

УДК 582.282:32.4.01/.08

ЭЛЕКТРОННЫЙ КЛЮЧ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГРИБОВ РОДА *ALTERNARIA*, РАСПРОСТРАНЕННЫХ В РОССИИ

© 2022 г. Ф. Б. Ганнибал^{1,*}, А. С. Орина^{1,**}

¹ Всероссийский НИИ защиты растений, 196608 Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: fgannibal@vizr.spb.ru

**e-mail: orina-alex@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.04.2022 г.

После доработки 05.06.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

Грибы рода *Alternaria* встречаются почти повсеместно на различных субстратах, в т.ч. являются возбудителями экономически значимых болезней культурных растений. В России на культурных и дикорастущих растениях обнаружено более 30 видов рода *Alternaria*. В настоящей статье описан составленный нами электронный многоходовый политомический интерактивный ключ для идентификации наиболее распространенных в России секций и видов грибов рода *Alternaria*. Было отобрано 32 морфологических и культуральных признака, используемых в систематике рода, которые удобно использовать при идентификации. Для каждого признака был составлен список возможных состояний (от 2 до 29). В результате разработан ключ для 32 видов и 10 секций рода *Alternaria*, который доступен по адресу <http://alternaria.ru> в версиях на русском и английском языках. Для функционирования определителя используется Java-апплет NaviKey v. 5.01.

Ключевые слова: микромицеты, морфология, электронный определитель, *Alternaria alternata*, *Alternaria brassicae*, *Alternaria brassicicola*, *Alternaria dauci*, *Alternaria linariae*, *Alternaria porri*, *Alternaria radicina*, *Alternaria solani*

DOI: 10.31857/S0026364822060034

ВВЕДЕНИЕ

Alternaria Nees (*Dothideomycetes*, *Pleosporales*, *Pleosporaceae*) – большой род грибов, который, благодаря полиморфизму и нестабильности признаков, в течение многих десятилетий привлекает внимание систематиков и вызывает дискуссии вокруг таксономии и номенклатуры этих грибов. В последнее время серия работ привела к реконструкции молекулярной филогении *Alternaria* с удовлетворительным уровнем подробности и четкости (Lawrence et al., 2012, 2013, 2014; Woudenberg et al., 2013, 2014; Al Ghafri et al., 2019). В настоящий момент морфологический и филогенетический анализ позволяют говорить о примерно 360 видах рода (Wijayawardene et al., 2020), объединенных в 29 секций, а также несколько монотипических линий, которым статус секций пока не присвоен (Lawrence et al., 2016; Al Ghafri et al., 2019; Gannibal et al., 2022a).

Представители рода *Alternaria* встречаются почти повсеместно на большом спектре субстратов: чаще на растениях и растительных остатках, реже в почве, находящихся в сырости строительных материалах, а также в воздухе и пыли (Rotem, 1994; Woudenberg et al., 2013). Значительное количество видов *Alternaria* являются патогенами культурных

растений и приводят к существенным экономическим потерям в сельском хозяйстве (Rotem, 1994; Loggiero et al., 2009). Иногда грибы этого рода вызывают болезни человека и животных (Pastor, Guarro, 2008). В результате ревизии было достаточно убедительно задокументировано присутствие в России 31 вида *Alternaria* с четким таксономическим статусом (Gannibal, 2015). За последние годы было сделано еще несколько находок новых для России видов *Alternaria* (Gannibal, 2019; Gannibal, Gasich, 2019; Gannibal et al., 2022b), тогда как некоторые видовые эпитеты были переведены в синонимы (Gannibal et al., 2022a).

Идентификация видов *Alternaria* представляет собой непростую задачу, поскольку многие из них имеют близкие, почти идентичные, морфологические параметры. Кроме того, особенностью видов *Alternaria* является высокая вариабельность морфологии конидий и конидиеносцев в пределах одной колонии. Определить вид по морфологическим признакам даже специалисту не всегда представляется возможным. Филогенетический анализ ДНК и другие молекулярные методы являются более надежным и информативным инструментом, тем не менее, идентификация по морфологическим

признакам остается в большинстве случаев более доступной.

