит (раннеспелая группа спелости) и Синчевский (среднеспелая группа).

Технология возделывания на контрольном (естественный инфекционный фон) и опытном (искусствен-

Таблица 2. Диапазон варьирования степени пораженности растений на искусственном инфекционном фоне в разные годы и группа устойчивости родительских линий арбуза столового к фузариозному увяданию (ББСОС, 2016–2023 гг.)

| Линия из сортопопуляции, сорт    | Группа спелости | Распространенность, % |      |         | Cv <sub>ecol</sub> , % | Группа устойчивости |
|----------------------------------|-----------------|-----------------------|------|---------|------------------------|---------------------|
|                                  |                 | min                   | max  | среднее |                        |                     |
| Быковский 22, st.                | среднеспелая    | 1,9                   | 13,3 | 5,5     | 52                     | У                   |
| Л-Рубин mf                       | раннеспелая     | 3,2                   | 8,3  | 6,2     | 32                     | ОУ                  |
| Л-Икар mf                        | позднеспелая    | 2,7                   | 14,6 | 7,3     | 43                     |                     |
| Л-12 ms                          | раннеспелая     | 4,4                   | 12,4 | 8,1     | 33                     |                     |
| Л-1 ms                           | раннеспелая     | 5,9                   | 17,6 | 10,0    | 28                     |                     |
| Л-Малахит mf                     | среднеспелая    | 9,8                   | 16,2 | 12,8    | 14                     | Т                   |
| Л-Медунок mf                     | раннеспелая     | 4,5                   | 19,9 | 13,5    | 25                     |                     |
| Л-Стимул mf                      | позднеспелая    | 11,6                  | 19,7 | 14,5    | 17                     |                     |
| Л-Бархан mf                      | раннеспелая     | 9,5                   | 23,3 | 17,1    | 36                     |                     |
| Л-Метеор mf                      | раннеспелая     | 7,7                   | 16,6 | 14,1    | 15                     |                     |
| Л-Восторг mf                     | позднеспелая    | 11,8                  | 20,0 | 15,3    | 19                     | СВ                  |
| Л-Фаворит mf                     | среднеспелая    | 11,2                  | 20,5 | 16,0    | 19                     |                     |
| Л-Триумф mf                      | раннеспелая     | 10,1                  | 21,4 | 16,0    | 25                     |                     |
| Л-Память Холодова mf             | раннеспелая     | 8,7                   | 26,9 | 17,5    | 24                     |                     |
| Л-Успех mf                       | раннеспелая     | 15,3                  | 21,2 | 18,3    | 53                     |                     |
| Л-Холодок mf                     | позднеспелая    | 14,0                  | 26,8 | 18,8    | 17                     |                     |
| Л-Ницаmf                         | раннеспелая     | 18,4                  | 25,0 | 20,5    | 11                     | В                   |
| Л-Каристанmf                     | раннеспелая     | 14,5                  | 30,0 | 22,0    | 24                     |                     |
| Л-Рубиновое сердце               | позднеспелая    | 17,5                  | 33,3 | 25,4    | 31                     |                     |
| Синчевский – st. восприимчивости | среднеспелая    | 14,5                  | 28,4 | 20,6    | 24                     |                     |
| Зенит – st. восприимчивости      | раннеспелая     | 11,4                  | 28,3 | 20,8    | 24                     |                     |
| НСР <sub>05</sub>                |                 |                       |      | 2,5     |                        |                     |

ный инфекционный фон) участках общепринятая для выращивания бахчевых культур в богарных условиях, без использования гербицидов и других химических препаратов. Опыты закладывали по общепринятой схеме полевого опыта (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М: Агропромиздат, 1985. 351 с.).

Создание инфекционного фона проводили путем ежегодного внесения перед посевом в каждую лунку на 3...4 см ниже глубины заделки семян измельченных растительных остатков высушенной корневой системы пораженных растений. В каждую лунку вносили 10 г инокуляма и высевали по пять семян. Число учетных растений – 30 шт. на делянке, в двукратной повторности. Площадь учетной делянки 120 м<sup>2</sup>, схема посева в лунки 2×2 м, расположение – систематическое. Учет числа пораженных растений проводили в динамике через каждые 10 суток после появления всходов по методике Фурсы Т. В. (Фурса Т. В. Селекция бахчевых культур: методические указания. Л: ВИР, 1988. 78 с). Погибшие растения извлекали из почвы и проводили фитопатологическую экспертизу подлинности возбудителя в соответствии с постулатами Коха. Идентификация по морфобиологическим признакам чистых культур, тест на патогенность и молекулярный анализ методами полифазной идентификации и фактора элонгации подтвердили, что выделенные изоляты принадлежат к *F. oxysporum* species complex (FOSC).

Ранжирование образцов по группам устойчивости проводили на основании среднесуточного показателя распространенности (Р %) болезни в образце (родительские линии – 5...7 лет; гибридные комбинации – 3...5 лет) по следующей градации: У – устойчивые, Р < 6 %, ОУ – относительно устойчивые, Р = 6...10 %; Т – толерантные, Р = 11...15 %; СВ – средневосприимчивые, Р = 16...20 %; В – восприимчивые, Р > 20 %. В испытаниях одновременно участвовало от 15 до 38 образцов в зависимости от года.

