

Информационные ресурсы по коллекциям картофеля

Д.А. Афонников^{1, 2}✉, И.В. Тоцкий¹, З. Сташевски³

¹ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

³ ТатНИИСХ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из важнейших продовольственных культур, преимущество которой заключается в способности давать высокий урожай в широком спектре агро-экосистем и высоком удельном производстве сухой массы пищевого продукта на единицу возделываемой площади. Все большее внимание картофелю уделяется как источнику не только углеводов, но и витаминов, минералов, пищевых волокон и других полезных веществ. Культурные сорта картофеля отличаются низким внутривидовым разнообразием, что уменьшает их потенциал для создания сортов с улучшенными свойствами. Дикие сородичи картофеля сохраняют высокую степень генетического разнообразия, которое может быть использовано для поиска нужных аллелей и их дальнейшего переноса в возделываемые сорта. С этой целью в мире идет интенсивное развитие, изучение и углубленная инвентаризация генетических ресурсов картофеля, содержащихся в ген-банках, для чего активно используются компьютерные технологии. Настоящий обзор посвящен мировым информационным ресурсам в области картофелеводства. Представлено описание наиболее актуальных порталов и баз данных генетических ресурсов по картофелю. Анализ показывает, что основные базы данных по коллекциям картофеля сосредоточены в США и Европе. Web-порталы предоставляют большое количество разнообразных сведений, полезных как производителю и потребителю, так и селекционерам. На таких порталах идет интенсивная информационная поддержка новейших технологий в области картофелеводства и селекции. Интересным направлением является предоставление услуг по анализу образцов картофеля (семенного и иного материала) с помощью ДНК-маркеров для установления соответствия генотипа исследуемого материала генотипу заявленного сорта, а также вовлечение производителей картофеля в сетевой процесс оперативного мониторинга заболеваний и вредителей картофеля. Важную роль на современном этапе играет интеграция данных по коллекциям картофеля. В этом направлении развиваются европейские коллекции и базы данных. Однако несмотря на существование общеевропейской коллекции картофеля, продолжается поддержка национальных коллекций. Важной тенденцией в последнее время стало включение в описание образцов коллекции большого количества (свыше сотни) характеристик, для оценки которых в рамках зарубежных государственных селекционных программ ведется постоянное тестирование сортообразцов. В результате доступа к такой информации селекционер имеет возможность эффективно планировать эксперимент с целью направленной селекции по ключевым признакам растений. Эти тенденции подтверждают эффективность применения новейших технологий (в том числе информационных) в области поддержания и распространения генетических ресурсов картофеля.

Ключевые слова: картофель; генетические ресурсы; информационные порталы; базы данных; характеристики картофеля; Интернет.

Informational resources on potato germplasm collections

D.A. Afonnikov^{1, 2}✉, I.V. Totsky¹, Z. Stasevski³

¹ Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

³ TatSRIA – Subdivision of FRC KazanSC of RAS, Kazan, Russia

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the most important food crops, the advantage of which is the ability to give a high yield in a wide range of agro-ecosystems, high specific production of dry weight per unit of cultivated area. Nowadays potato is considered a source of vitamins, minerals, dietary fiber and other nutrients. Potato cultivars are characterized by low genetic diversity, which reduces their potential to produce varieties with improved properties. Wild potato relatives retain a high degree of genetic diversity, which can be used to find the superior alleles and for their further transfer to cultural genotypes. To this end, there is an intense development of potato gene banks, with the help of the information technology to access the data. The present review is devoted to global information resources in potato. It describes the most relevant information portals and databases of genetic resources for potatoes. Analysis of information in the Internet shows that the main information resources on potato collections are concentrated in the United States and Europe. Information portals provide a wide variety of information useful to producers, consumers and breeders. On such portals, there is an intensive information support of the latest technologies in the field of potato growing and breeding. An interesting direction is the provision of services to determine the DNA prints (markers) of potato varieties, involvement of potato growers in the process of operational monitoring of diseases and pests of potatoes. Integration of data on potato collections plays an important role at the present stage. In line with this, European collections and databases are being developed. However, despite the existence of pan-European potato collection, national collections are still given support. An important collection-related trend in recent years has been inclusion of samples with a large number (more than a hundred) characteristics, which are evaluated by constantly testing varieties within the framework of foreign state breeding programs. As a result of access to such information, the breeder can effectively plan an experiment with the purpose of directed selection for key features of plants. These trends confirm the

effectiveness of the use of the latest technologies (including information) in the maintenance and dissemination of potato genetic resources.