Определительные ключи для микромицетов в последнее время составляют относительно редко. Для *Alternaria* последнее масштабное руководство по идентификации было издано E.G. Simons (2007). Для видов *Alternaria*, встречающихся в России, был опубликован небольшой определитель на русском языке (Gannibal, 2011). За последнее десятилетие систематика рода значительно преобразовалась, поэтому оба определителя существенно устарели. Кроме того, традиционный формат определения не является самым эффективным. Альтернативный электронный интерактивный формат составления ключей по сравнению с традиционным “бумажным” дихотомическим ключом обладает несколькими существенными преимуществами, перечисленными ниже.

1. Многоходовость – определение может начинаться с оценки любого признака и продолжаться любым путем, удобным для пользователя. Алгоритм определения заранее не задан и может быть выбран пользователем в зависимости от набора признаков объекта, которые доступны для наблюдения в конкретном случае. Эта особенность ключа повышает надежность (используются наиболее четкие признаки) и увеличивает скорость за счет использования наиболее характерных признаков, которые могут привести к результату всего за несколько шагов.

2. Политомичность – пользователь после выбора признака видит сразу все возможные его состояния, что повышает удобство и в некоторых случаях определяет правильность выбора. Традиционные дихотомические ключи часто демонстрируют пользователю только один вариант фенотипа (например, вариант “споры овальные” при антитезе “споры иной формы”). Выбор тезы или антитезы при этом может быть неочевиден в случае, если состояние признака близко, но не совпадает с указанным. Перечисление сразу всех состояний признака может уменьшить количество таких приводящих к сомнениям и ошибкам шагов. В случае сомнений пользователь может выбрать сразу несколько состояний. При составлении определителя для видов с широким диапазоном изменчивости также есть возможность прописать сразу несколько возможных состояний признака.

3. Для удобства пользователя после каждого шага (выбора состояния признака) отображается список видов, обладающих выбранными признаками и свойствами, и ведется своего рода обратный отсчет. Это позволяет в нужный момент остановить определение, доведя его до той точности, которая необходима (род, секция, вид).

4. Электронный формат – отсутствие бумажного носителя дает возможность снабжать определитель любым необходимым количеством каче-

ственных цветных иллюстраций. Ключ может быть опубликован в сети Интернет и/или может храниться и распространяться при помощи различных электронных или оптических носителей.

5. Редактируемость – электронный ключ может быть оперативно изменен и дополнен без значительных организационных и финансовых затрат, что обеспечивает актуальность и соответствие современной систематике грибов.

Целью настоящей работы являлось составление электронного многоходового политомического ключа для идентификации наиболее распространенных в России секций и видов грибов рода *Alternaria*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для включения в определитель были отобраны таксоны, встречающиеся на территории России и представленные более чем одной находкой. Также было включено несколько не обнаруженных в стране, но широко распространенных в мире таксонов – патогенов культурных растений (например, *A. bataticola*, *A. grandis*, *A. simsimi*).

В зависимости от специфичности морфологии максимально низкими таксономическими уровнями, до которых возможно определение, сочли секции (10 секций) и виды (32 вида, включая одну группу из двух видов). Таксоны, определяемые до уровня секции: *Infectoriae*, *Ulocladioides*, *Pseudoulocladium*, *Ulocladium*, *Gypsophilae*, *Nimbya*, *Phragmosporae*, *Pseudoalternaria*, *Teretispora*, *Undifilum*. Таксоны, определяемые до уровня вида: *A. acalyphae*, *A. calendulae*, *A. cucumerina*, *A. dauci*, *A. porri*, *A. silybi*, *A. solani*, *A. linariae*, *A. zinniae*, *A. bataticola*, *A. grandis*, *A. simsimi* (sect. *Porri*); *A. alternata*, *A. arborescens*, *A. gaisen*, *A. burnsii*, *A. gossypina* + *A. longipes* (sect. *Alternaria*, виды даны в соответствии с Woudenberg et al., 2015); *A. avenicola*, *A. eryngii*, *A. photistica*, *A. panax* (sect. *Panax*); *A. papavericola*, *A. penicillata* (sect. *Crivellia*); *A. chlamydosporigena*, *A. embellisia* (sect. *Embellisia*); *A. brassicae* (monotypic lineage); *A. brassicicola* (sect. *Brassicicola*); *A. japonica* (sect. *Japonica*); *A. helianthiinficiens* (sect. *Helianthiinficiens*); *A. radicina* (sect. *Radicina*); *A. sonchi* (sect. *Sonchi*).