Степень доминирования признака в гибридных комбинациях определяли по формуле Гриффинга (Griffing B. Concepts of general and specific combining

ability in relation to diallel crossing systems // Austral. J. Biol. Sci. 1956. No. 9. P. 463–493):  $hp = (F_1 - P_{cp}) / (P_l - P_{cp})$ , где  $F_1$  – среднее значение гибрида;  $P_{cp}$  – средняя арифметическая обоих родительских форм;  $P_l$  – средняя арифметическая родителя с лучшими компонентами. Для интерпретации выводов использовали шкалу Бейла (Beil G. M., Atkins R. E. Inheritance of quantitative characters in grain sorghum // Jowa J Sci. 1965. No. 39. P. 345–348):  $hp < -1,0$  – депрессия признака;  $hp = -1,0$  – доминирование худшего родителя;  $-1 < hp < -0,5$  – неполное доминирование худшего родителя;  $-0,5 < hp < 0$  – частичное доминирование худшего родителя;  $hp = 0$  – промежуточное наследование;  $0 < hp < +0,5$  – частичное доминирование лучшего родителя;  $+0,5 < hp < +1$  – неполное доминирование лучшего родителя;  $hp = 1,0$  – доминирование лучшего родителя;  $hp > +1$  – сверхдоминирование.

Обработку полученных данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета ANOVA программы EXEL 2010; расчет НСР<sub>05</sub>, коэффициентов межсортовой (генотипической) изменчивости ( $Cv_{genotype}$  %) и экологической изменчивости ( $Cv_{ecol}$  %) признака в образцах, ошибки коэффициентов корреляции Пирсона (Sr) и их достоверности

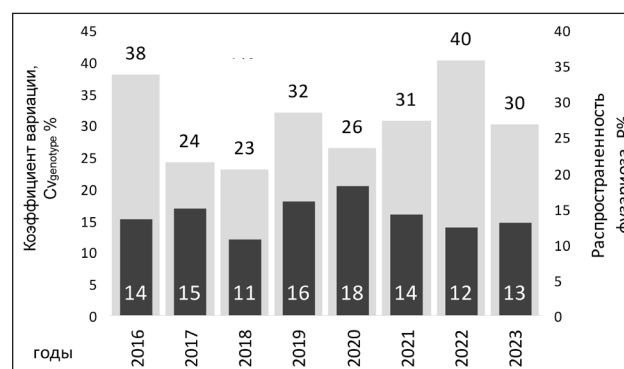


Рис. 1. Средний уровень распространенности фузариоза (■ – Р %) с коэффициентами межсортовой генетической изменчивости (□ –  $Cv_{genotype}$  %) по степени поражения образцов в разные годы (искусственный инфекционный фон).

Таблица 3. Диапазон варьирования степени пораженности растений на искусственном инфекционном фоне и группа устойчивости гибридных комбинаций  $F_1$  (ms×mf) арбуза столового к фузариозному увяданию (2016–2023 гг.)

| Гибридная комбинация (ms×mf) | Группа спелости | Распространенность, % |      |         | $Cv_{ecol}$ , % | Группа устойчивости |
|------------------------------|-----------------|-----------------------|------|---------|-----------------|---------------------|
|                              |                 | min                   | max  | среднее |                 |                     |
| Быковский 22, st.            | среднеспелая    | 1,9                   | 13,3 | 5,5     | 52              | У                   |
| Темп F1, st.                 | раннеспелая     | 8,2                   | 20,0 | 15,5    | 17              | Т                   |
| Л-1×Л-Икар                   | среднеспелая    | 3,4                   | 11,9 | 7,2     | 21              | ОУ                  |
| Л-1×Л-Рубин                  | раннеспелая     | 8,7                   | 8,8  | 8,8     | 6               |                     |
| Л-1×Л-Триумф                 | раннеспелая     | 9,1                   | 10,2 | 9,7     | 6               |                     |
| Л-1×Л-Успех                  | раннеспелая     | 3,7                   | 8,6  | 6,2     | 40              |                     |
| Л-1×Л-Ница                   | раннеспелая     | 3,6                   | 16,1 | 11,0    | 45              | Т                   |
| Л-1×Л-Медунок                | раннеспелая     | 4,3                   | 16,3 | 12,7    | 26              |                     |
| Л-1×Л-Малахит                | раннеспелая     | 6,6                   | 16,0 | 13,2    | 20              |                     |
| Л-1×Л-Восторг                | среднеспелая    | 10,4                  | 13,8 | 13,3    | 14              |                     |
| Л-1×Л-Каристан               | раннеспелая     | 8,1                   | 18,7 | 13,5    | 24              |                     |
| Л-1×Л-Фаворит                | среднеспелая    | 10,0                  | 16,7 | 14,4    | 15              |                     |
| Л-1×Л-Стимул                 | среднеспелая    | 14,7                  | 16,2 | 15,5    | 5               | СВ                  |
| Л-1×Л-Метеор                 | раннеспелая     | 10,2                  | 22,8 | 15,8    | 25              |                     |
| Л-1×Л-Бархан                 | раннеспелая     | 13,0                  | 20,7 | 16,9    | 23              |                     |
| Л-1×Л-Память Холодова        | раннеспелая     | 9,0                   | 27,5 | 18,3    | 51              |                     |
| Л-1×Л-Ультраранний           | раннеспелая     | 14,8                  | 25,0 | 19,9    | 26              |                     |
| Л-12×Л-Икар                  | среднеспелая    | 3,3                   | 4,6  | 3,9     | 17              | У                   |
| Л-12×Л-Медунок               | раннеспелая     | 8,2                   | 12,0 | 9,6     | 13              | ОУ                  |
| Л-12×Л-Метеор                | раннеспелая     | 8,8                   | 12,5 | 10,7    | 17              |                     |
| Л-12×Л-Фаворит               | среднеспелая    | 10,7                  | 16,2 | 13,5    | 20              | Т                   |
| Л-12×Л-Малахит               | раннеспелая     | 8,5                   | 22,2 | 14,3    | 31              |                     |
| Л-12×Л-Стимул                | среднеспелая    | 8,3                   | 21,4 | 14,9    | 44              |                     |
| Л-12×Л-Каристан              | раннеспелая     | 14,1                  | 28,3 | 19,5    | 23              | СВ                  |
| Л-12ms×Л-Ница                | раннеспелая     | 13,2                  | 26,3 | 19,8    | 39              |                     |
| Л-12×Л-Память Холодова       | раннеспелая     | 9,6                   | 23,3 | 16,5    | 42              |                     |
| НСР <sub>05</sub>            |                 |                       |      | 1,6     |                 |                     |

на основе  $t$ -критерия Стьюдента – по стандартным методикам (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М: Агропромиздат, 1985. 351 с.).

