

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-02

Обзор

Информационные ресурсы по патогенам и вредителям культурных растений

И.И. Турнаев ^{1, 2}, Д.А. Афонников ^{1, 2}

Аннотация: Сельскохозяйственные растения служат основным источником пищи. Однако при выращивании до 40 % производства продуктов питания уничтожается насекомыми, патогенными микроорганизмами, а также из-за воздействия сорных растений. В результате падает производство сельскохозяйственной продукции, а миллионы людей сталкиваются с угрозой голода. Взаимодействие растений и патогенов – давняя тема исследований в области сельскохозяйственной науки, методы которой могут обеспечить более эффективные стратегии защиты и улучшения сельскохозяйственных культур. Разработка эффективных методов неизбежно опирается на сбор информации о взаимодействии патоген/вредитель–растение на молекулярном уровне и на уровне организма. Эта информация часто предоставляется в виде баз данных и информационных ресурсов в сети интернет. Интернет-ресурсы в области взаимодействия патогенов, вредителей и растений содержат важную для исследователя информацию в дополнение к научным статьям, однако они плохо систематизированы. Настоящий обзор посвящен описанию информационных интернет-ресурсов: базы данных, информационные порталы, официальные сайты организаций – в области изучения молекулярных механизмов взаимодействия патоген–растение и технологий защиты растений. Он описывает (1) ресурсы в области молекулярной биологии (геномики, транскриптомики), молекулярные механизмы взаимодействия патоген–растение; (2) информационные ресурсы по систематике патогенов, вредителей и сорных растений, также содержащие данные о проявлениях поражений растений патогенами/вредителями и мерах борьбы с ними; (3) ссылки на интернет-ресурсы коммерческих компаний в области агробιοтехнологий, направленных на борьбу с патогенами/вредителями растений.

Ключевые слова: болезни растений; фитопатогены; вредители; сорняки; взаимодействие патоген–растение; базы данных; информационные ресурсы; мониторинг заболеваний.

Благодарности: Работа выполнена в рамках бюджетного проекта FWR-2022-0017.

Для цитирования: Турнаев И.И., Афонников Д.А. Информационные ресурсы по патогенам и вредителям культурных растений. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;8(1):84-92. DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-02

Review


Information resources on crop pathogens and pests

I.I. Turnaev^{1, 2}, D.A. Afonnikov^{1, 2}

Abstract: Crops are the main source of food consumed by humans. However, during cultivation, up to 40 % of all potential food production reduced due to insects, pathogens, and weeds. As a result, agricultural production decreases and millions of people face the threat of hunger. Plant-pathogen interactions are a long-standing topic of research in agricultural science, whose methods can provide effective strategies for protecting crops. The development of effective methods inevitably relies on gathering information about pathogen/pest-plant interactions, both at the molecular and organism levels. Internet resources in the field of pathogen-pest-plant interactions contain important information for the researcher in addition to scientific articles, but they are poorly systematized. We review information resources in the Internet (databases, information portals, official sites of organizations) in the field of studying molecular mechanisms of pathogen-plant interaction and plant protection approaches. It describes (1) resources in the field of molecular biology (genomics, transcriptomics), molecular mechanisms of pathogen-plant interaction; (2) information resources on the systematics of pathogens, pests and weeds also which contain data on the manifestations of plant lesions by pathogens/pests and control measures; (3) links to Internet resources of commercial companies in the field of agro-biotechnology aimed at the control of plant pathogens/pests.

¹ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

² Курчатовский геномный центр ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия
Kurchatov Genomic Center of ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia

 turn@bionet.nsc.ru

© Турнаев И.И., Афонников Д.А., 2022

Key words: plant diseases; phytopathogens; pests; weeds; pathogen-plant interaction; databases; information resources; disease monitoring.

For citation: Turnaev I.I., Afonnikov D.A. Information resources on crop pathogens and pests. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;8(1):84-92. DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-02 (in Russian)

Введение

Сельскохозяйственные растения обеспечивают более 80 % пищи, потребляемой людьми (FAO, 2020). Однако в процессе выращивания от 20 до 40 % всего потенциального производства продуктов питания уничтожается насекомыми, патогенными микроорганизмами, а также из-за воздействия сорных растений (Pimentel, 2009; Savary et al., 2012, 2019). В результате общий объем убытков в торговле сельскохозяйственной продукцией составляет более 220 млрд долларов в год, миллионы людей сталкиваются с угрозой голода, а сельское хозяйство терпит серьезный урон (FAO, 2021).

Методы борьбы с заболеваниями и вредителями растений включают агротехнические мероприятия для повышения защитных способностей растений, химическую обработку токсичными для вредных организмов веществами, биологические методы на основе использования хищных и паразитических организмов, поражающих вредителей, и другие подходы, в том числе карантинные мероприятия. Современные молекулярно-генетические методы также включают технологии геномного редактирования растений (Хлесткина, Шумный, 2016) для создания новых сортов и линий растений, устойчивых к воздействию патогенов и вредителей. Для дальнейшего улучшения реагирования на появление и распространение патогенов и вредителей, связанных с растениями, необходимо совершенствовать новые методы в области технологий эпиднадзора, включая сбор данных, анализ, оценку рисков, отчетность и обмен информацией (Rizzo et al., 2021).

Взаимодействие растений и патогенов является давней темой исследований в области сельскохозяйственной науки, методы которой могут обеспечить более эффективные стратегии защиты и улучшения сельскохозяйственных культур (Li, Zhang, 2016). Часть информации, которая актуальна для совершенствования этих методов, находится в многочисленных базах и банках данных, посвященных специализированной тематике взаимодействия патогенов, вредителей и растений. Преимущество таких информационных ресурсов заключается в том, что каждый такой ресурс, как правило, содержит большое количество разнообразной информации, которая может быть легко доступна пользователю в результате выполнения специализированных запросов. Все это обуславливает рост информационных ресурсов в области защиты сельскохозяйственных растений, который начался несколько десятилетий назад (Crowson, McGillivray, 2001; Bouma, 2007; Catana et al., 2008) и активно продолжается в последнее время (Vostrovsky et al., 2016; Johnston et al., 2017).

Интернет-ресурсы в области взаимодействия патогенов, вредителей и растений содержат важную для исследователя информацию в дополнение к научным статьям, однако

они плохо систематизированы. В таком объеме информации трудно ориентироваться, если необходимо получить данные по конкретной проблеме. Существенную помощь в выборе источников информации могут оказать тематические обзоры ресурсов по специфическим областям (Миненко, Королёва, 2014; Игнатъева и др., 2017; Афонников и др., 2018; Виноградова, Кузьменков, 2019; Кузьменков, Виноградова, 2020).

