

Изучение морфобиологических особенностей возбудителя настоящей мучнистой росы культур семейства Cucurbitaceae L.

М. Е. СЛЕТОВА, И. Б. КОРОТЦЕВА, А. В. КАМЕНЕВА, И. А. ЕНГАЛЫЧЕВА, С. Н. БЕЛОВ

Федеральный научный центр овощеводства, ул. Селекционная, 14, пос. ВНИИССОК, Одинцовский р-н, Московская обл., 143080, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью оценки современного видового состава возбудителей настоящей мучнистой росы тыквенных культур для выделения источников устойчивости огурца в условиях Московского региона. Объект исследований – возбудитель настоящей мучнистой росы тыквенных культур. Материал для исследований – 17 селекционных линий огурца и коллекция растений-дифференциаторов (*Lagenaria siceraria*, *Cucumis sativus*, *Cucumis melo*, *Cucurbita pepo*, *Citrullus lanatus*, *Luffa cylindrica*). Мониторинг развития мучнистой росы осуществляли в условиях защищённого грунта в 2021–2023 гг. Изоляцию *Podosphaera xanthii* с поражённых растений и изучение морфобиологических особенностей гриба выполняли классическими методами фитопатологии и световой микроскопии. Расовый состав изучали по специфике реакции растений-дифференциаторов семейства Cucurbitaceae в ответ на заражение. Иммунологический скрининг линий огурца на устойчивость к возбудителю мучнистой росы проводили при искусственном заражении, ранжируя на группы устойчивости по 5-и балльной шкале. По наличию в конидиях исследуемого изолята фиброзиновых телец, боковому прорастанию ростковой трубки спустя 12 ч, а также линейным размерам (длина=30,5±3,1 мкм, ширина=17,7±2,7 мкм, индекс формы=1,8) возбудитель отнесён к виду *P. xanthii*. Степень развития болезни на растениях-дифференциаторах была следующей: *L. siceraria*, *C. sativus*, *C. pepo* и *C. melo* R≥60 %; *C. lanatus* и *L. cylindrica* R=0 %. Реакция восприимчивости растений-дифференциаторов указывает на присутствие 1 и 2 расы *P. xanthii*. Фенотипическая оценка селекционных линий по признаку устойчивости к *P. xanthii* позволила выделить новый исходный материал (Л-143, Л-168-2, Л-168, Л-130 и Л-208-2 – R=0 %, Л-211 – R=0,3 %, Л-234 – R=8,3 % и Л-210 – R=9,6 %) для включения в селекционный процесс по созданию устойчивых к настоящей мучнистой росе сортов и гибридов огурца.

Ключевые слова: *Podosphaera xanthii*, физиологические расы, настоящая мучнистая роса, Cucurbitaceae L.

Сведения об авторах: М. Е. Слетова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник (e-mail: gvina@yandex.ru); И. Б. Коротцева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; А. В. Каменева, аспирант; И. А. Енгальчева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; С. Н. Белов, аспирант.

Для цитирования: Изучение морфобиологических особенностей возбудителя настоящей мучнистой росы культур семейства Cucurbitaceae L. / М. Е. Слетова, И. Б. Коротцева, А. В. Каменева и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 10. С. 76–81. doi: 10.53859/02352451_2024_38_10_76

Study of morphobiological characteristics of the pathogen of powdery mildew of crops of the Cucurbitaceae L. family.

М. Е. Sletova, I. B. Korotseva, A. V. Kameneva, I. A. Engalycheva, S. N. Belov

Federal Scientific Center of Vegetable-Growing, ul. Selektionnaya, 14, pos. VNISSOK, Odintsovskii r-n, Moskovskaya obl., 143080, Russian Federation

Abstract. The studies aimed to assess the current species composition of cucurbit powdery mildew pathogens to identify sources of cucumber resistance in the Moscow region. The object of the study was the cucurbit powdery mildew pathogen. The research material was 17 cucumber breeding lines and a collection of differentiating plants (*Lagenaria siceraria*, *Cucumis sativus*, *Cucumis melo*, *Cucurbita pepo*, *Citrullus lanatus*, *Luffa cylindrica*). Powdery mildew development was monitored in protected soil conditions in 2021–2023. Isolation of *Podosphaera xanthii* from affected plants and study of the morphobiological features of the fungus were performed using classical methods of phytopathology and light microscopy. The racial composition was studied based on the specific reaction of differentiating plants of the Cucurbitaceae family in response to infection. Immunological screening of cucumber lines for resistance to the causative agent of powdery mildew was carried out under artificial infection, ranking into resistance groups on a 5-point scale. Based on the presence of fibrosin bodies in the conidia of the studied isolate, lateral germination of the germ tube after 12 h, and linear dimensions (length = 30.5 ± 3.1 μm, width = 17.7 ± 2.7 μm, shape index = 1.8), the pathogen was attributed to the species *P. xanthii*. The degree of disease development on differentiator plants was as follows: *L. siceraria*, *C. sativus*, *C. pepo* and *C. melo* R ≥ 60 %; *C. lanatus* and *L. cylindrica* R = 0 %. The susceptibility reaction of differentiator plants indicates the presence of races 1 and 2 of *P. xanthii*. Phenotypic evaluation of breeding lines for resistance to *P. xanthii* allowed to isolate new source material (L-143, L-168-2, L-168, L-130 and L-208-2 – R=0%, L-211 – R=0.3%, L-234 – R=8.3% and L-210 – R=9.6%) for inclusion in the breeding process for creating cucumber varieties and hybrids resistant to powdery mildew.