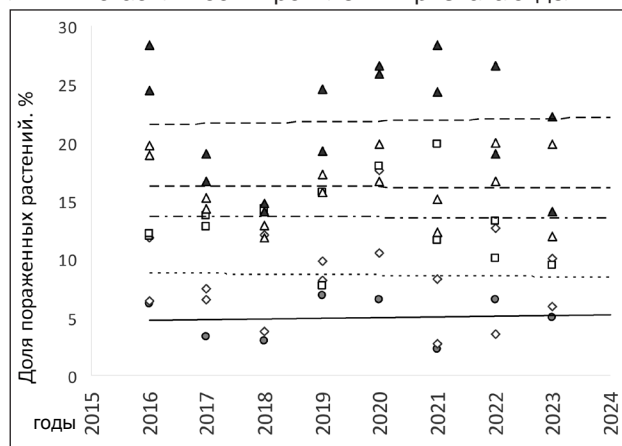
**Результаты и обсуждение.** Напряженность инфекционного фона, несмотря на ежегодное внесение одинаковой дозы инвазионного материала, значительно изменялась в разные годы. Средний уровень распространенности фузариоза на фитоучастке в совокупности по всем испытываемым образцам варьировал от 10 до 18 %. Выявлена средняя отрицательная взаимосвязь (коэффициент корреляции Пирсона) между интенсивностью развития болезни и температурным режимом в апреле ( $r = -0,64$ ;  $Sr = 0,27$ ;  $t_2,36 > t_{теор} 2,26$ ), определяющим уровень прогрева и влажность грунта в период внесения инфекции и посева семян. После прорастания и на ранних стадиях развития степень поражения растений фузариозом сильно зависит от количества выпавших осадков в мае ( $r = 0,98$ ;  $Sr = 0,09$ ;  $t_{13,31} > t_{теор} 2,26$ ) и июне ( $r = 0,86$ ;  $Sr = 0,18$ ;  $t_{4,78} > t_{теор} 2,26$ ), а в период начала плодоношения в июле определяющим фактором опять становится температура ( $r = 0,79$ ;  $Sr = 0,22$ ;  $t_{3,64} > t_{теор} 2,26$ ).

Погодные условия и напряженность инфекционного фона соответственно отражались и на степени межсортовых отличий. Наиболее низкий коэффициент генотипической изменчивости был в 2018 г. ( $Cv_{genotype} = 23$  %), когда сложились благоприятные условия для развития растений арбуза столового и неблагоприятные для развития фузариоза ( $P = 11$  %) ввиду повышенных весенних температур (апрель, май) и небольшого количества осадков в мае и июне (см. табл. 1). Межсортовые различия (рис. 1) устойчивости образцов на фоне высокой напряженности инфекционного фона ( $P = 18$  %) в 2020 г. с холодной и засушливой весной также были менее выражены ( $Cv_{genotype} = 26$  %), чем при среднем его уровне ( $P = 12...14$  %) в относительно благоприятном 2022 г.

( $Cv_{genotype} = 40$  %) и неблагоприятном для роста растений 2016 г. ( $Cv_{genotype} = 38$  %).

Анализ выборки родительских линий и стандартов устойчивости с разной степенью поражения фузариозом в отдельные годы (табл. 2) и разным уровнем экологической изменчивости ( $Cv_{ecol}$  %) по этому признаку позволил уточнить градацию распределения образцов на группы устойчивости с соответствующими диапазонами варьирования среднего показателя распространенности болезни в образце.

В ходе оценки трендов средневзвешенного значения признака в каждой группе образцов с установленным диапазоном варьирования по годам, линии которых практически параллельны, несмотря на различия в стабильности проявления признака отдельных



**Рис. 2.** Средневзвешенные значения распространенности болезни по результатам многолетних испытаний в разных группах устойчивости: абсолютные величины – ● – устойчивые, ◇ – относительно устойчивые, □ – толерантные, ▲ – средневосприимчивые, ▲ – восприимчивые; линейные тренды – У – сплошная, ОУ – пунктирная, Т – штрихпунктирная, СВ – длиннопунктирная, В – короткопунктирная.

Таблица 4. Группа устойчивости, коэффициент наследования признака в гибридном потомстве  $F_1$  скрещиваний ( $ms \times mf$ ) и комбинационная способность родительских  $mf$ -линий арбуза столового по устойчивости к фузариозному увяданию (2016–2023 гг.)