Настоящий обзор посвящен описанию информационных интернет-ресурсов: базы данных (БД), информационные порталы, официальные сайты организаций – в области изучения молекулярных механизмов взаимодействия патоген-растение и технологий защиты растений. Он включает несколько разделов. К первому относится описание ресурсов в области молекулярной биологии (геномики, транскриптомики), молекулярных механизмов взаимодействия патоген-растение, математических моделей таких взаимодействий. Второй описывает информационные ресурсы по систематике патогенов, вредителей и сорных растений, также содержащие данные о проявлениях поражений растений патогенами/вредителями и мерах борьбы с ними. Третий раздел приводит ссылки на интернет-ресурсы коммерческих компаний в области агроботехнологий, направленных на борьбу с патогенами/вредителями растений. Эти сайты содержат полезную информацию с описанием патогенов и мерах борьбы с ними. Обзор содержит описание 15 молекулярно-биологических ресурсов, 21 ресурс по защите растений и 9 коммерческих сайтов.

Молекулярно-генетические базы данных

Важным источником информации, необходимым для исследовательской работы в области изучения взаимодействий патоген-растение, являются базы молекулярно-биологических данных (табл. 1). Эти базы предоставляют данные о геномных последовательностях, аннотациях генов, последовательностях белков, взаимодействиях белков и метаболических сетях. Молекулярно-биологические базы данных можно разделить на общие ресурсы, в которых информация о последовательностях и функциях генов патогенных организмов представлена наравне с информацией о других организмах, например модельных, и ресурсы, описывающие специфическую информацию именно по патогенам.

К первой группе баз данных относятся, прежде всего, общие ресурсы по генетическим последовательностям, такие как Genbank (Benson et al., 2018), порталы по аннотации геномных последовательностей, такие как Ensembl (Aken et al., 2016), базы данных белковых последовательностей или их доменов, такие как Uniprot (UNIPROT) и Pfam (Punta et al., 2012). Эти базы данных широко известны и часто используются генетиками, молекулярными биологами и фитопато-

Таблица 1. Базы данных молекулярно-генетической информации о патогенах, вредителях и растениях-хозяевах
Table 1. Molecular genetics databases on pathogens, pests, and host plants

Ресурс	Язык сайта	Адрес в сети интернет
Genbank	Английский	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/
Ensembl	То же	https://www.ensembl.org/index.html
Uniprot	»	https://www.uniprot.org/
Pfam (Protein families base)	»	http://pfam.xfam.org/
PHI-base (Pathogen Host Interactions base)	»	http://www.phi-base.org/
PathoPlant	»	http://www.pathoplant.de/
PhytoPath	»	http://www.phytopathdb.org/
PlAD (A transcriptomics database for plant defense responses to pathogens)	»	http://systbio.cau.edu.cn/plad/index.php ; http://zzdlab.com/plad/index.php
DFVF (Database of Fungal Virulence Factors)	»	http://sysbio.unl.edu/DFVF/
OmicsDB::Pathogens	»	https://pathogens.omicsdb.org/
PRGdb 3.0 (The Plant Resistance Genes database)	»	http://prgdb.org
NEMABASE	»	http://ipm.ucanr.edu/NEMABASE/
California PestCast: Disease Model Database	»	http://ipm.ucanr.edu/DISEASE/DATABASE/diseasemodeldatabase.html
MIGREW (Database on Molecular Identification of Genes for Resistance in Wheat)	»	https://migrew.sysbio.cytogen.ru
eFG (Electronic resource for Fusarium graminearum)	»	http://comp-sysbio.org/efg/

логами для получения информации о геноме, транскриптоме и протеоме патогенов, описании функций их генов и молекулярных взаимодействиях. Примером служит раздел EnsemblFungi базы данных Ensembl (Aken et al., 2016), в которой представлена аннотация геномов грибов, включая и основные патогены растений, такие как грибы рода *Puccinia*, которые вызывают ржавчинные заболевания различных культурных растений, в частности многих злаковых и пшеницы, и являются опасными патогенами (Мир растений, 1991). В разделе EnsemblBacteria базы данных Ensembl можно найти геномные данные и аннотацию бактериальных патогенов растений. Например, геномы *Xanthomonas translucens* pv. *undulosa*, которые вызывают у пшеницы черный бактериоз (Защита растений..., 2003), и многие другие. Информационный ресурс по вирусным геномам NCBI (Brister et al., 2015) содержит почти 50 тыс. геномов вирусов наземных растений, включая те, которые поражают и сельскохозяйственные культуры. Ресурсы такого типа характеризуются постоянной технической поддержкой, регулярным обновлением данных, однако для извлечения информации, касающейся именно патогенов, исследователю требуется проводить специальный поиск среди огромного массива общих данных.

Второй тип молекулярно-биологических и генетических баз данных обеспечивает хранение и представление информации о патогенах растений и их взаимодействиях с организмами-хозяевами. Одна из наиболее значимых – PHI-base (Pathogen-Host Interaction) – база данных взаимодействий патоген–хозяин, которая содержит тщательно подобранную и экспериментально верифицированную информацию о генах бактериальных, грибных или оомицетных патогенов, вовлеченных во взаимодействия с организмом-хозяином (Baldwin et al., 2006; Winnenburg et al., 2008, 2014; Urban et al., 2015a, 2015b, 2017; Brown et al., 2016). Виды организмов-хозяев,

описанные в этой базе, включают животных, растения, грибы и насекомых. База данных была создана и поддерживается исследователями Rothamsted Research и сторонними экспертами с 2005 г. PHI-base разработана для эффективного использования растущего числа известных генов с экспериментально доказанными функциями, которые опосредуют способность организма вызывать заболевание и/или иммунный ответ организма-хозяина. Текущая версия базы PHI-base 4.12 (сентябрь 2021 г.) содержит 4387 отобранных вручную литературных источников и предоставляет информацию по 8411 генам для 279 патогенов, для которых показано 18 190 взаимодействий с генами из 228 организмов-хозяев (Urban et al., 2020).

PathoPlant (Bolivar et al., 2014) – база данных по экспрессии генов патогенов и их хозяев, которая содержит информацию о совместно регулируемых генах, участвующих в защитных реакциях растений на патогены. PathoPlant разработана для аннотации известных механизмов передачи сигнала у растений в процессе их взаимодействий с патогенами. База содержит информацию по 107 патогенам, 99 растениям-хозяевам, 350 взаимодействиям, 638 молекулам и 370 реакциям и 173 стимулам.