Сначала было выбрано 32 диагностических признака, которые используются в систематике рода и не являются комплексными. Для каждого признака был составлен список возможных состояний (от 2 до 29). Названия признаков и их состояний были переформулированы из традиционной описательной формы в предельно лаконичную и конкретную. Все признаки были составлены как качественные (non numerical), несколько признаков частично дублируют друг друга (например, внешний вид спороношения и длина цепочек спор) (табл. 1). Признаки и их состояния были выбраны таким образом, чтобы позволить опреде-

лять как грибы непосредственно на естественном субстрате, так и культуры на искусственных питательных средах. В тех случаях, когда состояние признака зависит от субстрата, он был включен в название признака. Так, некоторые микроморфологические признаки можно наблюдать только при культивировании на бедной среде — картофельно-морковном агаре (Simmons, 2007). Некоторые культуральные особенности необходимо фиксировать исключительно на богатой среде — картофельно-сахарозном или картофельно-декстрозном агаре.

Информация о признаках и их состояниях была внесена в специализированную базу данных с помощью программы DELTA Editor (Dallwitz et al., 1999) и сохранена в виде редактируемого файла в формате DELTA — Description Language for Taxonomy. Затем в базу данных электронного определителя были внесены названия таксонов и отмечены возможные состояния каждого признака для каждого таксона. Для работы с электронными ключами база данных была транслирована в текстовые файлы specs, items и chars. Созданный таким образом электронный ключ был протестирован — с его использованием осуществлены попытки идентифицировать разными способами каждый из введенных в базу видов *Alternaria*. Завершением этапа работы стало создание html-страницы для загрузки Java-апплета NaviKey v. 5.01 (Neubacher, Rambold, 2005) и базы данных, обеспечивающих функционирование определителя.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно описанному алгоритму был создан электронный определительный ключ для 32 видов и 10 секций рода *Alternaria* и размещен в сети Интернет (<http://alternaria.ru>). Ключ имеет две версии — русскоязычную и англоязычную.

Порядок использования ключа:

1. В левой верхней панели “Доступные признаки” необходимо выбрать признак, который кажется пользователю наиболее легко наблюдаемым и характерным. Выбор признака приведет к появлению в правой верхней панели “Доступные состояния признака” вариантов его состояний.

2. В панели “Доступные состояния признака” выбрать подходящее состояние. При необходимости можно отметить несколько состояний, используя клавишу “Ctrl”. Для подтверждения выбора необходимо кликнуть на кнопку “Выбрать”. Выбор отобразится в левой нижней панели “Выбранные признаки”. При этом в правой нижней панели “Результат идентификации” отобразится список таксонов, обладающих признаком с данным состоянием.

3. Повторять шаги 1 и 2. При возникновении сомнений в правильности выбора признака или его состояния можно отметить признак в левой

нижней панели “Выбранные признаки” и удалить его.

4. После того, как в панели “Результат идентификации” останется один таксон либо при исчерпании признаков, которые доступны для наблюдения, работа с ключом прекращается. При уменьшении таксонов-кандидатов до одного рекомендуется выбрать состояния еще одного или нескольких признаков, чтобы убедиться, что они также соответствуют оставшемуся таксону. При наведении курсора на объект с помощью левой кнопки мыши можно просмотреть в отдельном окне все состояния всех признаков, характерных для данного таксона.

В ходе работы с определителем использование опции “показывать признаки только оставшихся объектов” дает возможность отображать в верхних окнах только те признаки и состояния, которые имеют отношение к оставшимся в правом нижнем окне таксонам. Признаки, по которым нельзя дифференцировать оставшиеся таксоны, оказываются скрыты.

В ситуациях, когда для одного признака было выбрано несколько состояний, опция “показывать объекты, подходящие хотя бы по одному признаку” позволяет отображать в правой нижней панели только те объекты, которые соответствуют выбору хотя бы по одному состоянию признака, а не по выбранной комбинации.

Программа NaviKey потенциально позволяет использовать и ряд других опций и функций. В настоящей версии определителя грибов рода *Alternaria* зависимые признаки и числовые запросы не были использованы, и для всех таксонов все признаки в базе данных имеют привязку к одному или нескольким состояниям, поэтому выбор соответствующих опций (использовать зависимость признаков, принимать более широкие интервалы, принимать перекрывающиеся интервалы) не влияет на ход идентификации. Опция “показывать объекты, не имеющие выбранных признаков” в данном определителе также не функциональна, поскольку для всех таксонов указано хотя бы одно состояние каждого признака.