Keywords: *Podosphaera xanthii*; physiological races; powdery mildew; Cucurbitaceae L.

Author Details: M. E. Sletova, Cand. Sc. (Agr.), research fellow (e-mail: gvina@yandex.ru); I. B. Korotseva, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; A. V. Kameneva, post graduate student; I. A. Engalycheva, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; S. N. Belov, post graduate student.

For citation: Sletova ME, Korotseva IB, Kameneva AV, et al. [Study of morphobiological characteristics of the pathogen of powdery mildew of crops of the Cucurbitaceae L. family.]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(10):76–81. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_10_76

Среди факторов, оказывающих значительное влияние на качество и урожайность овощных культур, болезни грибной этиологии находятся в числе лидирующих и их вредоносность только растёт [1, 2]. Одним из наиболее значимых для культур семейства Cucurbitaceae заболеваний считают настоящую мучнистую росу [3]. Возбудители настоящей мучнистой росы культур семейства Cucurbitaceae – высокоспециализированные паразитические биотрофные организмы, успешно адаптировались к различным климатическим зонам, где произрастают их растения-хозяева. Вредоносность патогенов при оптимальных почвенно-климатических условиях может приводить не только к значительному ухудшению качества плодов, но и к снижению урожайности

в среднем до 30...50 %. В отдельные эпифитотийные годы потери урожая могут достигать 100 % [4, 5].

В Центральной Нечернозёмной зоне РФ настоящая мучнистая роса наиболее вредоносна для культуры огурца в светокультуре и при выращивании в весенних плёночных теплицах, а также для кабачка в условиях защищённого грунта. В условиях же открытого грунта на тыквенных культурах (кабачок, тыква, огурец) эпифитотии развиваются в отдельные, благоприятные для патогенов годы [5, 6].

В патогенезе мучнистой росы на представителях семейства Cucurbitaceae могут участвовать три вида возбудителя *Podosphaera xanthii* ((Castagne) U. Braun & Shishkoff, Schlechtendali), *Erysiphe cichoracearum* (Dc Exmerat), *Leveillula taurica*

f. *cucurbitacearum* Gol, из которых в почвенно-климатических условиях Московской области выявлены только первые два. По-видимому, грибок *L. taurica* – наименее распространённый паразит, поскольку ареал его обитания ограничен засушливыми и жаркими регионами Африки (Ливия, Иран, Ирак) и Азии (Израиль, Узбекистан), однако встречается и в Европе. Этот возбудитель идентифицирован в Российской Федерации Соколовым Ю. В. только в оптимальном для его обитания Астраханском регионе [5].

Возбудителя *E. cichoracearum* встречают во многих регионах мира, при этом часто обнаруживают в умеренном климате и условиях открытого грунта. Этот фитопатоген определен как доминирующий на территории Чехии [7], а также идентифицирован на культуре огурца в Италии, Франции, Украине, Молдове и Германии, и в США на культуре кабачка, огурца и арбуза [8, 9, 10].

Наиболее распространённым и вредоносным видом считают *P. xanthii*, который выявлен не только в умеренных регионах, но и в тропических и субтропических районах мира, включая такие страны как: Индонезия, Корея, Китай, Япония, Молдова, Украина, Белоруссия, Франция, Судан, Марокко, Иран, Бразилия, Мексика, США и др. [5, 10, 11].

Значительные различия по патогенности и вирулентности среди видов возбудителей мучнистой росы бахчевых культур обусловлены присутствием в разных географических регионах различных физиологических рас и патотипов возбудителей [11]. На сегодняшний момент в мире существует несколько подходов к дифференциации физиологических рас, основанных на реакциях восприимчивости растений-хозяев. Описаны различные наборы тест-систем культурных видов растений семейства Cucurbitaceae, среди них – тест-система из 6 видов (*Cucumis sativus*, *Cucumis melo*, *Cucurbita pepo*, *Citrullus lanatus*, *Cucurbita maxima*), а также набор 21 сорта *Cucumis melo* и др. [7]. В литературе встречаются упоминания о не менее 28 физиологически различных расах *P. xanthii* и 2 расах *E. cichoracearum*. [8]. Группой учёных во Франции идентифицировано семь рас на восьми различных генотипах *Cucumis melo* L. [5]. В Японии в опытах с участием тех же растений-дифференциаторов, выявили ещё четыре неизвестных ранее расы (N1, N2, N3 и N4) [11]. Ряд исследователей полагают, что в реальности рас и патотипов значительно больше [10]. Большее число рас у вида *P. xanthii* обусловлено, по-видимому, его значительной изменчивостью, по сравнению с видом *E. cichoracearum*. Изучение физиологических рас патогенов основано на реакциях совместимости отдельных рас патогена с конкретным растением-хозяином.

Настоящую мучнистую росу достаточно легко диагностировать по типичному светлому, белому или светло-серому порошковатому налёту на поверхности фотосинтезирующих частей растений. На начальном этапе на листе в месте прикрепления патогена могут образовываться светло-зелёные или хлоротичные пятна, однако иногда колония формируется без изменения пигмента. Патологический процесс в зависимости от генотипа поражённого растения может идти в нескольких направлениях: на месте пятна может развиваться колония; в точке поражения может усиливаться хлороз, но развития фитопатогена не наблюдают; небольшой хлороз переходит в некроз вследствие апоптоза клеток поражённого растения. Видоспецифичным может быть характер роста колоний патогена: обилие мелких округлых пятен чаще всего свидетельствует о присутствии возбудителя *P. xanthii*, для гриба *E. cichoracearum* – более характерны размытые пятна, а для *L. taurica* – угловатые. Однако это не обязательное условие, возможны смешанные инфекции с разной долей присутствия фитопатогенов [4]. Чаще всего при естественном заражении симптомы начинаются с ниж-

него яруса более старых листьев, в этом случае поражение продвигается с низу вверх, последовательно распространяясь по поверхности восприимчивого растения. В случае искусственного заражения или распространения болезни путём случайного переноса, например, на одежде персонала в условиях защищённого грунта – симптомы образуются в местах инокуляции.