PhytoPath (Pedro et al., 2016) – информационный ресурс, который объединяет данные на уровне геномов по важным видам патогенов растений с информацией из литературных источников о фенотипических проявлениях соответствующих инфекций у растения-хозяина. При этом в базе используется информация о геномах патогенов из Ensembl Genomes и влиянии генов патогенов на прогресс заболевания сельскохозяйственных растений. Эта база интегрирована с информацией из PHI-base. В PhytoPath содержится информация о 106 линиях патогенных грибов и оомицет и 12 линиях патогенных бактерий.

В базе DFVF (Database of Fungal Virulence Factors) собрана информация о 2058 генах из 228 штаммов патогенных грибов, принадлежащих 85 родам (Lu et al., 2012).

OmicDB::Pathogens (Hansen, Olsson, 2020) является интегрированной базой данных молекулярно-генетических сетей организмов 11 видов: шести видов модельных организмов (*Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces pombe*, *Arabidopsis thaliana*, *Mus musculus*, *Homo sapiens*) и пяти видов патогенных грибов (*Fusarium graminearum*, *Ustilago maydis*, *Blumeria graminis*, *Neurospora crassa* и *Magnaporthe oryzae*). Для генов из этих организмов определены ортологи еще у 158 видов патогенных грибов. База данных помогает за счет сравнения между ортологичными генами сетей хорошо изученных и модельных организмов реконструировать сети и предположительные функции генов для малоизученных патогенных микроорганизмов.

PlaD (Qi et al., 2018) – база данных по экспрессии генов в процессе защитных реакций растений на патогены. PlaD содержит 2444 общедоступных образца экспрессии генов из 94 экспериментов, связанных с патологией растений, охватывающих четыре важных растения – *A. thaliana*, *Oryza sativa*, *Triticum aestivum* и *Zea mays*. База PlaD предоставляет масштабные тщательно отобранные данные об экспрессии генов и их функциональной аннотации; обеспечивает визуализацию профилей экспрессии генов для конкретных условий ответа растений на патоген. В базе можно проводить поиск генов, совместно регулируемых при инфицировании растений различными патогенами.

База данных PRGdb (Plant Resistance Genes database) (Osuna-Cruz et al., 2018). Растения обладают сложной иммунной системой, основанной на их способности распознавать фитопатогены. Активация этой системы основана на наличии специфических рецепторов, кодируемых так называемыми генами распознавания патогенов (PRGs). Белки, кодируемые PRGs, имеют общие домены, такие как спиральная спираль 'coiled-coil' (CC), область связывания нуклеотидов (NB), область Toll-интерлейкина 'Toll-interleukin region' (TIR), область, богатая лейцином (LRR), и домен киназы (K). Это позволяет предсказывать новые гены-кандидаты в PRGs. В базе PRGdb 3.0 собрано 153 эталонных PRGs и 177 072 аннотированных гена-кандидата на рецептор патогена (PRGs) из 76 протеомов зеленых растений.

California PestCast: Disease Model Database (дата обращения 02.09.2021) представляет собой информационный портал по моделям, разработанным для экономически важных болезней сельскохозяйственных культур, а также газонных трав, произрастающих в Калифорнии. В этой базе на основании информации о погоде, растении-хозяине и организмах-патогенах формируются модели предсказания вспышки заболеваний. Модели заболеваний растений в этой базе представляют собой математическое описание взаимодействия между переменными, характеризующими состояние окружающей среды, организма-хозяина и патогена, которое может привести к заболеванию. База содержит математические модели 23 заболеваний для 13 видов сельскохозяйственных растений, включая яблоню, томат, картофель, виноград и другие, из них на момент обращения были доступны 12 моделей.

В базе данных MIGREW (Kazantsev et al., 2019) собрана молекулярно-генетическая информация по генам устойчивости пшеницы к грибным патогенам ржавчинных заболеваний и мучнистой росе. Содержит информацию по: (1) молекулярным маркерам к генам устойчивости пшеницы к грибным патогенам и хромосомной локализации генов; (2) протоколам по идентификации молекулярных маркеров; (3) спискам генов устойчивости к листовостебельным заболеваниям с указанием их эффективности; (4) спискам сортов и линий, содержащих отдельные гены устойчивости к листовостебельным болезням или их комбинации; (5) географической локализации вирулентных патотипов к соответствующим генам устойчивости пшеницы. База содержит информацию из 73 литературных источников по четырём заболеваниям, пяти генам, 16 маркерам из образцов 543 растений.

Портал Nemaplex (<http://nemaplex.ucdavis.edu/>) описывает систематику и экологию нематод. На этом портале размещена база данных NEMABASE (Ferris et al., 1995), в которой собрана информация о 6400 видах растений, восприимчивых или устойчивых к каким-либо видам нематод, описание 1050 видов нематод-паразитов растений, 53 700 записей о восприимчивости или устойчивости различных видов/сортов растений к различным видам нематод. Список обновляется по мере поступления новой информации. Эта информация была извлечена из более чем 2500 статей, опубликованных за последнее столетие. По оценкам авторов базы, в нее было собрано 90 % имеющихся данных о взаимодействии растений и нематод. Отметим, что данная база регулярно обновляется (последнее обновление произведено в июне 2021 г.).

Интерес также представляют специализированные базы данных, в которых интегрированы молекулярные данные по отдельным видам или родам патогенов. К таким базам данных относится eFG (electronic resource for *Fusarium graminearum*) (Liu et al., 2013). *Fusarium graminearum* – патогенный грибок, который вызывает заболевания колосьев, стеблей, корней хлебных злаков, риса, красную гниль початков кукурузы, гибель семян кукурузы (Пидопличко, 1977). В БД eFG содержится информация о 13 321 гене, 1206 белках, 101 пути и 216 263 белок-белковых взаимодействиях этого патогена. К подобным ресурсам относится *Phytophthora* database (Park et al., 2013), которая содержит коллекции фитопфторы, собранные по всему миру с целью создания глобального атласа разнообразия и распространения фитопфторы. Фитопфтора (лат. *Phytophthora*) – род грибоподобных протистов из отдела оомицетов (Oomycota). Вызывают фитопфтороз – заболевание растений, в основном семейства паслёновых (Solanaceae), включающее культуры: картофель, баклажан, табак, томат и овощной перец (Brasier, 2009). Благодаря своей высокой вирулентности и способности быстро распространяться по всему миру, фитопфтора является одной из наиболее важных групп патогенов растений. *Phytophthora* database содержит систематизированную информацию о генотипах и фенотипах 117 видов и 21 предварительно описанного вида рода *Phytophthora* (Park et al., 2013).