| Отцовский компонент |                     | Материнский компонент        |      |                              |      | $mf$ -линия |      |
|---------------------|---------------------|------------------------------|------|------------------------------|------|-------------|------|
| $mf$ -линия         | группа устойчивости | Л-1ms (ОУ)                   |      | Л-12 ms (ОУ)                 |      | ОКС         | СКС  |
|                     |                     | группа устойчивости ГК $F_1$ | hr   | группа устойчивости ГК $F_1$ | hr   |             |      |
| Л-Икар              | ОУ                  | ОУ                           | 1,0  | У                            | 8,9  | 6,8         | 5,2  |
| Л-Новогодний        | ОУ                  | У                            | 1,9  | ОУ                           | 1,8  | 8,0         | 8,2  |
| Л-Местный Грузия    | ОУ                  | ОУ                           | 0,5  | У                            | 1,5  | 5,4         | 1,8  |
| Л-Медунок           | Т                   | Т                            | -0,5 | ОУ                           | 0,5  | 1,2         | 4,6  |
| Л-Малахит           | Т                   | Т                            | -1,3 | Т                            | -1,6 | -1,3        | 0,3  |
| Л-Метеор            | Т                   | СВ                           | -1,9 | ОУ                           | 0,2  | -0,8        | 12,8 |
| Л-Триумф            | СВ                  | ОУ                           | 1,3  | Т                            | -0,7 | 0,2         | 13,3 |
| Л-Холодок           | СВ                  | ОУ                           | 1,1  | Т                            | 0,0  | 0,6         | 5,2  |
| Л-Фаворит           | СВ                  | Т                            | -0,4 | Т                            | -0,4 | -1,5        | 0,3  |
| Л-Память Холодова   | СВ                  | СВ                           | -1,5 | СВ                           | -2,6 | -8,4        | 12,8 |
| Л-Ница              | В                   | Т                            | 0,9  | СВ                           | -1,9 | -6,3        | 16,8 |
| Л-Каристан          | В                   | Т                            | 0,5  | СВ                           | -0,6 | -4,2        | 17,8 |
| Л-Рубин             | У                   | ОУ                           | -0,2 | -                            | -    | -           | -    |
| Л-Стимул            | Т                   | Т                            | -1,5 | -                            | -    | -           | -    |
| Л-Ультраскороспелый | Т                   | Т                            | -3,2 | -                            | -    | -           | -    |
| Л-Восторг           | СВ                  | Т                            | 0,0  | -                            | -    | -           | -    |
| Л-Бархан            | СВ                  | Т                            | -0,9 | -                            | -    | -           | -    |
| Л-Успех             | СВ                  | ОУ                           | 2,2  | -                            | -    | -           | -    |

образцов в пределах этих групп, установлено (рис. 2), что в группах устойчивых и относительно устойчивых образцов при высоком уровне экологической изменчивости ( $Cv_{ecol} = 28...52\%$ ), доля пораженных растений фузариозом во все годы была самой низкой, относительно других образцов, и линии трендов в этих группах находятся на уровне 5...6 % (У) и 7...8 % (ОУ). В остальных группах устойчивости линии трендов располагаются соответственно выше – 13...14 % (Т), 16...17 % (СВ) и 22...23 % (В).

Линии со средним уровнем экологической изменчивости ( $Cv_{ecol} < 20\%$ ) в основном присутствуют в группе толерантных образцов – Л-Малахит  $mf$ , Л-Стимул  $mf$  и Л-Метеор  $mf$ , а также в группе средневосприимчивых – Л-Холодок  $mf$ , Л-Восторг  $mf$  и Л-Фаворит  $mf$ . Относительной стабильностью отличалась только восприимчивая линия Л-Ница  $mf$  ( $Cv_{ecol} = 11\%$ ). Зависимости устойчивости образца от его скороспелости не прослеживали, поскольку наибольшую вредоносность фузариоза отмечали на ранних стадиях развития растений. Во всех группах устойчивости присутствовали представители практически всех групп спелости (см. табл. 2).

Согласно результатам анализа гибридных комбинаций (ГК) с участием стерильных и фертильных линий ( $ms \times mf$ ), по стабильности проявления признака устойчивости к фузариозу, наоборот, выделяли ГК

из группы относительно устойчивых Л-1×Л-Рубин, Л-1×Л-Триумф, Л-12×Л-Икар, и Л-12×Л-Медунок и Л-12×Л-Метеор ( $Cv_{ecol} < 17\%$ ). В других группах устойчивости можно отметить четыре толерантные ГК – Л-1×Л-Восторг, Л-1×Л-Фаворит, Л-12×Л-Фаворит и Л-1×Л-Малахит и одну средневосприимчивую ГК Л-1×Л-Стимул (табл. 3).

При этом, в ходе гибридизации повышался иммунный статус растений, смещаясь в сторону устойчивых и толерантных генотипов, что, вероятно, связано с высокой устойчивостью материнского компонента скрещивания – стерильных  $ms$ -линий. В результате общая доля относительно устойчивых и толерантных ГК составила более 70 %,

при отсутствии восприимчивых ГК (рис. 3).

Однако, при использовании устойчивых материнских линий на устойчивость гибридного потомства существенное влияние оказывал и отцовский компонент скрещивания, проявляя различную степень доминирования родительских форм. В двух ГК этот признак имел промежуточный характер наследования, в четырех отмечено неполное доминирование устойчивости ( $+0,5 < hr < +1$ ), а положительное доминирование или сверхдоминирование ( $hr \geq 1$ ) – в трех ГК с участием относительно устойчивых  $mf$ -линий Л-Икар, Л-Новогодний, Л-Местный Грузия и двух средневосприимчивых  $mf$ -линий Л-Триумф и Л-Холодок при скрещивании с линией Л-1ms. В остальных комбинациях проявлялось частичное отрицательное доминирование худшего родителя ( $-0,5 < hr < 0$ ) или депрессия признака ( $hr < -1,0$ ) относительно лучшей родительской формы (табл. 4).

Высокую общую комбинационную способность (ОКС) среди отцовских  $mf$ -линий, участвующих в скрещиваниях с двумя  $ms$ -линиями (тестеры), соответственно, имели относительно устойчивые  $mf$ -линии Л-Икар и Л-Новогодний (ОКС  $> 6$ ), самую низкую с отрицательным значением ОКС – средневосприимчивая  $mf$ -линия Л-Память Холодова и восприимчивые  $mf$ -линии Л-Ница и Л-Каристан (ОКС  $< -0,5$ ).