Key words: potato; genetic resources; informational portal; databases; potato traits; Internet.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Афонников Д.А., Тоцкий И.В., Сташевски З. Информационные ресурсы по коллекциям картофеля. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018;22(1):115-121. DOI 10.18699/VJ18.330

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Afonnikov D.A., Totsky I.V., Stasevski Z. Informational resources on potato germplasm collections. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(1):115-121. DOI 10.18699/VJ18.330 (in Russian)

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – одна из важнейших продовольственных культур, которая выращивается более чем в ста странах мира. По объемам производства данная культура занимает четвертое место в мире после кукурузы, пшеницы и риса (FAOSTAT, 2018). Ее преимущество заключается в способности давать высокий урожай в широком спектре агроэкосистем и в высоком удельном производстве сухой массы пищевого продукта на единицу возделываемой площади (Lutaladio, Castaldi, 2009; Devaux et al., 2014). Еще одним важным фактором, способствующим популярности культуры, в том числе в развитых странах, является все большее внимание к картофелю как источнику не только углеводов, но и витаминов, минералов, пищевых волокон (Ortiz, Mares, 2017), каротиноидов и флавоноидных пигментов антоцианов (Стрыгина, Хлесткина, 2017). Этим обуславливается постоянный интерес к исследованиям, направленным на улучшение пищевых характеристик картофеля, повышение устойчивости растений к биотическим и абиотическим факторам среды.

Культурные сорта картофеля отличаются низким генетическим разнообразием по сравнению с дикими сородичами (Hardigan et al., 2017). Этому способствовало множество факторов, включая снижение разнообразия культивируемых линий в результате эпифитотий фитофтороза в 1800-х гг., вирусные болезни, распространяющиеся в процессе размножения, увеличение генетического груза популяции как результата инбридинга, приводящего к сохранению вредных мутаций (Hirsch et al., 2013). Снижение генетического разнообразия по некоторым локусам в результате селекции характерно для многих сельскохозяйственных культур (Zhang et al., 2017). Это уменьшает их потенциал для создания сортов с улучшенными свойствами. Дикие сородичи современных сельскохозяйственных культур, напротив, сохраняют высокую степень генетического разнообразия, которое может быть использовано для поиска нужных аллелей и их дальнейшего переноса в возделываемые сорта (Гавриленко, Ермишин, 2017; Фади́на и др., 2017). Большую роль в этой работе играют коллекции генетического материала картофеля (Киру, Рогозина, 2017; Machida-Nirano, Niino, 2017). Они интенсивно используются для выделения нового исходного материала в селекции на продуктивность, устойчивость к патогенам и вредителям (Зотеева, 2012; Стостина, Косарева, 2015), позволяя осуществлять оценку степени проявления основных хозяйственно ценных признаков в конкретных условиях выращивания, выявлять лучшие образцы по отдельным признакам и формировать признаковую коллекцию источников для селекции карто-

феля (Красавин, Айтбаев, 2015). К генетическим коллекциям обращаются и при решении фундаментальных задач, таких как изучение происхождения и эволюции видов и сортов картофеля, уточнение его систематики (Hirsch et al., 2013; Spooner et al., 2014; Hardigan et al., 2017).

Как отмечено С.Д. Киру и Е.В. Рогозиной (2017), основной проблемой при работе с коллекциями являются трудности в подборе материала, возникающие из-за неполной оцифровки данных по коллекциям, неполноты описания образцов, отсутствия систем быстрого поиска данных. Одно из приоритетных направлений в этой связи – координированная инвентаризация коллекций генных банков. Поскольку современные коллекции содержат сотни тысяч образцов, их невозможно инвентаризировать без применения информационных технологий, обеспечивающих хранение данных в электронных каталогах и быстрый доступ к информации (Agrawal et al., 2012; Thormann et al., 2012).

Настоящий обзор посвящен мировым информационным ресурсам в области картофелеводства. В нем представлено описание наиболее актуальных информационных порталов и баз данных генетических ресурсов по картофелю.