Мицелий, напоминающий порошок, образован конидиями, состоящих, в свою очередь, из цепочек конидий, чаще всего овальной или эллипсоидной формы. Конидии, образующиеся в анаморфной или бесполой стадии гриба, – основной источник инфицирования растений. Зрелые конидии легко отделяются при движении воздуха и могут переноситься воздушными потоками на значительные расстояния, расширяя для патогена ареал его обитания. При попадании на лист конидия формирует характерную для своего вида ростковую трубку, с первичным апрессорием на конце. В дальнейшем апрессорий формирует инфекционную гифу, которая при проникновении в растительную клетку трансформируется в гаусторию – орган питания гриба. Поскольку возбудители настоящей мучнистой росы относятся к облигатным биотрофам, способным в отсутствие живого растения-хозяина выживать только в половой или телеоморфной стадии в виде клейстотеций, то поддержание патогена в лабораторных условиях возможно на «зелёном конвейере» из восприимчивых растений [5].

Большинство культурных растений семейства Cucurbitaceae в большей или меньшей степени восприимчивы к тому или иному виду возбудителя. Тем не менее высокая вероятность развития устойчивости при использовании химического метода контроля, резкие колебания вирулентности патогенов и сезонные сдвиги в патосистеме, глобальное изменение климата указывают на необходимость в качестве важнейшего компонента в борьбе с мучнистой росой выведение устойчивых или толерантных сортов и гибридов [12, 13].

Цель исследования – оценка современного видового состава возбудителей настоящей мучнистой росы тыквенных культур для выделения источников устойчивости огурца в условиях Московского региона.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2021–2023 гг. на базе лабораторий молекулярно-иммунологических исследований, а так же селекции и семеноводства тыквенных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО).

Объект исследования – возбудитель настоящей мучнистой росы тыквенных культур, выделенный с поражённых растений огурца в условиях защищённого грунта.

Материалом для исследования служили 17 селекционных линий огурца и коллекция растений-дифференциаторов (*Lagenaria siceraria* 985 (Индия), *Cucumis sativus* L. сорт Marketer (Чили), *Cucumis melo* L. сорт PMR 45 (Чили), *Cucurbita pepo* L. сорт Diamant (Франция), *Citrullus lanatus* L. сорт Sugar Baby (Россия), *Luffa cylindrica* 604 (Вьетнам)).

Мониторинг распространённости и вредоносности настоящей мучнистой росы на культуре огурца проводили в условиях защищённого грунта Московской области. Идентификацию видовой принадлежности возбудителей осуществляли по таксономически значимым характеристикам анаморфной стадии: наличию фиброзных телец, по скорости и способу прорастания ростковой трубки, а также линейным размерам конидий.

Прорастание спор проводили в условиях влажной камеры. Для этого с нативного материала художественной кистью смахивали обильное спороношение на сухое предметное стекло. Далее стекло помещали во влажную камеру в чашки Петри с двойным слоем переувлажнённых стерильных фильтровальных дисков с верхней и нижней стороны. Про-

растение происходило при температуре 23 °С. Динамику прорастания фиксировали в течение 48 ч. По способу формирования конидии проводили видовую идентификацию конидии – с боковым прорастанием ростковой трубки вид относили к *P. xanthii*, с субтермальным положением (из узкой части под углом) – к *E. cichoracearum*.

Наличие или отсутствие фиброзиновых телец определяли в присутствии 3 % свежеприготовленного раствора гидроксида калия.

Биометрические параметры конидий изучали микроскопическим методом с фоторегистрацией и измерением в программе ScopePhoto 3.0.

В своих исследованиях учёные неоднократно упоминали о сложности изучения видового и расового состава возбудителей настоящей мучнистой росы в связи со сложным характером взаимоотношений внутри патосистемы «растение – паразит»: влияние эколого-географических факторов, генетической составляющей выращиваемых сортов, высокой гетерогенности популяции патогена [5, 9]. На сегодняшний момент применяют наборы растений-дифференциаторов, восприимчивых к разным физиологическим расам возбудителей настоящей мучнистой росы тыквенных культур.

Видовой и расовой состав возбудителей настоящей мучнистой росы определяли с помощью общепринятого набора растений-дифференциаторов (*L. siceraria*, *C. sativus*, *C. melo*, *C. pepo*, *C. lanatus*, *L. cylindrica*) любезно предоставленных Федеральным исследовательским центром «Все-российским институтом генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» в вегетационных боксах.

Изоляцию гриба с восприимчивого сорта огурца осуществляли путём переноса его конидиального спороношения на здоровые растения, выращенные в контролируемых условиях вегетационного бокса в фазе 1...2 настоящих листьев.