Следует отметить, что для каждого такого ресурса содержание и интерфейс описаны в научных публикациях, а

целевая аудитория таких ресурсов – прежде всего научные сотрудники, которые занимаются изучением молекулярных механизмов взаимодействий патоген–хозяин, разрабатывают генетические маркеры для идентификации ДНК/РНК патогенов в биологических образцах.

Информационные порталы справочной информации и мониторинга заболеваний растений

Ряд полезных информационных ресурсов поддерживается коммерческими и некоммерческими организациями, включая научно-исследовательские и образовательные. Как правило, это ресурсы справочного типа, базы данных по описанию патогенов/вредителей, которые создаются с целью дать описание патогенов и их проявлений у растений (табл. 2). Эти ресурсы могут быть использованы в образовательных целях, а также помочь в определении заболеваний растений неспециалистами. Обычно эти ресурсы содержат описание патогенов растений и вредителей, а также различных проявлений их воздействия на организмы-хозяева.

В национальном масштабе базы данных разрозненных коллекций, которыми располагают различные агентства, могут быть связаны с помощью веб-системы для создания виртуального гербария. Примером может служить австралийская база данных о вредителях растений (APPD) (Shivas et al., 2006), которая обеспечивает основу для виртуальной национальной базы данных о вредителях растений. APPD основана на верифицированных записях образцов вредителей и болезней растений, имеющих значение для сельского хозяйства, лесного хозяйства, пастбищ или окружающей среды. В настоящее время APPD интегрирует информацию из 18 баз данных по всей Австралии.

Описание бактериальных патогенов и их проявлений у растений представлено на портале PlantDiseases.org, который создан и поддерживается Университетом Калифорнии в Беркли. Этот ресурс позиционируется как энциклопедия о бактериальных заболеваниях растений. Он содержит таксономическую информацию о патогене и растении-хозяине, краткое описание проявлений заболевания и изображения пораженных им растений. Для большинства патогенов изображения демонстрируют несколько стадий развития инфекции. Описание представлено для 35 заболеваний и более чем 25 видов растений. Для ряда заболеваний дано краткое описание патогена и симптомов его проявления со ссылками на литературные источники. Этот ресурс открыт для свободного доступа и предназначен для ученых, преподавателей, садоводов и селекционеров.

Глобальная база данных Европейской и средиземноморской организации по защите растений EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization) (<https://gd.eppo.int/>) предоставляет информацию по патогенам и вредителям растений и включает таксономическое описание видов, их географическое распространение, описание растений-хозяев (культурных и диких), текущий карантинный статус. Содержание базы данных постоянно обновляется секретариатом EPPO. На текущий момент представлена информация по более чем 90 000 видам, представляющим интерес для сельского хозяйства, лесного хозяйства с точки зрения защиты растений. Есть подробная информация о бо-

лее чем 1700 видах вредителей, занесенных в карантинные списки EPPO и ЕС, а также подпадающие под условия контроля в других частях мира. База данных содержит более 10 тыс. фотографий растений и их вредителей.

Центр генетических ресурсов Национальной организации по исследованию в области сельского хозяйства и пищевых продуктов Японии (NARO) предоставляет раздел по описанию болезней сельскохозяйственных растений. База данных включает 1957 наименований растений-хозяев и 11 406 общепринятых наименований болезней растений на 16 января 2012 г. Эта база данных позволяет связывать молекулярно-генетические данные растений-хозяев и организмов-патогенов через названия болезней. Поиск по ней можно проводить по названию болезни, растению-хозяину или названию патогена. База данных болезней тесно интегрирована с базами данных генетических ресурсов растений и микроорганизмов. Она предоставляет связанные пары ссылок на названия организмов хозяина и патогена/вредителя для описания их взаимодействий (Takeya et al., 2012).

В табл. 2 приведены и другие зарубежные источники, которые связаны с описанием патогенов растений и их вредителей. К ним относятся: ресурс pestnet – международная сеть, которая позволяет обмениваться информацией о защите растений; международная сеть защиты растений Crop Protection Network; сайты интеграционной программы борьбы с вредителями Университетов Калифорнии (UC IPM) и Иллинойса (Illinois IPM), США; Farms.com – информационный портал в области сельского хозяйства; Cropwatch – сайт в области мониторинга заболеваний растений в США Университета Небраски; APS – база данных изображений растений, пораженных заболеваниями, Американского фитопатологического общества.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский сельскохозяйственный центр» (ФГБУ Россельхозцентр) – организация, которая является правопреемницей Государственных семенных инспекций (ГСИ) России и занимается сбором, обработкой, анализом и обобщением статистических сведений и данных в области растениеводства, проведением мероприятий по предупреждению и уничтожению вредителей, по предупреждению и борьбе с болезнями растений в целях предотвращения чрезвычайных ситуаций, вызванных локальными природными и иными явлениями. Эта организация оказывает государственные услуги для юридических и физических лиц по определению посевных качеств семян, исследованию их на наличие вредителей и возбудителей болезней, производит определение сортовых качеств семян, изучение фитосанитарной обстановки на территории Российской Федерации. На главной странице сайта учреждения в разделе меню «Справочники» (подраздел «Справочник ГСИ») доступна информация по болезням и вредителям растений. Раздел «Болезни растений» содержит краткие описания признаков и возбудителей для 162 заболеваний 27 видов сельскохозяйственных растений. Этот раздел также содержит и изображения пораженных растений. Раздел «Возбудители болезней» содержит подробные описания 44 возбудителей болезней, включающие систематическое положение, морфологию и биологию, распространение, экологию и хозяйственное

значение возбудителя. Раздел «Вредители» содержит подробные описания 111 вредителей и включает информацию о систематическом положении, морфологии и биологии, распространении, экологии и хозяйственном значении возбудителя. Раздел «Сорняки» содержит краткие описания 290 сорняков – внешний вид, цикл развития и распространенность сорняка.