ОБСУЖДЕНИЕ

Современная систематика сумчатых грибов довольно динамична и в большинстве случаев опирается на комплексный (полифазный) подход, включающий наблюдение морфологических признаков, изучение физиологических свойств и филогенетический анализ. Молекулярно-генетические методы универсальны и позволяют проводить точную и надежную идентификацию таксонов, тогда как наблюдение морфологических признаков трудоемко, требует специальных навыков и не всегда дает однозначное представление о таксономическом статусе исследуемого гриба. По этой причине практика составления и ис-

Таблица 1. Таксономические признаки и их состояния, использованные при создании электронного ключа для идентификации видов *Alternaria*

Признак	Состояние
Споры – базовая форма	булава (эллипс с вытянутым выростом или вторичным конидиеносцем) груша, булава, вытянутый овал груша, овал, эллипс, цилиндр, иногда с конидиеносцем овал, эллипс узкая булава (цилиндр с длинным выростом) узкая булава, вытянутый овал, длинный цилиндр цилиндр, узкий эллипс шар, короткий овал широкая булава (широкий овал с выростом или вторичным конидиеносцем) широкий цилиндр, эллипс, овал, иногда асимметричный эллипс, широкая булава, иногда асимметричная
Споры – базальная клетка	округлая, но иногда слегка заостренная (суженная) округлая, широкая или узкая
Споры – апикальная клетка незрелой споры	вытянутая коническая или цилиндрическая широкая закругленная или коническая
Споры – апикальная клетка зрелой споры	апикальный вырост апикальный вырост или вторичный конидиеносец вытянутая коническая или цилиндрическая неявный вторичный конидиеносец 1–5 мкм длиной хорошо выраженный вторичный конидиеносец широкая закругленная или вторичный конидиеносец широкая закругленная или коническая
Споры – длина корпуса (КМА* или V8**)	15–30 (35) мкм 20–45 мкм 30–60 мкм 40–80 мкм 60–100 мкм 80–130 мкм более 130 мкм
Споры – длина корпуса (естественный субстрат)	15–30 (35) мкм 20–45 мкм 30–60 мкм 40–80 мкм 60–100 мкм 80–130 мкм более 130 мкм
Споры – толщина	10–15 мкм 12–18 мкм 15–20 мкм 18–25 мкм 20–35(40) мкм 4–10 мкм 8–12 мкм

Таблица 1. Продолжение

Признак	Состояние
Споры – септы поперечные – количество	(1)2–7 (6)8–12 (15+) 1–5 3–8(12)
Споры – септы продольные и косые – количество	0 0–3 0–6 1–9 2–11 5–15
Споры – септы поперечные – толщина	заметно толще и темнее стенки (дисто- и эусепты) толстые и темные как стенка (дисто- и эусепты) тонкие и относительно светлые (только дистосепты) тонкие со светлым угловатым утолщением по периметру клетки
Споры – перетяжки возле септ	небольшие, у большинства перегородок небольшие, у некоторых более толстых перегородок отсутствуют или едва заметны очень выражены
Споры – вырост апикальный – длина (КМА)	отсутствует отсутствует или короткий (до 50 мкм) чаще длинный (более 100 мкм) чаще длинный (более 200 мкм) чаще недлинный (50–100 мкм)
Споры – вырост апикальный – ветвление	нередко ветвящийся (1–3–5 ветвей) отсутствует простой простой, иногда ветвящийся (1–3 ветвей) простой, иногда на вершине прорастает коротким вторичным конидиеносцем простой, редко ветвящийся (1–2 ветвей)
Споры – вторичные конидиеносцы апикальные	короткие и длинные (более 20 мкм) короткие на вершине тонких апикальных выростов отсутствуют отсутствуют или короткие (10–20 мкм) отсутствуют, короткие или длинные (более 20 мкм) почти всегда короткие (не более 10–20 мкм)
Споры – вторичные конидиеносцы апикальные – локусы конидиогенные	вторичные конидиеносцы отсутствуют по (1) 2–3 и более на (каждой) вершине по 1 на вершине коротких конидиеносцев и 1–3 – на длинных по 1–2(3) на (каждой) вершине чаще по 1 на (каждой) вершине
Споры – вторичные конидиеносцы латеральные	нередко, по 1–2 нередко, по 1–3 и более отсутствуют редко, одиночные