Патогенность возбудителя протестировали на 17 селекционных образцах огурца в условиях искусственного инфекционного фона. Инокуляцию в лабораторных условиях осуществляли в контролируемых условиях вегетационного бокса (освещение день/ночь 12ч/12ч, температура 23±1 °С и влажность воздуха 60...80 %) свежеприготовленной споровой суспензией конидий в концентрации 10⁴. Заражение проводили в трехкратной повторности по 10 растений в каждой повторности, путём опрыскивания суспензией вегетирующих растений начиная с фазы 1-го настоящего листа каждые 7 суток. Всего было проведено 3 обработки суспензией. После заражения на 12 часов растения оставляли в темноте.

В период проведения исследования в лабораторных условиях контролировали уровень инфекционной нагрузки на эталонных сортообразцах огурца. Так, мониторинг напряженности и выровненности искусственного инфекционного фона для иммунологической оценки линейного материала огурца на устойчивость к мучнистой росе, проводили на растениях, стандартов устойчивости (stR) – сорт Единство (селекции ФГБНУ ФНЦО) и восприимчивости (stS) – селекционная линия Л-156 (Япония).

Учёты проводили 4 раза каждые 7 суток. О патогенности возбудителя в динамике судили по степени развития болезни (R, %), которую вычисляли по формуле:

$$R = \frac{\sum(r \times b) \times 100}{n \times 4};$$

где $\sum$ – сумма произведе-

ний ($r \times b$); r – количество поражённых растений; b – балл поражения; 4 – высший балл поражения; n – количество учитываемых растений (30 шт.).

Степень поражения растений огурца возбудителем настоящей мучнистой росы оценивали по следующей шкале: 0 баллов – здоровые растения; 0,1 балл – единичные колонии возбудителя; 1 балл – поражено до 1/4 поверхности листа; 2 балла – поражено до 1/2 поверхности листа; 3 балла – поражено до 2/3 поверхности листа; 4 балла – поражено свыше 2/3 поверхности листа.

Дифференциацию сортообразцов культур семейства Cucurbitaceae L. по группам устойчивости проводили следующим образом: I – относительно устойчивые (ОУ) – степень развития болезни 0...10 %; II – слабовосприимчивые (СлВ) – степень развития болезни 11...25 %; III – средневосприимчивые (СрВ) – степень развития болезни 26...50 %; IV – сильновосприимчивые (В) – степень развития болезни > 50 %.

Анализ экспериментальных данных и статистическая оценка были выполнены в Microsoft Excel 2016 (Microsoft, USA) и Statistica 7.0 (StatSoft, USA). Определение значимости различий иммунологической реакции растений огурца на заражение возбудителем настоящей мучнистой росы определяли с помощью теста Дункана с вероятностью 95 % ($p \leq 0,05$). Нормальность распределения определяли по критерию Шапиро-Уилкса для каждого учёта отдельно. Для первого учёта значения составили: $W_1=0,71$ при $p<0,002$, для второго – $W_2=0,75$ при $p<0,004$, для третьего – $W_3=0,5$ при $p<0,00035$ и четвёртого – $W_4=0,71$ при $p<0,0012$.

Результаты и обсуждение. В результате мониторинга значимых в экономическом отношении заболеваний в условиях защищённого грунта ФГБНУ ФНЦО в 2021–2023 гг. были отобраны образцы спороношения с сильно поражённых растений огурца с симптомами настоящей мучнистой росы.

Изучение конидиального спороношения изолята возбудителя настоящей мучнистой росы микроскопическим методом выявило, что спустя 12 ч при температуре 21 °С в условиях влажной камеры из широкой части конидии отмечали прорастание ростковой трубки, что характерно для вида *P. xanthii*. При этом ростковые трубки были простыми короткими, иногда раздвоенными на концах (рис. 1а). По литературным данным у представителей же вида *E. cichoracearum* ростковая трубка формируется значительно раньше, уже спустя 2,5...3 часа из узкой части конидии, чаще всего под углом и при этом формирующийся апрессорий на её конце имеет форму булавы. Конидий с подобным типом прорастания обнаружено не было. В присутствии 3 % раствора гидроксида калия в конидиях найдены таксономически значимые желтоватые структуры стержнеобразной формы – фиброзиновые тельца (см. рис. 1б), которые отсутствуют у вида *E. cichoracearum* [3].

Линейные размеры конидий характеризовались следующими средними значениями: длина – 30,5±3,1 мкм, шири-

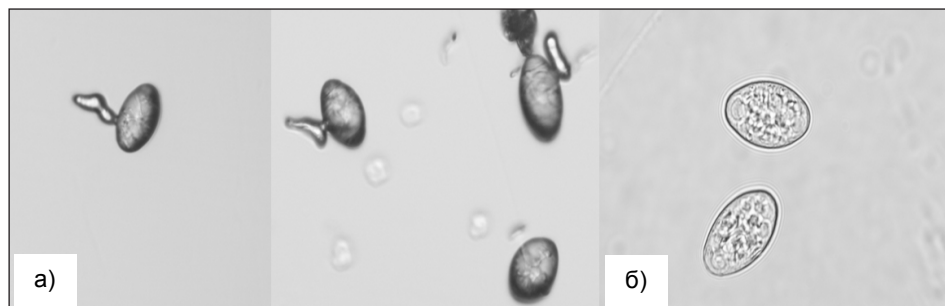


Рис. 1. Морфологические особенности анаморфной стадии гриба *P. xanthii*: а) прорастание ростковой трубки; б) конидии с фиброзиновыми тельцами.

на – 17,7±2,7 мкм. При этом индекс формы (соотношение длины к ширине) составил 1,8 (диапазон от 1,3 до 2,7), что согласуется с сообщениями других исследователей [3].