База данных «Агрсправка» Курганского НИИСХ (филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН) посвящена описанию типов почв, культурных растений, сорных растений, болезней и вредителей сельскохозяйственных культур, а также предоставляет информацию о сортах зерновых и кормовых культур, удобрениях и средствах защиты растений, агротехнологиях для выращивания растений и борьбы с заболеваниями. Источником информации служат научные работы из печатных изданий, сети интернет, материалы ФГБНУ «Курганский НИИСХ» и других научных учреждений. Фактически, это энциклопедия по агротехнологиям, которая позволяет оперативно находить необходимую информацию при планировании и управлении растениеводством. Раздел «Болезни растений» содержит подробные описания 124 заболеваний, включающие таксономическое описание возбудителя, его морфологию и биологию, распространение, экологию, экономическое значение заболевания и меры борьбы с ним. В разделе «Вредители» приводятся подробные описания 49 вредителей, включающие систематическое положение, поражаемые культуры, морфологию и биологию, распространение, экологию, хозяйственное значение вредителя, а также меры борьбы с ним и литературные источники. Раздел «Сорные растения» содержит подробные описания 89 сорняков, включающие систематическое положение, морфологию и биологию, распространение, экологию, хозяйственное значение сорняка, меры борьбы с ним и литературные источники.

AgroAtlas – информационный портал, который был реализован Санкт-Петербургским государственным университетом в сотрудничестве с ВИР и ВИЗР, представляет интерактивный агроэкономический атлас России и сопредельных стран, основанный на технологиях геоинформационных систем (ГИС). Этот атлас позволяет осуществлять поиск информации в области сельского хозяйства с возможностью привязки данных к цифровым картам. Разработанное программное обеспечение в виде дистрибутива для DVD диска можно загрузить с сайта вместе с различными утилитами и руководством пользователя. Сайт содержит информацию об агроклиматических условиях для описанных в атласе территорий, границах пахотных земель и лесов, дает характеристику почв. Приводится описание сельскохозяйственных растений, возделываемых на этих территориях и их диких сородичей (систематическое положение, биология, морфология, экология, хозяйственное значение). Помимо этого, на сайте доступна информация, связанная с заболеваниями и вредителями растений, которая включает разделы:

1. «Болезни»: представлено описание 197 заболеваний культурных растений, в которых содержатся данные по: систематическому положению возбудителя заболевания, морфологии и биологии, экологии, хозяйственному значению заболевания и ссылкам на литературные источники.

2. «Вредители»: представлено описание 250 видов вредителей, в которых содержатся данные по систематическому положению, морфологии и биологии, экологии, распространению, хозяйственному значению вредителя и ссылкам на литературные источники.

3. «Сорные растения»: представлено описание 178 видов сорных растений, в которых содержатся данные по синонимам, систематическому положению, морфологии и биологии, распространению, экологии, хозяйственному значению сорняка и ссылкам на литературные источники. Агропортал (AgroCounsel.ru) предоставляет большое количество информации, связанной с выращиванием сельскохозяйственных культур и садоводством. Существенная часть разделов сайта посвящена болезням и вредителям сельскохозяйственных культур, а также сорным растениям и содержит разделы, которые аналогичны разделам БД AgroAtlas (болезни полевых культур, вредители полевых культур, сорные растения). Отметим, однако, что на сайте не представлена информация о его разработчиках.

К информационным порталам в области агробиотехнологий также относятся сайты АГРОФАК (Помощник агронома) и AgroMage. Обширная информация, которую они предоставляют, включает разделы, связанные с защитой растений.

В СибФТИ разработана база данных «Болезни зерновых культур», которая предназначена для автоматизированной диагностики 26 наиболее распространенных и вредоносных грибных, бактериальных и вирусных болезней зерновых культур (яровой и озимой пшеницы, ячменя, ржи и овса) в Сибирском регионе и выбора с учетом конкретной ситуации мер защиты посевов (Гурова, Березина, 2006). Данная база написана на языке HTML 4,0 с использованием javascript и дает возможность использовать ее как локально, так и в сети интернет. Коллекция состоит из следующих разделов: классификация болезней, экологический мониторинг, меры борьбы. База распространяется платно, реализована на DVD-диске и как интернет-ресурс (<http://www.sorashn.ru/index.php?id=2723>).

Электронный справочник «Защита растений в огороде и саду» создан на основе книги С.К. Гребенщикова «Справочное пособие по защите растений для садоводов и огородников» (1991) и содержит описания по 120 вредителям, 126 болезням для 39 огородных и садовых культур. На основании этой же книги создан также и второй электронный справочник «Определитель вредителей и болезней растений», который позволяет определять вид вредителей и болезни огородных и садовых растений.

Сайт Пестициды.ru (Pesticidy.ru) является интернет-справочником, предоставляющим информацию о сельскохозяйственных культурах; их вредителях и способах борьбы с ними; пестицидах. На сайте в разделе «Вредители» содержатся подробные описания 438 вредителей, включающие классификацию, морфологию, развитие, морфологически близкие виды, географическое распространение, вредоносность и меры борьбы. Описания содержат множество ссылок на литературные источники. На сайте описаны вредители полевых, огородных, садовых, комнатных культурных растений, а также вредители лесов.

Таблица 2. Информационные порталы по болезням и вредителям растений**Table 2.** Web- portals with information about plant diseases and pests

Ресурс	Язык сайта	Адрес в интернет
APPD (The Australian Plant Pest Database)	Английский	https://www.planthealthaustralia.com.au/resources/australian-plant-pest-database/appd-data-contributors/
Plantdiseases.org	То же	https://www.plantdiseases.org/
EPPO (EPPO Global Database)	»	https://gd.eppo.int/
Plant diseases in Japan	»	https://www.gene.affrc.go.jp/databases-micro_pl_diseases_en.php
Pestnet	»	https://www.pestnet.org/
Crop Protection Network, партнерство университетов и организаций США и Канады	»	https://cropprotectionnetwork.org
UC IPM (University of California Agriculture & Natural Resources: Integrated Pest Management)	»	http://ipm.ucanr.edu
Комплексная программа борьбы с вредителями в Иллинойсе	»	http://ipm.illinois.edu
Farms.com	»	https://www.farms.com/field-guide/
Institute of Agriculture and Natural Resources, CropWatch	»	https://cropwatch.unl.edu
APS (American Phytopathological Society) Image Database	»	https://www.apsnet.org/edcenter/resources/ImageDatabase/Pages/default.aspx
Россельхозцентр	Русский	https://rosselhoccenter.com/
Агрсправка	То же	http://kurganniish.ru/AgroGuide/quick/Default.html
Агроэкономический атлас России и сопредельных стран	»	http://www.agroatlas.ru/ru/about/index.html
Агропортал AgroCounsel.ru	»	http://www.agrocounsel.ru
Сайт АГРОФАК (Помощник агронома)	»	https://agrofak.com/
Агропортал AgroMage	»	https://agromage.com
Электронный справочник «Защита растений в огороде и саду»	»	http://www.cnshb.ru/AKDIL/0052/default.shtm
Электронный справочник «Определитель вредителей и болезней растений»	»	http://www.cnshb.ru/AKDIL/0053/default.shtm
Pesticidy.ru	»	https://www.pesticidy.ru
Центр по борьбе с трудноискоренимыми болезнями растений (Россия, Казахстан)	»	https://karantin.net/dpd/

Центр по борьбе с трудноискоренимыми болезнями растений (Россия, Казахстан) – профессиональная площадка, объединившая опыт ведущих ученых, реальных предприятий и представителей инновационной химической индустрии в области борьбы с болезнями растений. Миссией центра является предоставление услуг по борьбе с трудноискоренимыми болезнями растений. На сайте в разделе «Справочники: Справочник болезней растений» содержатся подробные описания болезней растений, включающие информацию о возбудителе, симптомах, условиях развития заболевания и также мерах борьбы с ним для 370 заболеваний растений.