Таблица 1. Продолжение

Признак	Состояние
Споры – цвет	коричневый, оливковый, желто-коричневый светло-желтый темно-коричневый
Споры – клеточная стенка	гладкая гладкая или мелкоточечная гладкая, мелкоточечная или мелкозернистая чаще всего от мелкоточечной до крупнобородавчатой
Культуры – колонии на КСА	бархатистые темные (зеленые, оливковые, рыжеватые) пушистые светлые (бесцветные, сероватые, желтоватые, розоватые) пушистые серые или зеленые
Культуры – диаметр колоний на КСА*** (7 сут)	более 2 см не более 2 см
Культуры – спороношение на КСА (7 сут)	отсутствует или очень скудное умеренное или обильное
Культуры – наличие хламидоспор (крупных, темных)	есть нет
Культуры – наличие микросклероциев	есть нет
Культуры – наличие плодовых тел или их зачатков	есть нет
Спороношение – внешний вид	грозди спор кустики из спор (интенсивное ветвление) преимущественно одиночные споры простые цепочки спор слегка ветвистые цепочки спор (1–5 ветвей)
Спороношение – цепочки спор – длина	1–2 споры в ряд 1–3 споры в ряд 2–5 спор в ряд 4–8 спор в ряд 5–10 и более спор в ряд цепочек нет
Конидиеносцы – число конидиогенных локусов	по 1–2 на (каждой) вершине по 1–5 на (каждой) вершине по 3–10 на (каждой) вершине
Конидиеносцы – форма	извилистые (короткие) прямые или коленчатые (простые или ветвистые, любой длины)
Конидиеносцы – ветвление	нередко ветвистые преимущественно неветвистые
Конидиеносцы – длина	50–100 мкм 50–250 мкм и более обычно до 50 мкм
Конидиеносцы – толщина	5–8 мкм более 8 мкм менее 5 мкм менее 8 мкм с расширением > 10 мкм у основания

Таблица 1. Окончание

Признак	Состояние
Субстрат	<i>Acalyphae</i> – акалифа <i>Allium</i> – лук, чеснок <i>Apiaceae</i> – зонтичные <i>Araliaceae</i> – аралиевые <i>Asteraceae</i> – сложноцветные <i>Brassicaceae</i> – крестоцветные <i>Calendula</i> – календула <i>Caryophyllaceae</i> – гвоздичные <i>Cucurbitaceae</i> – тыквенные <i>Cyperaceae, Juncaceae</i> – осоковые, ситниковые <i>Daucus</i> – морковь (надземные органы) “ ” (корнеплоды) <i>Eryngium</i> – синеголовник <i>Fabaceae</i> – бобовые <i>Helianthus</i> – подсолнечник <i>Ipomoea</i> – батат <i>Papaver</i> – мак <i>Poaceae</i> – злаки <i>Pyrus</i> – груша <i>Sesamum</i> – кунжут <i>Silybum</i> – расторопша <i>Solanum (Lycopersicon)</i> – томат <i>Solanum</i> – картофель, паслен (не томат) <i>Sonchus</i> – осот <i>Zinnia</i> – цинния животные почва, морская вода, морские растения, помет прочие растения растительные остатки, материалы растительного происхождения

Примечание. *КМА – картофельно-морковная агаризованная среда (Simmons, 2007); **V8 – агаризованная питательная среда на основе смеси овощных соков (Simmons, 2007); ***КСА – картофельно-сахарозная агаризованная среда.

пользования определителей утрачивает свою популярность. Однако во многих случаях лаборатории, проводящие рутинные анализы в целях фитосанитарного мониторинга, не располагают техническими и временными возможностями для применения молекулярных методов и нуждаются в доступных руководствах для идентификации организмов по морфологическим признакам. В то же время, даже при проведении молекулярно-генетического анализа, необходима предварительная идентификация гриба для формирования рабочей гипотезы и обоснованного выбора локуса для секвенирования или специфичных праймеров для ПЦР. По-

этому можно предположить, что определительные ключи, заняв свою определенную нишу, не исчезнут полностью.