Таким образом, по результатам изучения морфологических особенностей конидий гриба изучаемый образец отнесён к виду *P. xanthii*.

Изучение реакции анализируемых растений-дифференциаторов в условиях искусственного заражения на инокуляцию грибом *P. xanthii* позволило выявить высокую восприимчивость растений четырёх видов семейства Cucurbitaceae: *L. siceraria*, *C. sativus*, *C. pepo* и *C. melo* (табл. 1).

Таблица 1. Изучение расового состава возбудителя настоящей мучнистой росы тыквенных культур

Растение-дифференциатор	Сорт, образец	Страна-происхождение	Реакция восприимчивости/устойчивости*
<i>Lagenaria siceraria</i>	985	Индия	S*
<i>Cucumis sativus</i> L.	Marketer	Чили	S
<i>Cucumis melo</i> L.	PMR-45	Чили	S
<i>Cucurbita pepo</i> L.	Diamant	Франция	S
<i>Citrullus lanatus</i>	Sugar Baby	Россия	R
<i>Luffa cylindrica</i>	604	Вьетнам	R

*S – susceptible (восприимчивость), R – resistant (устойчивость).

По литературным данным, сорт дыни PMR 45 устойчив к 1 расе и восприимчив ко 2, 3, 4 и 5 физиологическим расам *P. xanthii*. Растения кабачка F1 Диамант – восприимчивы к 1, 2 и 3 расам *P. xanthii*, огурца сорта Marketer к – 0 и 1 расам *P. xanthii* [4, 6, 7]. Интересен тот факт, что в полевых условиях Украины на фоне присутствия в агробиоценозе двух возбудителей мучнистой росы (*E. cichoracearum* и *P. xanthii*) показана восприимчивость культуры *L. siceraria* только к возбудителю *E. cichoracearum* [14]. В наших исследованиях в условиях искусственного заражения установлена агрессивность и вирулентность гриба *P. xanthii* в отношении *L. siceraria* (R≥60 %), что согласуется с данными, полученными французскими учёными [5, 7, 8]. Высокую степень восприимчивости к патогену проявили также растения огурца сорта Marketer, дыни сорта PMR-45 и кабачка сорта Diamant. Восприимчивость анализируемых растений-дифференциаторов указывает на присутствие патогенных рас: 1, 2, а также весьма вероятное – 3, 4 и 5 гриба *P. xanthii*. Данные о видовом составе возбудителей мучнистой росы на культуре арбуза разнятся. Одними исследователями показана возможность заражения только видом *E. cichoracearum*, другие указывают на его восприимчивость к агрессивным расам *P. xanthii*. Культура люффы не поражается в соответствии с литературными источниками обоими видами возбудителя [5]. По резуль-

татам наших исследований отсутствие симптомов заражения растений арбуза – также косвенное подтверждение наличия в изучаемом изоляте только гриба *P. xanthii*.

Таким образом высокая вредоносность возбудителя *P. xanthii* выделенного с культуры огурца в условиях Московской области обусловлена присутствием разных физиологических рас гриба.

После подтверждения высокой агрессивности (R=60...100 %) гриба *P. xanthii* на растениях-дифференциаторах, на следующем этапе для изучения его вирулентности и иммунологической оценки на устойчивость в исследование включили широкий набор селекционных линий огурца. Симптомы развития болезни на растениях селекционной линии Л-156 проявились прежде всего на семядольных листьях уже на 7-е сутки после заражения (рис. 2а).

При этом анализ течения патогенеза настоящей мучнистой росы на неустойчивом генотипе выявил стабильно высокую степень развития болезни (R≥67 %) с варьированием поражения в зависимости от фазы роста растений 3...4 балла.

Растения стандарта устойчивости через 7 суток после заражения (фаза 1...2 настоящих листа) отличались отсутствием симптомов настоящей мучнистой росы как на семядольных, так и на настоящих листьях (см. рис. 2б). На отдельных растениях к 14 суткам после инокуляции наблюдали лишь единичные колонии возбудителя 0,5...1 см в диаметре на семядольных листьях и первом настоящем листе с незначительным усилением в начале генеративной фазы. Степень развития болезни в зависимости от даты учёта варьировала от 0 до 12,9 %. Также следует отметить отсутствие признаков реакции сверхчувствительности, что подразумевает использование растениями сорта Единство иных механизмов защиты от возбудителя.

При изучении патогенных свойств возбудителя настоящей мучнистой росы в контролируемых условиях искусственного инфекционного фона выявлено, что линейный материал проявлял различную иммунологическую реакцию при инокуляции фитопатогеном. Известно, что признаки заражения при оптимальных для возбудителя условиях на восприимчивых генотипах могут обнаруживаться уже на третьи сутки, однако чаще всего проявляются на 7...14 сутки. Первые симптомы в виде отдельных округлых белых талькообразных колоний в фазе 1...2-х настоящих листьев с индексом поражения до 1 балла и распространённостью R=30 % обнаружили на 7-е сутки после инокуляции у селекционных образцов Л-156 и Л-153 (табл. 2). В местах роста колонии отмечали небольшие светло-зелёные пятна 1...2 мм в диаметре. Спустя трое суток наблюдали стремительное развитие симптомов с 3...4 балами поражения и степенью распространения 100 % на всех растениях восприимчивых генотипов.