В то же время, ряд  $mf$ -линий проявили высокую

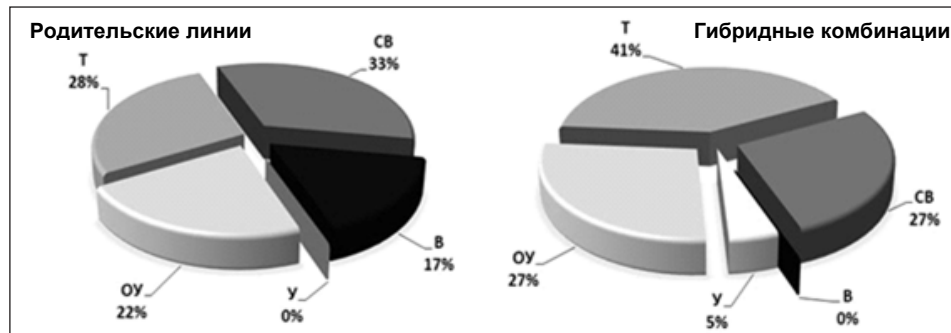
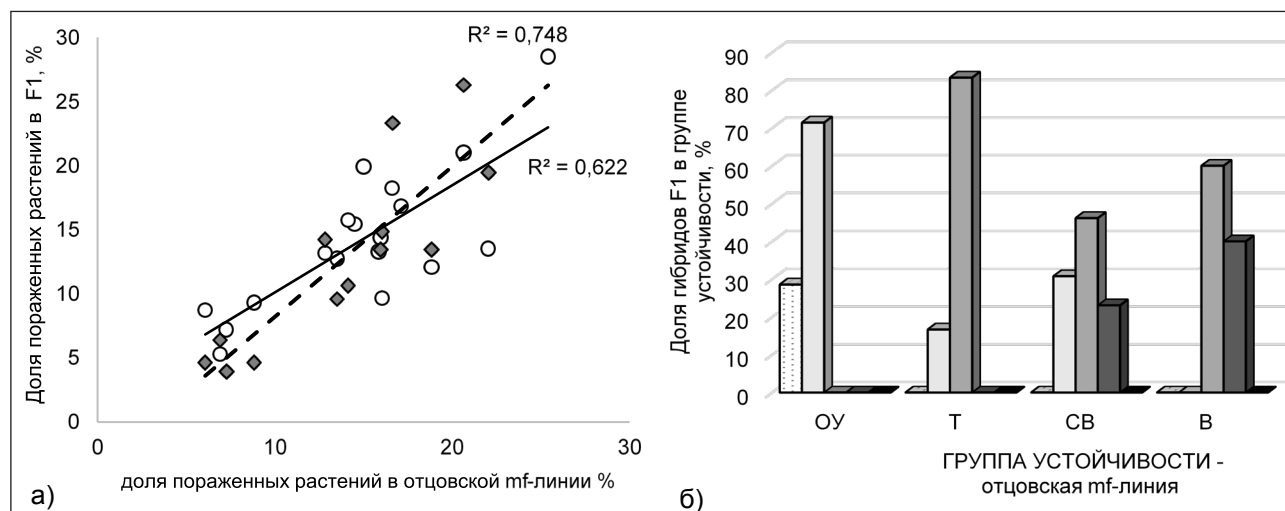


Рис. 3. Распределение родительских линий и гибридных комбинаций арбуза столового по группам устойчивости к фузариозному увяданию (среднее за 2013–2023 гг.).

специфическую комбинационную способность (СКС  $> 12$ ), что объясняется различной генетической основой материнских  $ms$ -линий. Так, гибрид с участием Л-Метеор  $mf$  показал более высокую устойчивость к фузариозу в комбинации с линией Л-12  $ms$  и вошел в ОУ группу ( $P = 10\%$ ), тогда как гибриды при скрещивании линий Л-Ница  $mf$  и Л-Каристан  $mf$  с линией



**Рис. 4.** Взаимосвязи между степенью поражения растений отцовских mf-линий и их гибридного потомства в комбинациях с участием устойчивых материнских ms-линий (а) и распределение гибридов F1 на группы устойчивости в зависимости от уровня устойчивости отцовских mf-линий (б): абсолютные значения ○ – Л-1ms, ◆ – Л-12ms; линии линейной регрессии — — — — — Л-1ms, - - - - - Л-12ms; □ – У, □ – ОУ, □ – Т, □ – СВ, □ – В (среднее за 2016–2023 гг.).

Л-1ms, перешли из средневосприимчивой ( $P > 19\%$ ) в группу толерантных ( $P < 15\%$ ) (см. табл. 3, табл. 4).

Тем не менее, между процентом пораженных фузариозным увяданием растений в mf-линиях и гибридах F1 с их участием взаимосвязь оказалась близка к линейной (рис. 4 а), и была более тесной в комбинациях со стерильной линией Л-12ms ( $R^2 > 0,7$ ). При использовании в скрещивании относительно устойчивых отцовских mf-линий большинство полученных ГК проявили этот же уровень устойчивости, но около 30 % из них вошли в группу устойчивых образцов, проявляя резистентность к фузариозу на уровне стандарта сорта Быковский 22 ( $P < 6\%$ ). В остальных группах mf-линий, преобладали толерантные по устойчивости ГК, доля которых составила 45...80 % (рис. 4 б). То есть изученные ГК по среднемуголетнему показателю относились либо к одной группе устойчивости с отцовской линией, либо превышали ее по уровню устойчивости.