Проведенный анализ ресурсов с описанием заболеваний растений позволяет выявить ряд проблем. Прежде всего, это высокий уровень дублирования информации с описанием патогенов и вредителей, представленных на различных информационных ресурсах. Второй недостаток заключается в том, что подобные ресурсы в большей степени выглядят как энциклопедии и справочники со слабо формализованным описанием объектов. При использова-

нии таких ресурсов пользователю приходится выполнять несколько поисковых операций, чтобы идентифицировать патоген. Перспектива при использовании таких данных может заключаться в их сочетании с методами автоматического распознавания вредителей и заболеваний, в том числе в полевых условиях и с помощью мобильных устройств (Pison et al., 2019; Genaev et al., 2021; Smetanin et al., 2021). Это позволит сочетать автоматическую идентификацию с доступом к набору практических решений по выбору наиболее подходящего способа борьбы с патогеном/вредителем.

Российские и зарубежные коммерческие компании

Ряд зарубежных и российских компаний в области агротехнологий и защиты растений на своих сайтах помимо коммерческой информации размещает справочную информацию по патогенам и вредителям растений, а также образовательные материалы в этой области (табл. 3). Преимущество предоставляемой информации заключается в выборе средств борьбы с вредителями и патогенами, которые производят эти компании.

Таблица 3. Сайты коммерческих компаний с информацией о защите растений**Table 3.** Websites of commercial companies with the information about plant protection

Ресурс	Язык сайта	Адрес в интернет
Bayer Crop Science	Англ./рус.	https://www.cropscience.bayer.ru/
Syngenta	Англ./рус.	https://www.syngenta.ru/
AVGUST	Русский	https://www.avgust.com/
АгроХимИнвест	То же	https://agrochiminvest.ru/
Щелково Агрохим	»	http://www.betaren.ru/
Агро Эксперт Групп	»	https://www.agroex.ru/harms/
Агросфера	»	http://agrosfera.info/
KCCC Group (Кирово-Чепецкая химическая компания)	»	https://kccc.ru/
Группы компаний Агротех-Гарант	Рус./англ.	https://agroteh-garant.ru/

Заключение

Большое разнообразие интернет-ресурсов по патогенам растений предоставляет широкие возможности для поиска информации в области молекулярных взаимодействий патоген/вредитель–растение, а также в области описания патогенов и вредителей и их воздействия на растения. Наиболее активно развиваются и пополняются базы молекулярно-биологических данных. В этой области постоянно выходят обновления информации. Описания патогенов и вредителей в большей степени представляют слабо структурированные данные, все еще требующие от пользователя усилий по поиску информации и ее отбору.

Информационные технологии в области мониторинга заболеваний сельскохозяйственных культур и борьбы с патогенами и вредителями постоянно расширяются и совершенствуются. Они обеспечивают все более эффективный доступ к огромному массиву данных в области защиты растений. Это облегчает создание новых сортов сельскохозяйственных растений и осуществление мониторинга заболеваний и вредителей растений. Все эти технологии в итоге позволяют повысить сохранность урожая и повысить его качество.

Список литературы / References

- Афонников Д.А., Тощий И.В., Сташевски З. Информационные ресурсы по коллекциям картофеля. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(1):115-121.
[Afonnikov D.A., Totsky I.V., Stasevski Z. Informational resources on potato germplasm collections. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov J Genetics Breeding*. 2018;22(1):115-121. DOI 10.18699/VJ18.330. (in Russian)]
- Виноградова А.Г., Кузьменков А.Ю. Обзор информационных ресурсов по генам устойчивости микроорганизмов. *Казанский медицинский журнал*. 2019;100(3):457-463.
[Vinogradova A.G., Kuzmenkov A.Yu. A review of information resources on antimicrobial resistance genes. *Kazan Medical J*. 2019;100(3):457-463. DOI 10.17816/KMJ2019-457. (in Russian)]
- Гребенчиков С.К. Справочное пособие по защите растений для садоводов и огородников. М.: Росагропромиздат, 1991.
[Grebenshchikov S.K. A guide to plant protection for gardeners and vegetable growers. Moscow: Rosagropromizdat, 1991. (in Russian)]
- Гурова Т.А., Березина В.Ю. Информационные базы данных в управлении фитосанитарной ситуацией при возделывании зерновых культур. *Достижения науки и техники АПК*. 2006;11:12-14.
[Gurova T.A., Berezina V.Yu. Information databases in the management of the phytosanitary situation in the cultivation of grain crops. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006;11:12-14. (in Russian)]
- Защита растений от болезней / В.А. Шкалик, О.О. Белошапкина, Д.Д. Букреев. – М.: КолосС, 2003.