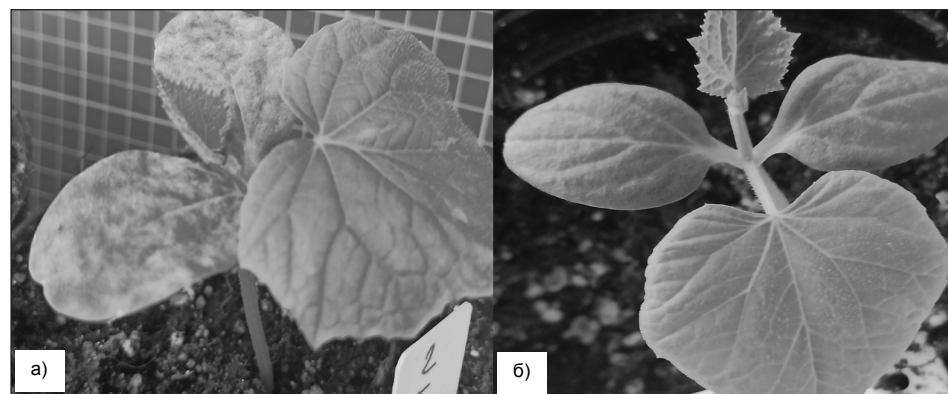


Рис. 2. Влияния возбудителя настоящей мучнистой росы на контрастные по устойчивости растения огурца: а) симптомы поражения на восприимчивом генотипе (Л-156), б) отсутствие симптомов на устойчивом (сорт Единство).

Известно, что устойчивость огурца к настоящей мучнистой росе, в ряде случаев, носит полигенный рецессивный характер, что обуславливает включение в механизмы защиты различных мажорных и минорных генов, что оказывает влияние на варьирование признака устойчивости на разных этапах онтогенеза [4]. Схожую картину мы наблюдали и при анализе экспериментальных данных. По результатам наших исследований, устойчивость анализируемых селекцион-

Таблица 2. Фенотипическая оценка перспективных линий огурца по признаку устойчивости к возбудителю *P. xanthii* в динамике в условиях искусственного заражения

Тип стабильности проявления симптомов	Генотип	Степень развития болезни, %				Группа устойчивости
		7 сутки	14 сутки	21 сутки	28 сутки	
I	Единство, St R*	0,01 ^{a**}	5,3 ^c	0 ^a	12,9 ^d	ОУ
	Л-143	0 ^a	0,0 ^a	0 ^a	0 ^a	ОУ
	Л-168-2	0 ^a	1,5 ^b	0 ^a	0 ^a	ОУ
	Л-168	0 ^a	6,3 ^d	0 ^a	0 ^a	ОУ
	Л-130	0 ^a	10,1 ^f	0 ^a	0 ^a	ОУ
	Л-211	0,3 ^a	7,8 ^e	0 ^a	0,3 ^a	ОУ
	Л-210	9,6 ^c	11,9 ^g	9,6 ^d	9,9 ^c	ОУ
	Л-208-2	0 ^a	15,4 ^h	0 ^a	0 ^a	ОУ
	Л-234	8,3 ^c	1,3 ^b	0 ^a	8 ^c	ОУ
II	Л-196	17,5 ^f	15,8 ^h	0 ^a	17,5 ^g	СлВ
	Л-167-4	11,3 ^d	16,4 ⁱ	0 ^a	11,3 ^e	СлВ
	Л-178	3,5 ^b	41,7 ⁱ	0 ^a	3,6 ^b	СлВ
III	Л-128	15,8 ^e	15,7 ^h	16,4 ^e	15,8 ^f	СрВ
	Л-188-1	17,5 ^f	34,2 ^k	17,5 ^f	17,5 ^g	СрВ
	Л-153	40 ⁱ	23,3 ^j	3,1 ^c	40 ^k	СрВ
	Л-161	33,8 ^g	48,3 ^o	2,4 ^b	33,8 ^h	СрВ
IV	Л-156, St S	78,6 ⁱ	95,4 ^m	67,5 ^g	78,5 ^l	В

*St R – standard resistant (стандарт устойчивости), St S – standard susceptible (стандарт восприимчивости); ** – в таблице приведены средние значения степени развития болезни среди селекционных линий отдельно по каждой дате учёта, %; а...т – различия между значениями с одинаковой буквой несут существенны с вероятностью 95 % согласно тесту Дункана.

ных линий к *P. xanthii* на разных фазах развития растений имела неравномерный характер. Поэтому, включенные в исследование линии огурца мы разделили на четыре группы по типу стабильности проявления симптоматики в течении всего периода изучения.

В первую группу относительно устойчивых вошли девять линий огурца, включая стандарт устойчивости сорт Единство, проявившие стабильно высокий уровень устойчивости на протяжении всего периода исследования. У этой группы образцов, представляющих наибольшую ценность для селекции на устойчивость, единичные колонии диаметров до 1...2 см на настоящих листьях появились только на 14 сутки, степень развития болезни не превышала 15%. Однако с началом активного вегетативного роста растений происходило усыхание поражённых семядольных листьев, дальнейшее распространение патогена до конца анализируемого периода не наблюдали.

У линий, относящихся ко II, III и IV группам первые признаки поражения настоящей мучнистой росой наблюдались уже на 7 сутки (R=3,5...79% в зависимости от образца). Во вторую группу слабовосприимчивых вошли три линии (Л-196, Л-167-4, Л-178), у которых в течении периода исследований устойчивость к грибу *P. xanthii* носила изменчивый характер.