Другим важным критерием иммунного статуса генотипа считают его способность противостоять действию фитопатогена, формируя урожай даже при высокой инфекционной нагрузке во время эпифитотии. Искусственный фон в этом случае можно считать модельной патосистемой, которая позволяет провести такую оценку. Урожайность стандарта устойчивости сорта Быковский 22 на инфекционном фоне снижалась на 22 % относительно контро-

ля, а восприимчивых сортов Зенит и Синчевский – на 44 и 55 % соответственно (табл. 5).

Большинство родительских линий и гибридных комбинаций проявили толерантность на уровне или выше стандарта устойчивости, кроме mf-линий Л-Каристан и Л-Фаворит, у которых урожайность при искусственном заражении фузариозом снизилась более, чем на 30 %.

Среди родительских форм к наиболее адаптивным можно отнести линии Л-12ms, Л-Метеор mf из раннеспелой группы и среднеспелую линию Л-Икар mf, а

**Таблица 5. Урожайность родительских линий и гибридных комбинаций F1 (ms×mf) арбуза столового в контроле (без заражения) и опыте (искусственный фузариозный инфекционный фон) (2021–2022 гг.)**

| Гибрид, родительская линия          |                     | Урожайность, т/га |      |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|------|
| название                            | группа устойчивости | контроль          | опыт |
| Быковский 22 – st. устойчивости     | У                   | 20,5              | 15,9 |
| <b>Раннеспелая группа спелости</b>  |                     |                   |      |
| Бархан F1 – st. урожайности         | -                   | 16,8              | -    |
| Зенит – st. восприимчивости         | В                   | 16,0              | 7,2  |
| ♀ Л-1ms                             | ОУ                  | 17,3              | 13,6 |
| ♀ Л-12ms                            | ОУ                  | 16,5              | 15,8 |
| Л-1ms×Л- Медунок mf                 | Т                   | 19,8              | 14,9 |
| Л-12ms×Л- Медунок mf                | ОУ                  | 17,3              | 14,7 |
| ♂ Л- Медунок mf                     | Т                   | 17,1              | 14,6 |
| Л-1ms×Л-Метеор mf                   | СВ                  | 17,2              | 13,1 |
| Л-12ms×Л-Метеор mf                  | ОУ                  | 17,4              | 15,8 |
| ♂ Л-Метеор mf                       | СВ                  | 17,0              | 15,6 |
| Л-1ms×Л-Каристан mf                 | Т                   | 15,2              | 12,1 |
| Л-12ms×Л-Каристан mf                | СВ                  | 17,4              | 13,8 |
| ♂ Л-Каристан mf                     | В                   | 14,7              | 10,0 |
| <b>Среднеспелая группа спелости</b> |                     |                   |      |
| Тимоша – st. урожайности            | -                   | 17,9              | -    |
| Синчевский – st. восприимчивости    | В                   | 16,2              | 9,1  |
| Л-1ms×Л-Икар mf                     | ОУ                  | 22,9              | 18,8 |
| Л-12ms×Л-Икар mf                    | У                   | 22,1              | 19,0 |
| ♂ Л- Икар mf                        | ОУ                  | 18,1              | 16,8 |
| Л-1ms×Л-Стимул mf                   | Т                   | 17,5              | 14,5 |
| Л-12ms×Л-Стимул mf                  | Т                   | 20,0              | 18,4 |
| ♂ Л- Стимул 235 mf                  | Т                   | 14,3              | 12,4 |
| Л-1ms×Л-Малахит mf                  | Т                   | 20,9              | 16,9 |
| Л-12ms×Л-Малахит mf                 | Т                   | 20,1              | 17,0 |
| ♂ Л- Малахит 15 mf                  | Т                   | 18,8              | 16,1 |
| Л-1ms×Л-Фаворит mf                  | Т                   | 20,5              | 16,0 |
| Л-12ms×Л-Фаворит mf                 | Т                   | 24,0              | 18,9 |
| ♂ Л-Фаворит 269 mf                  | СВ                  | 17,0              | 11,8 |
| НСР <sub>05</sub>                   |                     | 1,1               | 0,8  |

среди гибридных комбинаций –  $F_1$  Л-12ms × Л-Метеор mf и  $F_1$  Л-12ms × Л-Стимул mf, у которых урожайность относительно контроля снизилась менее, чем на 10 %. Остальные гибридные комбинации проявили, как и сорт Быковский 22, средний уровень выносливости (отклонение от контроля не более 25 %).

В целом, урожайность ряда ГК превысила соответствующие стандарты и родительские линии. В контрольном варианте среди раннеспелых образцов выделилась ГК Л-1ms×Л-Медунок mf – на 3 т/га выше стандарта урожайности Бархан  $F_1$ , превышение над материнской и отцовской линией составило 2,5 и 2,7 т/га соответственно. Остальные ГК этой группы по урожайности были на уровне стандарта или родительских линий. В среднеспелой группе практически все ГК превысили стандарт по урожайности сорт Тимоша (на 2,1...6,1 т/га) и родительские линии (на 1,3...7,0 т/га). Исключение составила ГК Л-1ms×Л-Стимул mf, урожайность которой была на уровне стандарта (17, 5 т/га), но превысила отцовскую линию на 3,2 т/га. На инфекционном фоне существенное превышение урожайности относительно родительских линий отмечено только в среднеспелой группе ГК, которое варьировало от 0,9 т/га до 5,2 т/га в зависимости от комбинации скрещивания. Наиболее урожайными, как в контрольном варианте, так и в опыте были ГК с участием отцовской линии Л-Икар mf – в среднем 22 т/га и 19 т/га соответственно (см. табл. 5).

**Выводы.** В богарных условиях Волгоградской области интенсивность развития фузариоза (Р, %), определяющая напряженность инфекционного фона, в среднем по всей совокупности образцов в период исследований варьировала от 11 % до 18 % в зависимости от сложившихся метеоусловий. По годам также изменялся уровень устойчивости к фузариозу большинства образцов ввиду высокой экологической изменчивости признака ( $Cv_{ecol} > 15\%$ ). В группе устойчивых образцов доля пораженных растений в разные годы варьировала от 2 % до 13 %, в группе восприимчивых диапазон был шире и составлял 15...33 %.