- [Plant protection against diseases / V.A. Shkalikov, O.O. Beloshapkina, D.D. Bukreev. – Moscow: KolosS, 2003. (in Russian)]
- Игнатъева Е.В., Афонников Д.А., Колчанов Н.А. Интернет-доступные информационные ресурсы по геновым сетям, включающие данные по человеку и животным. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(8):895-902.
[Ignatieva E., Afonnikov D., Kolchanov N. Online resources on gene networks containing human and animal data. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov J Genetics Breeding*. 2017;21(8):895-902. DOI 10.18699/VJ17.310. (in Russian)]
- Кузьменков А.Ю., Виноградова А.Г. Мониторинг антибиотикорезистентности: обзор информационных ресурсов. *Бюллетень сибирской медицины*. 2020;19(2):163-170.
[Kuzmenkov A.Yu., Vinogradova A.G. Antimicrobial resistance monitoring: a review of information resources. *Bulletin Siberian Medicine*. 2020;19(2):163-170. DOI 10.20538/1682-0363-2020-2-163-170. (in Russian)]
- Миненко К.Е., Королёва Я.В. Информационные ресурсы о системе защиты растений. 2014.
[Minenko K.E., Koroleva Ya.V. Information resources about the plant protection system. 2014. URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014005741> (дата обращения: 06.10.2021). (in Russian)]
- Мир растений: В 7 т. / Под ред. А.Л. Тахтаджяна. Т. 2: Грибы / [Т.П. Сизова и др.]; Под ред. М.В. Горленко. М.: Просвещение, 1991.
[The world of plants: In 7 v. / Ed. A.L. Takhtajan. V. 2: Mushrooms / [T.P. Sizova et al.]; Ed. M.V. Gorlenko. Moscow: Education, 1991. (in Russian)]
- Пидопличко Н.М. Грибы – паразиты культурных растений. Определитель. Т. 2. Грибы несовершенные. Киев: Наукова думка, 1977.
[Pidoplichko N.M. Mushrooms are parasites of cultivated plants. Guide. Vol. 2. Mitosporic fungi. Kiev: Naukova Dumka, 1977. (in Russian)]
- Хлесткина Е.К., Шумный В.К. Перспективы использования прорывных технологий в селекции: система CRISPR/Cas9 для редактирования генома растений. *Генетика*. 2016;52(7):774-787.
[Khlestkina E.K., Shumny V.K. Prospects for application of breakthrough technologies in breeding: The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing. *Genetika*. 2016;52(7):774-787. DOI 10.7868/S0016675816070055. (in Russian)]
- Aken B.L., Ayling S., Barrell D., Clarke L., Curwen V., Fairley S., Banet J.F., Billis K., Giron C.G., Hourlier T., Howe K., Kähäri A., Kokocinski F., Martin F.J., Murphy D.N., Nag R., Ruffier M., Schuster M., Tang Y.A., Vogel J.-H., White S., Zadissa A., Flicek P., Searle S.M.J. The Ensembl gene annotation system. *Database (Oxford)*. 2016;baw93. DOI 10.1093/database/baw093.
- Baldwin T.K., Winnenburg R., Urban M., Rawlings C., Köhler J., Hammond-Kosack K.E. The pathogen-host interactions database (PHI-base) provides insights into generic and novel themes of pathogenicity. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2006;19(12):1451-1462. DOI 10.1094/mpmi-19-1451.
- Benson D.A., Cavanaugh M., Clark K., Karsch-Mizrachi I., Ostell J., Pruitt K.D. GeneBank. *Nucleic Acids Res*. 2018;46:D41-D47. DOI 10.1093/nar/gks1195.
- Bolivar J.C., Machens F., Brill Y., Romanov A., Bulow L., Hehl R. 'In silico expression analysis', a novel PathoPlant web tool to identify abiotic