К 14 суткам наблюдали активное распространение возбудителя *P. xanthii* на семядольных и настоящих листьях растений огурца, при последующем активном вегетативном росте наблюдали снижение интенсивности симптомов и торможение развития гриба. Но к фазе формирования генеративных органов отмечали активизацию патогенеза, вторичное появление колоний на настоящих листьях, развитие болезни прогрессировало (R=3,6...17,5%).

Таким образом, сроки появления первых симптомов на селекционных линиях, относящихся к группе В, СрВ и СлВ регистрировали на 7 суток ранее, по сравнению с растениями, относящимися к ОУ.

Селекционные линии, вошедшие в третью группу средневосприимчивых по стабильности проявления признака устойчивости (Л-128, Л-188-1, Л-153, Л-161) в основном обеспечили среднюю восприимчивость в условиях искусственного заражения грибом *P. xanthii*,

однако имела неравномерный характер.

В целом степень развития болезни на всех изучаемых образцах к четвёртому учёту варьировала в диапазоне от 0 до 79%.

Полученный новый исходный материал будет включён в селекционный процесс по созданию устойчивых к настоящей мучнистой росе сортов и гибридов огурца. Значительная доля устойчивых образцов при использовании искусственного инфекционного фона свидетельствует о правильной селекционной стратегии.

Выводы. В условиях защищённого грунта Московской области идентифицирован возбудитель настоящей мучнистой росы на культуре огурца – вид *P. xanthii*. Фитопатологическое изучение этого изолята показало присутствие характерных для *P. xanthii* таксономически значимых характеристик: наличие в конидиях фиброзиновых телец, место прорастания ростковой трубки – из широкой части конидии, время её прорастания во влажной камере – спустя 12 ч, линейные размеры – длина 30,5±3,1 мкм, ширина 17,7±2,7 мкм, индекс формы конидий – 1,8.

Биотестирование с использованием растений-дифференциаторов в защищенном и открытом грунте, а также в лабораторных условиях впервые показало наличие в патогенезе настоящей мучнистой росы 1 и 2 физиологических рас гриба *P. xanthii*, а также возможное присутствие 0, 3, 4 и 5 рас. Степень развития болезни при искусственном заражении на культурах *C. sativus* сорт Marketer, *C. melo* сорт PMR 45 *C. pepo* F1 Диамант и *L. siceraria* 985 была высокой R≥60%. Устойчивость растений *C. lanatus* сорт Sugar baby (R=0%) к возбудителю настоящей мучнистой росы свидетельствует об отсутствии рас гриба *P. xanthii*, вирулентных к этой культуре и косвенно подтверждает отсутствие возбудителя *E. cichoracearum*.

Степень развития болезни на всех изучаемых образцах селекционных линий огурца в условиях искусственного заражения варьировала в диапазоне от 0 до 78,5%. У восьми относительно устойчивых линий (Л-143, Л-168-2, Л-168, Л-130, Л-210, Л-211, Л-208-2 и Л-234) первые симптомы заражения появлялись только на 14-е сутки, а степень развития болезни к последнему учёту составляла 0...9,9%.

Практический интерес для селекции представляют три слабовосприимчивых линии (Л-196, Л-167-4, Л-178), у которых первые признаки поражения появлялись на 7 сутки, но степень развития болезни к окончательному учёту не превышала 17,5%.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена в рамках Государственного задания FGGF-2022-0016 по теме: «Разработка эффективных технологий предбридингового скрининга и выделения ген-источников для создания сортов и гибридов овощных и бахчевых культур с групповой устойчивостью к доминирующим фитопатогенам на основе иммунологических и

молекулярно-генетических методов».

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТЬ.

Выражаем огромную благодарность кандидату сельскохозяйственных наук, ведущему научному сотруднику отдела генетических ресурсов овощных и бахчевых культур ВИР имени Н.И. Вавилова Пискуновой Т.М. за предоставленную коллекцию тыквенных культур.

Литература.