Идентификация по ключу, если за ней не следует молекулярный или иной анализ, должна завершаться тщательным сравнением образца с имеющимися в литературе описаниями и изображениями вида, который был выбран в ходе определения. Это особенно актуально для грибов рода *Alternaria*, поскольку многие виды одновременно формируют конидии, сильно отличающиеся по форме и размерам. При идентификации трудно понять, какие конидии стоит считать молодыми, а

какие зрелыми, и даже зрелые конидии могут иметь параметры, варьирующие в широком диапазоне значений. По этой причине разные исследователи могут субъективно воспринимать наблюдаемые под микроскопом структуры и их размеры, оценивая все конидии сразу или только наиболее крупные. В разработанном определителе на нужный таксон можно в ряде случаев выйти, выбрав не только наиболее характерные морфологические параметры, но также и близкие к ним значения. Это уменьшает вероятность исключения нужного вида из результатов идентификации, но добавляет в них сходные по морфологии виды.

Для идентификации различных организмов, в первую очередь насекомых и растений (Kuoh, Song, 2005; Brach, Song, 2006; Schneider et al., 2019), но также и отдельных групп грибов и грибоподобных организмов (Chenari Bouket et al., 2015; McTaggart et al., 2017; Petersen et al., 2022), разработано немало электронных ключей с различными вариантами интерфейса, среди которых, по нашему мнению, формат интерактивного определителя с четырьмя окнами наиболее удобен. Некоторые подобные онлайн определители перестали быть доступными из-за отказа большинства разработчиков интернет-браузеров поддерживать Java-апплеты из соображений безопасности. По этой причине представленный в данной статье определитель также может быть использован только оффлайн. Программное обеспечение для создания и использования ключа бесплатное. Также помимо базового англоязычного интерфейса нами было обеспечено создание русскоязычной версии NaviKey v. 5.01. Существуют другие платформы для создания определительных ключей, в том числе коммерческие (Lucid, <https://www.lucidcentral.org>).

В качестве примера определителя, наиболее сходного с нашим по структуре, можно указать на ключ для идентификации грибоподобных организмов рода *Phytophthora* de Vary (Ristaino, 2012). База определителя основана на 20 морфологических и культуральных признаках и позволяет идентифицировать 55 видов *Phytophthora*. Описание каждого вида дополнено фотографиями и рисунками, информацией о географическом распространении и круге хозяев, а также ссылками на депонированные в базе NCBI GenBank нуклеотидные последовательности нескольких генов типовых штаммов. Сходным образом организован ключ для идентификации 78 представителей рода *Pythium* Pringsh. (Moogman et al., 2014), основанный на 32 морфологических и культуральных признаках, возможные состояния которых дополнены наглядными микрофотографиями и рисунками наблюдаемых структур. Позднее на основе новых знаний о систематике этой группы организмов был разработан более полный ключ, содержащий описание

88 видов *Pythium* (Chenari Bouket et al., 2015). Приведенные ключи были разработаны для специалистов в области биологии и экологии, не занимающихся таксономией.

Для обучения студентов и аспирантов, а также технического персонала, осуществляющего рутинный фитопатологический анализ, был разработан ключ для идентификации грибов, встречающихся на семенах овощных культур (Pierozzi et al., 2020). В базе определителя всего лишь 11 видов, среди которых три вида *Alternaria*. Достоинствами ключа являются его простота и наличие иллюстраций. Но в то же время нельзя не отметить малое количество признаков (шесть), по которым ведется определение.

Очевидно, потребность в определительных ключах для идентификации организмов в ближайшее десятилетие сохранится. Интерактивные политомические ключи для решения этой задачи удобнее и эффективнее классических дихотомических предшественников. Поскольку наблюдение морфологии микромицетов обычно подразумевает использование лабораторного оборудования (микроскопы, оборудование для работы с чистыми культурами), то в создании электронных ключей для смартфонов нет большой необходимости. По нашему мнению, более востребованными будут версии ключей для стационарных компьютеров, которые позволят проводить идентификацию микромицетов до уровня родов и секций. Надежная идентификация до уровня вида с помощью такого ключа возможна только для видов с хорошо отличимой морфологией или при условии подкрепления видовой принадлежности молекулярными методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Al Ghafri A.A., Maharachchikumbura S.S., Hyde K.D. et al. A new section and a new species of *Alternaria* from Oman. *Phytotaxa*. 2019. V. 405. P. 279–289. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.405.6.1>
- Brach A.R., Song H. eFlorax: New directions for online floras exemplified by the Flora of China Project. *Taxon*. 2006. V. 55. P. 188–192. <https://doi.org/10.2307/25065540>
- Chenari Bouket A., Arzanlou M., Tojo M. et al. A web-based identification programme for *Pythium* species. *Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz*. 2015. V. 48 (6). P. 475–484. <https://doi.org/10.1080/03235408.2015.1024043>
- Dallwitz M.J., Paine T.A., Zurcher E.J. User's guide to the DELTA Editor. 1999. <https://delta-intkey.com>
- Gannibal Ph.B. Monitoring of alternarioses of crops and identification of fungi of the genus *Alternaria*. A manual. VIZR, St. Petersburg, 2011 (in Russ.).