Наиболее высокие коэффициенты межсортовой генетической изменчивости ( $Cv_{genotip} > 35\%$ ) зарегистрированы в 2016 и 2022 гг. при среднем уровне напряженности инфекционного фона ( $P=12...14\%$ ), а самые низкие ( $Cv_{genotip} = 23\%$ ) в благоприятном для развития растений арбуза столового 2018 г. с наименьшей интенсивностью развития фузариоза ( $P=11\%$ ).

#### Литература.

1. Martyn R. D., McLaughlin R. J. Effects of inoculum concentration on the apparent resistance of watermelon to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* // *Plant Disease*. 1983. Vol. 67. P. 493–495.
2. Zhou X. G., Everts K. L. Races and inoculum density of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in commercial watermelon fields in Maryland and Delaware // *Plant Disease*. 2003. Vol. 87. P. 692–698.
3. Key factors affecting watermelon yield loss in different growing seasons / A. S. Pereira, G. R. dos Santos, R. A. Sarmento, et al. // *Sci Hort.* 2017. Vol. 218. P. 205–212. doi: 10.1016/j.scienta.2017.02.030.
4. First report on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* causing water-melon fusarium wilt in Bangladesh / K. M. Alam, M. M. Alam, Md. Monirul Islam, et al. // *Plant Disease*. 2020. Vol. 104. No. 6. P. 1859–1860. doi: 10.1094/PDIS-11-19-2466-PDN.
5. First report of *Fusarium* wilt disease on watermelon caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in Malaysia / M. Z. Rahman, K. Ahmad, Y. Siddiqui, et al. // *Plant Disease*. 2021. Vol. 105. No. 12. P. 4169. doi: 10.1094/PDIS-04-21-0780-PDN.
6. Resistance to *Fusarium* wilt in watermelon accessions inoculated by *chlamydospores* / A. E. Silva Costa, F. S. da Cunha, A. da Cunha Honorato, et al. // *Scientia Horticulturae*. 2018. Vol. 228. P. 181–186. doi: 10.1016/j.scienta.2017.10.007.
7. QTL-seq identifies and QTL mapping refines genomic regions conferring resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* race 2 in cultivated watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum & Nakai] / S. Pal, E. S. Rao, D. C. L. Reddy, et al. // *Scientia Horticulturae*. 2023. Vol. 319. Article 112180. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423823003515?via%3Dihub> (дата обращения: 18.04.2024). doi: 10.1016/j.scienta.2023.112180.
8. Gecicoglu Erincik B., Doken M. T. Races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in the Aydin province // *Turkish Phytopathology*. 2017. Vol. 46. P. 33–41.
9. Pal S., Rao E. S., Hebbar S. S. Assessment of *Fusarium* wilt resistant *Citrullus* sp. rootstocks for yield and quality traits of grafted watermelon // *Scientia Horticulturae*. 2020. Vol. 272. Article 109497. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423820303253?via%3Dihub> (дата обращения: 18.04.2024). doi: 10.1016/j.scienta.2020.109497.

В качестве источников устойчивости к фузариозу высокую селекционную ценность имеют относительно устойчивые стерильные материнские линии Л-12ms и Л-1ms, у которых доля пораженных растений в среднем за годы исследования составляла 8...10 %, а в отдельные годы находилась на уровне стандарта устойчивости сорта Быковский 22. Среди изученных ГК на их основе более 70 % вошли в группу относительно устойчивых и толерантных, а восприимчивые ГК отсутствовали.

Признак устойчивости при гибридизации с ms-линиями в ГК не всегда наследуется доминантно ( $-1,9 < h_r < 2,2$ ) и определяется уровнем устойчивости, комбинационной способностью и выносливостью отцовской формы при заражении возбудителями фузариозного увядания. Среди изученных отцовских mf-линий наибольший интерес с этой точки зрения представляют не только относительно устойчивые с высокой общей комбинационной способностью линии Л-Икар и Л-Новогодний, но и mf-линии из других групп устойчивости – Л-Триумф (СВ), Л-Холодок (СВ), Л-Метеор mf (СВ), Л-Фаворит mf (Т), Л-Стимул mf (Т).

Урожайность лучших ГК с их участием в контроле без заражения (естественный инфекционный фон) превышала родительские линии и соответствующие стандарты на 0,4...6,1 т/га, а на инфекционном фоне снижалась относительно контроля менее чем на 10...20 %, что было на уровне стандарта устойчивости сорта Быковский 22.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена по Государственному заданию FGGF-2024-0010 ФНП Фундаментальные научные исследования по теме «Создать конкурентоспособные сорта и гибриды овощных, бахчевых и цветочных культур с комплексом хозяйственно ценных признаков для открытого и защищенного грунта для различных регионов РФ». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