1. *Fusarium species causing pepper wilt in Russia: Molecular identification and pathogenicity* / I. Engalycheva, E. Kozar, S. Vetrova, et al. // *Microorganisms*. 2024. Vol. 12. Article 343. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/12/2/343> (дата обращения: 12.04.2024). doi: 10.3390/microorganisms12020343.
2. Скрининг селекционных линий свеклы столовой по устойчивости к фомозу / С. А. Ветрова, Е. Г. Козарь, И. А. Енгальчева и др. // *Таврический вестник аграрной науки*. 2023. № 4 (36). С. 38–50. doi: 10.5281/zenodo.10276686.
3. Хомченко Н. Н., Будылин М. В., Гавриш С. Ф. Оценка родительских линий огурца и гибридов F1 на устойчивость к болезням при помощи маркер-опосредованной селекции на платформе ПЦР в реальном времени // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. № 72. С. 363–368. doi: 10.21515/1999-1703-72-363-368.
4. Медведев А. В., Кузьмин С. В., Бухаров А. Ф. Селекция кабачка на устойчивость к мучнистой росе на юге России // *Аграрная наука*. 2019. № 3. С. 91–95. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-91-95.
5. Слетова М. Е. Видовой состав возбудителей настоящей мучнистой росы тыквенных культур // *Овощи России*. 2022. № 4. С. 91–97. doi: 10.18619/2072-9146-2022-4-91-97.
6. Молекулярный скрининг образцов коллекции кабачка и патиссона с использованием маркеров гена Pm-0, контролирующего устойчивость к мучнистой росе / Ф. А. Беренсен, Т. М. Пискунова, С. В. Кузьмин и др. // *Экологическая генетика*. 2023. Т. 21. № 2. С. 107–121. doi: 10.17816/ecogen110988.
7. *Cucurbit powdery mildews: methodology for objective determination and denomination of races* / A. Lebeda, E. Kristkova, B. Sedlakova, et al. // *European Journal of Plant Pathology*. 2016. Vol. 144. No. 2. P. 399–410. doi: 10.1007/s10658-015-0776-7.
8. Bardin M., Carlier J., Nicot P. C. Genetic differentiation in the French population of *Erysiphe cichoracearum*, a causal agent of powdery mildew of cucurbits // *Plant Pathology*. 1999. Vol. 48. P. 531–540.
9. Николаев А. Н. Мучнистая роса тыквенных культур в Молдове // *Аграрная наука*. 2019. № 3. С. 96–101. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-96-101.
10. Miazziiazzi M., Laguardiaaguardia C., Faretraaretra F. Variation in *Podosphaera xanthii* on cucurbits in southern Italy // *Journal of Phytopathology*. 2011. Vol. 159. No. 7-8. P. 538–545. doi: 10.1111/j.1439-0434.2011.01801.x.
11. Powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) resistance in melon is selectable at the haploid level / M. Kuzuya, K. Hosoya, K. Yashiro, et al. // *Journal of Experimental Botany*. 2003. Vol. 54. No. 384. P. 1069–1074. doi: 10.1093/jxb/erg100.
12. Суханбердина Э. Х., Грушин А. А., Пискунова Т. М. Скрининг коллекции огурца по устойчивости к ложной мучнистой росе в зоне нижнего Поволжья // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019. Т. 180. № 2. С. 102–108. doi: 10.30901/2227-8834-2019-2-102-108.
13. Кузьмицкая Г. А. Состояние селекции и семеноводства огурца в Хабаровском крае: проблемы и перспективы // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 6. С. 65–69. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10612.
14. Tomason Y., Gibson P. T. Fungal characteristics and varietal reactions of powdery mildew species on cucurbits in the steppes of Ukraine // *Agronomy Research*. 2006. Vol. 4. No. 2. P. 549–562.

References

1. Engalycheva I, Kozar E, Vetrova S, et al. *Fusarium species causing pepper wilt in Russia: Molecular identification and pathogenicity*. *Microorganisms* [Internet]. 2024 [cited 2024 Apr 12];12: Article 343. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2607/12/2/343>. doi: 10.3390/microorganisms12020343.
2. Vetrova SA, Kozar' EG, Engalycheva IA, et al. [Screening of beetroot breeding lines for resistance to phomosis]. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki*. 2023;(4):38-50. Russian. doi: 10.5281/zenodo.10276686.
3. Khomchenko NN, Budylin MV, Gavriush SF. [Evaluation of cucumber parental lines and F1 hybrids for disease resistance using marker-assisted breeding on a real-time PCR platform]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(72):363-8. Russian. doi: 10.21515/1999-1703-72-363-368.
4. Medvedev AV, Kuz'min SV, Bukharov AF. [Breeding zucchini for resistance to powdery mildew in the south of Russia]. *Agramaya nauka*. 2019;(3):91-5. Russian. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-91-95.
5. Sletova ME. [Species composition of pathogens causing powdery mildew of cucurbits]. *Ovoshchi Rossii*. 2022;(4):91-7. Russian. doi: 10.18619/2072-9146-2022-4-91-97.
6. Berensen FA, Piskunova TM, Kuz'min SV, et al. [Molecular screening of zucchini and squash collection samples using markers of Pm-0 gene controlling resistance to powdery mildew]. *Ekologicheskaya genetika*. 2023;21(2):107-21. Russian. doi: 10.17816/ecogen110988.
7. Lebeda A, Kristkova E, Sedlakova B, et al. *Cucurbit powdery mildews: methodology for objective determination and denomination of races*. *European Journal of Plant Pathology*. 2016;144(2):399-410. doi: 10.1007/s10658-015-0776-7.
8. Bardin M, Carlier J, Nicot PC. Genetic differentiation in the French population of *Erysiphe cichoracearum*, a causal agent of powdery mildew of cucurbits. *Plant Pathology*. 1999;48:531-40.
9. Nikolaev AN. [Powdery mildew of cucurbits in Moldova]. *Agramaya nauka*. 2019;(3):96-101. Russian. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-96-101.
10. Miazziiazzi M, Laguardiaaguardia C, Faretraaretra F. Variation in *Podosphaera xanthii* on cucurbits in southern Italy. *Journal of Phytopathology*. 2011;159(7-8):538-45. doi: 10.1111/j.1439-0434.2011.01801.x.
11. Kuzuya M, Hosoya K, Yashiro K, et al. Powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) resistance in melon is selectable at the haploid level. *Journal of Experimental Botany*. 2003;54(384):1069-74. doi: 10.1093/jxb/erg100.
12. Sukhanberdina EK, Grushin AA, Piskunova TM. [Screening of cucumber collection for resistance to downy mildew in the Lower Volga region]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. 2019;180(2):102-8. Russian. doi: 10.30901/2227-8834-2019-2-102-108.
13. Kuz'mitskaya GA. [State of cucumber breeding and seed production in Khabarovsk Krai: Problems and prospects]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020;34(6):65-9. Russian. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10612.
14. Tomason Y, Gibson PT. Fungal characteristics and varietal reactions of powdery mildew species on cucurbits in the steppes of Ukraine. *Agronomy Research*. 2006;4(2):549-62.

Поступила в редакцию 26.05.2024 После доработки 20.07.2024 Принята к публикации 11.09.2024