- Gannibal Ph.B.* Species of the genus *Alternaria* revealed in Russia and some neighboring territories. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2015. V. 49 (6). P. 374–385 (in Russ.).
- Gannibal Ph.B.* New species and new findings in Russia of *Alternaria* sect. *Gypsophila*. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2019. V. 53 (1). P. 10–16.
<https://doi.org/10.1134/S0026364819010069>
- Gannibal Ph.B., Gasich E.L.* *Embellisia*-like hyphomycetes from Russia and Kazakhstan in culture collection of VIZR. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2019. V. 53 (2). P. 101–107 (in Russ.).
<https://doi.org/10.1134/S0026364819020041>
- Gannibal Ph.B., Orina A.S., Gasich E.L.* A new section for *Alternaria helianthiinficiens* found on sunflower and new asteraceous hosts in Russia. *Mycol. Progress*. 2022a. V. 21. P. 34.
<https://doi.org/10.1007/s11557-022-01780-6>
- Gannibal P.B., Orina A.S., Kononenko G.P. et al.* Distinction of *Alternaria* sect. *Pseudoalternaria* strains among other *Alternaria* fungi from cereals. *J. Fungi*. 2022b. V. 8, art. 423 (15 pp.).
<https://doi.org/10.3390/jof8050423>
- Kuoh C.-S., Song H.* Interactive key to Taiwan grasses using characters of leaf anatomy – the ActKey approach. *Taiwania*. 2005. V. 50. P. 261–271.
[https://doi.org/10.6165/tai.2005.50\(4\).261](https://doi.org/10.6165/tai.2005.50(4).261)
- Lawrence D.P., Gannibal P.B., Dugan F.M. et al.* Characterization of *Alternaria* isolates from the infectoria species-group and a new taxon from *Arrhenatherum*, *Pseudoalternaria arrhenatheria* sp. nov. *Mycol. Progress*. 2014. V. 13. P. 257–276.
<https://doi.org/10.1007/s11557-013-0910-x>
- Lawrence D.P., Gannibal P.B., Peever T.L. et al.* The sections of *Alternaria*: formalizing species-group concepts. *Mycologia*. 2013. V. 105 (3). P. 530–546.
<https://doi.org/10.3852/12-249>
- Lawrence D.P., Park M.S., Pryor B.M.* *Nimbya* and *Embellisia* revisited, with nov. comb. for *Alternaria celosiae* and *A. perpunctulata*. *Mycol. Progress*. 2012. V. 11. P. 799–815.
<https://doi.org/10.1007/s11557-011-0793-7>
- Lawrence D.P., Rotondo F., Gannibal P.B.* Biodiversity and taxonomy of the pleomorphic genus *Alternaria*. *Mycol. Progress*. 2016. V. 15. 3.
<https://doi.org/10.1007/s11557-015-1144-x>
- Logrieco A., Moretti A., Solfrizzo M.* *Alternaria* toxins and plant diseases: an overview of origin, occurrence and risks. *World Mycotoxin J.* 2009. V. 2. P. 129–140.
<https://doi.org/10.3920/WMJ2009.1145>
- McTaggart A., Beasley D., Wingfield M. et al.* A dynamic, web-based resource to identify rust fungi (*Pucciniales*) in southern Africa. *MycoKeys*. 2017. V. 26. P. 77–83.
<https://doi.org/10.3897/mycokeys.26.14602>
- Moorman G.W., May S. Ayers K.M.* The key to *Pythium* species. 2014. Online: <https://keys.lucidcentral.org/search/the-key-to-pythium-species/>
- Neubacher D., Rambold G.* NaviKey – a Java applet and application for accessing descriptive data coded in DELTA format. 2005. Online: <http://www.navikey.net>
- Pastor F.J., Guarro J.* *Alternaria* infections: laboratory diagnosis and relevant clinical features. *Clin. Microbiol. Infect.* 2008. V. 14 (8). P. 734–746.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2008.02024.x>
- Petersen J.H., Gaba A., Læssøe T.* MycoKey 4.0. The Mycological identification site. MycoKeys online morphing mushroom identifier (MMI®). 2022. Online: <http://www.mycokey.com/newMycoKeySite/MycoKeyIdentQuick.html>