Информационные порталы, посвященные картофелю

Информационные порталы в области картофеля содержат большое количество разнородной информации и гиперссылок, связанных с селекцией и производством картофеля. Список порталов по картофелеводству как в российском, так и в зарубежном сегментах сети Интернет приведен в табл. 1. Эти порталы могут служить первичными источниками специализированной информации, своеобразными «точками входа» на информационные ресурсы Интернета, связанные с картофелем. Далее кратко охарактеризуем перечисленные в табл. 1 информационные ресурсы.

В российском сегменте к числу таких сайтов можно отнести ресурс kartofel.org, который создан и поддерживается С.Н. Еланским. Собранная на сайте информация охватывает широкий круг вопросов, связанных с картофелеводством. Это полезные советы аграриям по агротехнологическим мероприятиям при выращивании картофеля и его защите от вредителей и заболеваний; каталог хозяйств, которые занимаются картофелеводством в России и зарегистрированы на сайте (126 хозяйств); ссылки на электронные версии книг и статей по картофелеводству, включая страницу электронного журнала «Защита картофеля»; описание кулинарных рецептов, а

Таблица 1. Информационные порталы, посвященные картофелю

| Название ресурса | Целевая аудитория | Язык сайта | Адрес в Интернет | Короткая ссылка |
|--|---|------------|---|---|
| kartofel.org | Селекционеры, научные работники, потребители, производители | Русский | http://kartofel.org | – |
| Картофельный союз | Производители, потребители | » | http://www.welikepotato.ru/index/about/abouts | http://tiny.cc/ukqxqy |
| PGR potato portal | Селекционеры, научные работники | Английский | https://www.pgrportal.nl/en/Potato-genetic-resources-Portal.htm | http://tiny.cc/jnjxqy |
| The Potato Association of America | Селекционеры, производители | » | http://potatoassociation.org/ | – |
| The European Association for Potato Research | Селекционеры, научные работники | » | https://www.eapr.net | – |
| AHDB Potato | Селекционеры, потребители, производители | » | https://potatoes.ahdb.org.uk | – |
| SASA Seed and Ware potatoes | » | » | https://www.sasa.gov.uk/seed-ware-potatoes | http://tiny.cc/ao8yqy |
| Solanaceae Source | Научные работники, селекционеры | » | http://solanaceaesource.org/ | – |
| SpudDB | » | » | http://solanaceae.plantbiology.msu.edu | http://tiny.cc/vucyqy |

также калькулятор прогноза развития фитофтороза. На сайте размещен каталог сортов картофеля, включающий детальное описание характеристик растений: морфологические показатели (высота и форма растения, форма листьев, цвет цветков), характеристики клубней (форма и цвет кожуры и мякоти, глубина глазков), хозяйственно важные признаки (назначение, сроки созревания, вкусовые качества, содержание крахмала, урожайность, товарность, лежкость), устойчивость к заболеваниям по балльной шкале (к фитофторозу листьев и клубней, раку картофеля и нематод, к вирусам картофеля), изображение клубней. Такие данные приведены для 425 сортов картофеля, а для 435 сортов дано краткое неформализованное описание сорта. Ресурс kartofel.org позволяет также размещать объявления о покупке и продаже продовольственного и семенного картофеля и техники.

Портал Картофельного союза в большей степени ориентирован на информацию о производителях картофеля в Российской Федерации. На портале сосредоточены нормативные документы союза, реестры семеноводческих хозяйств (157 организаций), производителей семенного материала (37 организаций), участников Картофельного союза (55 организаций), статистика участников рынка по регионам РФ, реестр семян на основе данных из Государственного реестра селекционных достижений. Представлены материалы публикаций и презентаций, связанных с деятельностью союза, имеется доска объявлений и страница новостного блога.

Среди зарубежных порталов к наиболее информативным относится PGR potato portal, который поддерживается сотрудниками Университета Вагенингена. Он включает три основных раздела. Первый, PGR material, представляет ссылки на сайты организаций, поддерживающих генетические ресурсы картофеля, включая академические (10 ресурсов), коммерческие (19 компаний из восьми

стран Европы) и частные коллекции (2 представителя). В разделе Traits описываются ключевые характеристики картофеля, прежде всего заболевания, вредители, факторы стресса, а также особенности клубней и пищевые и агрономические характеристики. В разделе Other info содержится информация о происхождении картофеля, ссылки на описание характеристик различных сортов картофеля, культивируемых преимущественно в Европе.