10. Родигин М. Н. Патогенность *Fusarium niveum* и выявление устойчивых к увяданию разновидностей арбузов // Труды Быковской опытной станции бахчеводства. 1935. № 3. С. 122–123.
11. Шворнева А. М. Влияние условий выращивания арбуза на повреждение его фузариозным увяданием // Труды Быковской бахчевой опытной станции. 1957. № 4. С. 134.
12. Жизнеспособность пыльцы и получение перспективных форм у арбуза / А. С. Овчинников, Т. Г. Колебошина, О. П. Варивода и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 1. С. 35–41.
13. Варивода О. П., Шапошников Д. С., Варивода Г. В. Исследование жизнеспособности пыльцы диплоидных и полиплоидных форм арбуза при селекции на гетерозис // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 66. С. 54–58.
14. Варивода Е. А., Колебошина Т. Г. Результаты сравнительной оценки гетерозисных гибридов и сортов арбуза по хозяйственно ценным признакам // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 72–76. doi: 10.21515/1999-1703-72-76.
15. Варивода Е. А., Колебошина Т. Г. Использование гетерозиса в селекции арбуза столового на Быковской бахчевой опытной станции // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 4. С. 46–50. doi: 10.21515/1999-1703-91-46-50.
16. Козарь Е. Г., Масленникова Е. С., Варивода Е. А. Исходный материал арбуза столового для селекции на адаптивность в условиях богары Нижнего Поволжья // Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе». Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. С. 253–260.
17. Варивода Е. А., Байбакова Н. Г. Характеристика межлинейных гибридов F1 арбуза столового по степени доминирования и величине истинного и гипотетического гетерозиса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 3. С. 132–139. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-132-139.
18. К расшифровке механизма «взаимодействия генотип – среда» в условиях изменения климата для плодовых культур на юге России / В. А. Драгавцев, И. А. Драгавцева, Н. В. Можар и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 142–148. doi: 10.21515/1999-1703-72-142-148.

## References

1. Martyn RD, McLaughlin RJ. Effects of inoculum concentration on the apparent resistance of watermelon to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. Plant Disease. 1983;67:493-5.
2. Zhou XG, Everts KL. Races and inoculum density of *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* in commercial watermelon fields in Maryland and Delaware. Plant Disease. 2003;87:692-8.
3. Pereira AS, dos Santos GR, Sarmento RA, et al. Key factors affecting watermelon yield loss in different growing seasons. Sci Hortic. 2017;218:205-12. doi: 10.1016/j.scienta.2017.02.030.
4. Alam KM, Alam MM, Monirul Islam Md, et al. First report on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* causing water-melon fusarium wilt in Bangladesh. Plant Disease. 2020;104(6):1859-60. doi: 10.1094/PDIS-11-19-2466-PDN.
5. Rahman MZ, Ahmad K, Siddiqui Y, et al. First report of *Fusarium* wilt disease on watermelon caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in Malaysia. Plant Disease. 2021;105(12):4169. doi: 10.1094/PDIS-04-21-0780-PDN.
6. Silva Costa AE, da Cunha FS, da Cunha Honorato A, et al. Resistance to *Fusarium* wilt in watermelon accessions inoculated by chlamydospores. Scientia Horticulturae. 2018;228:181-6. doi: 10.1016/j.scienta.2017.10.007.
7. Pal S, Rao ES, Reddy DCL, et al. QTL-seq identifies and QTL mapping refines genomic regions conferring resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* race 2 in cultivated watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum & Nakai]. Scientia Horticulturae [Internet]. 2023 [cited 2024 Apr 18];319: Article 112180. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423823003515> via %3Dihub. doi: 10.1016/j.scienta.2023.112180.
8. Gesioglu Erincik B, Doken MT. Races of *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* in the Aydın province. Turkish Phytopathology. 2017;46:33-41.
9. Pal S, Rao ES, Hebbar SS. Assessment of *Fusarium* wilt resistant *Citrullus* sp. rootstocks for yield and quality traits of grafted watermelon. Scientia Horticulturae [Internet]. 2020 [cited 2024 Apr 18];272: Article 109497. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423820303253> via %3Dihub. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109497.
10. Rodigin MN. [Pathogenicity of *Fusarium niveum* and identification of wilt-resistant watermelon varieties]. Trudy Bykovskoi opytnoi stantsii bakhchevodstva. 1935;(3):122-3. Russian.
11. Shvorneva AM. [Effect of watermelon growing conditions on its damage by *Fusarium* wilt]. Trudy Bykovskoi bakhchevoi opytnoi stantsii. 1957;(4):134. Russian.
12. Ovchinnikov AS, Kaleboshina TG, Varivoda OP, et al. [Pollen viability and obtaining promising forms in watermelon]. Izvestiya Nizhnepovolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2017;(1):35-41. Russian.
13. Varivoda OP, Shaposhnikov DS, Varivoda GV. [Study of pollen viability of diploid and polyploid forms of watermelon during breeding for heterosis]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017;(66):54-8. Russian.
14. Varivoda EA, Kaleboshina TG. [Results of comparative evaluation of heterotic hybrids and varieties of watermelon for economically valuable traits]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018;(72):72-6. Russian. doi: 10.21515/1999-1703-72-76.
15. Varivoda E A, Kaleboshina TG. [Use of heterosis in breeding of table watermelon at the Bykovskaya melon experimental station]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021;(4):46-50. Russian. doi: 10.21515/1999-1703-91-46-50.
16. Kozar' EG, Maslennikova ES, Varivoda EA. [Source material of table watermelon for breeding for adaptability under dryland conditions of the Lower Volga region]. In: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Innovatsionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse» [Proceedings of the international scientific and practical conference “Innovative technologies in the agro-industrial complex”]. Voronezh (Russia): Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. Imperatora Petra I; 2023. p. 253-60. Russian.
17. Varivoda EA, Baibakova NG. [Characteristics of interlinear F1 hybrids of table watermelon by the degree of dominance and the magnitude of true and hypothetical heterosis]. Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2022;(3):132-9. Russian. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-132-139.
18. Dragavtsev VA, Dragavtseva IA, Mozhar NV, et al. [Towards deciphering the mechanism of “genotype-environment interaction” under climate change for fruit crops in the south of Russia]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018;(72):142-8. Russian. doi: 10.21515/1999-1703-72-142-148.

Поступила в редакцию 24.05.2024 После доработки 05.07.2024 Принята к публикации 15.08.2024