- Pierozzi C.G., Fujihara R.T., de Santana Souza E. et al.* Interactive key (Lucid) for identification of fungi in vegetable seeds. *Summa Phytopathol.* 2020. V. 46 (1).
<https://doi.org/10.1590/0100-5405/204669>
- Ristaino J.B.* A Lucid key to the common species of *Phytophthora*. *Plant Dis.* 2012. V. 96 (6). P. 897–903.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-08-11-0636>
- Rotem J.* The genus *Alternaria*. St. Paul, American Phytopathological Society Press, Minnesota, 1994.
- Schneider S.A., Fizdale M.A., Normark B.B.* An online interactive identification key to common pest species of *Aspidiotini* (Hemiptera, *Coccomorpha*, *Diaspididae*), version 1.0. *Zookeys*. 2019. V. 867. P. 87–96.
<https://doi.org/10.3897/zookeys.867.34937>
- Simmons E.G.* *Alternaria*. An identification manual. CBS, Utrecht, 2007.
- Wijayawardene N.N., Hyde K.D., Al-Ani L.K.T. et al.* Outline of fungi and fungi-like taxa. *Mycosphere*. 2020. V. 11 (1). P. 1060–1456.
<https://doi.org/10.5943/mycosphere/11/1/8>
- Woudenberg J.H.C., Groenewald J.Z., Binder M. et al.* *Alternaria* redefined. *Stud. Mycol.* 2013. V. 75. P. 171–212.
<https://doi.org/10.3114/sim0015>
- Woudenberg J.H.C., Seidl M.F., Groenewald J.Z. et al.* *Alternaria* section *Alternaria*: species, formae speciales or pathotypes? *Stud. Mycol.* 2015. V. 82. P. 1–21.
<https://doi.org/10.1016/j.simyco.2015.07.001>
- Woudenberg J.H.C., Truter M., Groenewald J.Z. et al.* Large-spored *Alternaria* pathogens in section *Porri* disentangled. *Stud. Mycol.* 2014. V. 79. P. 1–47.
<https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.07.003>
- Ганнибал Ф.Б.* (Gannibal) Виды рода *Alternaria*, обнаруженные в России и на некоторых соседних территориях // Микология и фитопатология. 2015. Т. 49. № 6. С. 374–385.
- Ганнибал Ф.Б.* (Gannibal) Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*. Методическое пособие. СПб.: ВИЗР, 2011. 71 с.
- Ганнибал Ф.Б., Гасич Е.Л.* (Gannibal, Gasich) *Embellisia*-подобные гифомицеты из России и Казахстана в коллекции чистых культур ВИЗР // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. № 2. С. 101–107.

An Electronic Key for Identification of *Alternaria* Fungi Common in Russia

Ph. B. Gannibal^{a,#} and A. S. Orina^{a,##}

^aAll-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

[#]e-mail: fgannibal@vizr.spb.ru

^{##}e-mail: orina-alex@yandex.ru

Alternaria fungi are ubiquitous and can be found on various substrates. Among them many species are the causative agents of economically significant diseases of crops. In Russia, more than 30 *Alternaria* species have been revealed on crop and wild plants. This article describes the electronic multi-entry polytomic interactive key for identification of the most common *Alternaria* sections and species occurred in Russia. Thirty two morphological and cultural features were selected among those that are used in the systematics of the *Alternaria* genus and are convenient for the identification purposes. For each feature a list of possible states was compiled (from 2 to 29). As a result, a key was developed for 32 species and 10 sections of *Alternaria* fungi. It is available at <http://alternaria.ru> as Russian and English versions. The NaviKey v. 5.01 Java applet was used to operate the key.

Keywords: *Alternaria alternata*, *Alternaria brassicae*, *Alternaria brassicicola*, *Alternaria dauci*, *Alternaria linariae*, *Alternaria porri*, *Alternaria radicina*, *Alternaria solani*, microfungi, morphology, electronic identification manual