- and biotic stress conditions associated with specific cis-regulatory sequences. *Database* (Oxford). 2014;bau030. DOI 10.1093/database/bau030.
- Bouma E. Computer aids for plant protection, historical perspective and future developments. *EPPO bulletin*. 2007;37(2):247-254. DOI 10.1111/j.1365-2338.2007.01119.x.
- Brasier C.M. Phytophthora biodiversity: how many Phytophthora species are there? In: *Phytophthoras in forests and natural ecosystems*. Eds: Goheen E.M., Frankel S.J. Albany, CA, USA: USDA Forest Service, 2009;101-115.
- Brisler J.R., Ako-Adjei D., Bao Y., Blinkova O. NCBI viral genomes resource. *Nucleic Acids Res*. 2015;43(Database issue):D571-577. DOI 10.1093/nar/gku1207.
- Brown N.A., Urban M., Hammond-Kosack K.E. The trans-kingdom identification of negative regulators of pathogen hypervirulence. *FEMS Microbiol Rev*. 2016;40(1):19-40. DOI 10.1093/femsre/fuv042.
- Catana V., Elliott N., Giles K., Mirik M. The role of databases in areawide pest management. In: *Areawide Pest Management: Theory and Implementation*. Eds: Koul O., Cuperus G.W., Elliott N.C. CABI Publishing, 2008;142-158.
- Crowson H.L., McGillivray L.A. Electronic databases and information technology in plant pathology. In: *Plant Pathologist's Pocketbook*. Eds: Waller J.M., Lenne J.M., Waller S.J. CABI Publishing, 2001. Chapter 42. p. 461-469.
- FAO. There is no food security without plant health. 2020. Available from: <http://www.fao.org/right-to-food/resources/resources-detail/ru/c/1362938/> (accessed October 6, 2021).
- FAO. Climate change fans spread of pests and threatens plants and crops, new FAO study. 2021. Available from: <http://www.fao.org/news/story/pt/item/1402920/icode/> (accessed October 6, 2021).
- Ferris H., Caswell-Chen E.P., Sloan R.L. Synopsis of a developing database of the host status of plants to nematodes. *J Nematol*. 1995;27:499-500.
- Genaev M.A., Skolotneva E.S., Gulyaeva E.I., Orlova E.A., Bechtold N.P., Afonnikov D.A. Image-Based Wheat Fungi Diseases Identification by Deep Learning. *Plants*. 2021;10(8):1500. DOI 10.3390/plants10081500.
- Hansen B.O., Olsson S. OmicsDB: Pathogens – A database for exploring functional networks of plant pathogens. *bioRxiv.org – the preprint server for Biology*. 2020. DOI 10.1101/2020.03.18.979971 (accessed October 6, 2021).
- Johnston P.R., Weir B.S., Cooper J.A. Open data on fungi and bacterial plant pathogens in New Zealand. *Mycology*. 2017;8(2):59-66. DOI 10.1080/21501203.2016.1278409.
- Kazantsev F.V., Skolotneva E.S., Kelbin V.N., Salina E.A., Lashin S.A. MIGREW: database on molecular identification of genes for resistance in wheat. *BMC Bioinformatics*. 2019;20(1):27-34. DOI 10.1186/s12859-018-2569-4.
- Li H., Zhang Z. Systems understanding of plant-pathogen interactions through genome-wide protein-protein interaction networks. *Front. Agr. Sci. Eng*. 2016;3(2):102-112. DOI 10.15302/J-FASE-2016100.
- Liu X., Zhang X., Tang W.-H., Chen L., Zhao X.-M. eFG: an electronic resource for *Fusarium graminearum*. *Database*. 2013;2013:bat042. DOI 10.1093/database/bat042.
- Lu T., Yao B., Zhang C. DVF: database of fungal virulence factors. *Database*. 2012;ID:bas032. DOI 10.1093/database/bas032.
- Osuna-Cruz C.M., Paytuví-Gallart A., Di Donato A., Sundesha V., Andolfo G., Cigliano R.A., Sanseverino W., Ercolano M.R. 2PRGdb 3.0: a comprehensive platform for prediction and analysis of plant disease resistance genes. *Nucleic Acids Res*. 2018;46(D1):D1197-D1201. DOI 10.1093/nar/gkx1119.
- Park B., Martin F., Geiser D.M., Kim H.-S., Mansfield M.A., Nikolaeva E., Park S.-Y., Coffey M.D., Russo J., Kim S.H., Balci Y., Abad G., Burgess T., Grünwald N.J., Cheong K., Choi J., Lee Y.-H., Kang S. Phytophthora database 2.0: update and future direction. *Phytopathology*. 2013;103(12):1204-1208. DOI 10.1094/PHYTO-01-13-0023-R.
- Pedro H., Maheswari U., Urban M., Irvine A.G., Cuzick A., McDowall M.D., Staines D.M., Kulesha E., Hammond-Kosack K.E., Kersey P.J. PhytoPath: an integrative resource for plant pathogen genomics. *Nucleic Acids Res*. 2016;44:D688-D693. DOI 10.1093/nar/gkv1052.
- Picon A., Alvarez-Gila A., Seitz M., Ortiz-Barredo A., Echazarra J., Johannes A. Deep convolutional neural networks for mobile capture device-based crop disease classification in the wild. *Comp. Electron. Agric*. 2019;161:280-290. DOI 10.1016/j.compag.2018.04.002.
- Pimentel D. Pest control in world agriculture. *Agricultural Sci*. 2009;2. Available from: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c10/E5-24-10-00.pdf> (accessed October 6, 2021).
- Punta M., Coghill P.C., Eberhardt R.Y., Mistry J., Tate J., Boursnell C., Pang N., Forslund K., Ceric G., Clements J., Heger A., Holm L., Sonnhammer Erik L.L., Eddy Sean R., Bateman A., Finn R.D. The Pfam protein families database. *Nucleic Acids Res*. 2012;40:D290-D301. DOI 10.1093/nar/gkr1065.
- Qi H., Jiang Z., Zhang K., Yang S., He F., Zhang Z. PlaD: A Transcriptomics Database for Plant Defense Responses to Pathogens, Providing New Insights into Plant Immune System. *Genomics Proteomics Bioinformatics*. 2018;16:283-293. DOI 10.1016/j.gpb.2018.08.002.
- Rizzo D.M., Lichtveld M., Mazet J.A.K., Togami E., Miller S.A. Plant health and its effects on food safety and security in a One Health framework: four case studies. *One Health Outlook*. 2021;3:6. DOI 10.1186/s42522-021-00038-7.
- Savary S., Ficke A., Aubertot J.-N., Hollier C. Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. *Food Sec*. 2012;4:519-537. DOI 10.1007/s12571-012-0200-5.
- Savary S., Willocquet L., Pethybridge S.J., Esker P., McRoberts N., Nelson A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat Ecol Evol*. 2019;3(3):430-439. DOI 10.1038/s41559-018-0793-y.
- Shivas R.G., Beasley D.R., Pascoe I.G., Cunnington J.H., Pitkethley R.N., Priest M.J. Specimen-based databases of Australian plant pathogens: past, present and future. *Australasian Plant Pathol*. 2006;35:195-198. DOI 10.1071/AP06003.
- Smetanin A., Uzhinskiy A., Ososkov G., Goncharov P., Nechaevskiy A. Deep learning methods for the plant disease detection platform. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2377(1):060006. DOI 10.1063/5.0068797.
- Takeya M., Yamasaki F., Uzuhashi S., Sawada H., Nagai T., Tomioka K., Sato T., Aoki T., Kawase M. A database of plant diseases in Japan to provide unified linkage of information for plant and microorganism genetic resources. 2012. Available from: <http://www.naro.affrc.go.jp/archive/nias/eng/research/h23/02305.pdf> (accessed October 6, 2021).
- Urban M., Pant R., Raghunath A., Irvine A.G., Pedro H. Hammond-Kosack K.E. The Pathogen-Host Interactions database (PHI-base): additions and future developments. *Nucleic Acids Res*. 2015a;43:D645-D655. DOI 10.1093/nar/gku1165.
- Urban M., Irvine A.G., Raghunath A., Cuzick A., Hammond-Kosack K.E. Using the pathogen-host interactions database (PHI-base) to investigate plant pathogen genomes and genes implicated in virulence. *Front Plant Sci*. 2015b;6:605. DOI 10.3389/fpls.2015.00605.
- Urban M., Cuzick A., Rutherford K., Irvine A.G., Pedro H., Pant R., Sadanadan V., Khamari L., Billal S., Mohanty S., Hammond-Kosack K.E. PHI-base: a new interface and further additions for the multi-species pathogen-host interactions database. *Nucleic Acids Res*. 2017;45(D1):D604-D610. DOI 10.1093/nar/gkw1089.
- Urban M., Cuzick A., Seager J., Wood V., Rutherford K., Venkatesh S.Y., De Silva N., Martinez M.C., Pedro H., Yates A.D., Hassani-Pak K., Hammond-Kosack K.E. PHI-base: the pathogen-host interactions database. *Nucleic Acids Research*. 2020;48:D613-D620. DOI 10.1093/nar/gkz904.
- Vostrovsky V., Tyrychtr J., Hanzlik P. Possibilities of use of the active knowledge databases in the agricultural sector. In: *Silhavy R., Senkerik R., Kominkova Oplatkova Z., Silhavy P. Automation control theory perspectives intelligent systems*. Springer, Cham. 2016;3:383-390. DOI 10.1007/978-3-319-33389-2_36.
- Winnenburg R., Urban M., Beacham A., Baldwin T.K., Holland S., Lindenberg M., Hansen H., Rawlings C., Hammond-Kosack K.E., Köhler J. PHI-base update: additions to the pathogen host interactions database. *Nucleic Acids Research*. 2008;36:D572-576. DOI 10.1093/nar/gkm858.
- Winnenburg R., Baldwin T.K., Urban M., Rawlings C., Köhler J., Hammond-Kosack K.E. PHI-base: a new database for pathogen host interactions. *Nucleic Acids Research*. 2014;34:D459-464. DOI 10.1093/nar/gkj047.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.01.2022. После доработки 31.01.2022. Принята к публикации 31.01.2022.