Официальный сайт Американской картофельной ассоциации (РАА) содержит информацию о производстве, обработке и научных исследованиях в области картофелеводства США. На главной странице дана информация о текущих мероприятиях организации. Сайт предоставляет ссылки на большое количество ресурсов, в первую очередь в Северной Америке, доступна информация по 320 сортам картофеля.

Страница Европейской ассоциации исследования картофеля (ЕАРР) ориентирована на исследователей в области картофелеводства и включает пять разделов: агрономия и физиология; селекция и тестирование сортообразцов; патология и вредители; хранение и переработка; вирусология. На сайте расположена официальная информация о контактных лицах ЕАРР и текущих мероприятиях этой организации.

В Великобритании информация о картофелеводстве размещена на сайте Управления по делам сельского хозяйства и садоводства (the Agriculture and Horticulture Development Board – AHDB). Картофелю здесь посвящен специальный раздел, содержащий информацию о составе управления и его миссии, о производимых в Великобритании сортах картофеля. Портал содержит материалы по выращиванию картофеля и мониторингу заболеваний, информацию о рынке картофеля, новостную ленту, большое количество презентаций, научных и научно-популярных публикаций. На сайте есть также ссылка на базу данных сортов

картофеля AHDB potato variety database (<http://varieties.ahdb.org.uk>).

В Шотландии существует подразделение правительства по Науке и рекомендациям в сельском хозяйстве (Science and Advice for Scottish Agriculture – SASA), информационный портал которого включает раздел по картофелеводству. На этом сайте размещена различная официальная информация по сертифицированию и тестированию картофеля. SASA предоставляет также услуги по генотипированию образцов картофеля с помощью ДНК-маркеров.

Ресурс Solanaceae Source посвящен таксономической классификации пасленовых и содержит общую информацию о разнообразии представителей этого семейства, ссылки на литературные источники, внешние ресурсы. Описание таксонов, представленных на ресурсе, включает краткие сведения, ссылки на молекулярно-биологические базы данных NCBI (нуклеотидные, белковые, базы данных геномных вариаций, экспрессионные данные и др. – всего 24 внешних базы данных), изображения растений, литературные источники. База содержит 626 записей для представителей, относящихся к виду *Solanum tuberosum*, однако данные о коллекционных образцах немногочисленны (описано 20 образцов).

На сайте SpudDB (Hirsch et al., 2014) представлена информация о геномных данных по картофелю. Прежде всего, это браузер генома картофеля, визуализирующий структуру хромосом и генов, геномные вариации, локализацию маркеров и др. Ресурс обеспечивает поиск информации по генам картофеля на основе ключевых слов аннотации, идентификаторов последовательности или их сходства. Специальный раздел для селекционеров предоставляет утилиты по анализу данных геномных вариаций картофеля, полученных с помощью чипа SolCAP в популяции из 250 генотипов картофеля (Hirsch et al., 2013). На сайте также приведены ссылки на внешние информационные ресурсы по картофелю.

Базы данных генетических ресурсов картофеля

Генетические ресурсы картофеля часто являются частью генетических банков, содержащих коллекции растений разных видов (Reddy, 2017). Однако для описания генетических ресурсов картофеля создан ряд специализированных баз данных, преимущество которых заключается в более полном и детальном описании характеристик образцов, что предпочтительнее для селекционеров и генетиков. Интернет-страницы этих ресурсов приведены в табл. 2. Ниже представлено их краткое описание.

В Российской Федерации официальным ресурсом по охраняемым селекционным достижениям и селекционным достижениям, допущенным к использованию на территории РФ, является сайт ФГБУ «Госсорткомиссия». Поисковая система сайта позволяет формулировать сложные запросы к базе данных реестра. На странице результата запроса выводится: код сорта, название, год включения в реестр, код региона доступа, оригинатор сорта/патентообладатель, краткая информация о характеристиках сорта (категория, направление использования, период потребления, срок созревания, тип растения, условия выращивания, форма). В реестр включены 422 сорта кар-

тофеля, допущенных к использованию. На странице о сорте приводится текстовое описание его характеристик. Информация о сортах из реестров находится в свободном доступе и может быть загружена отдельным файлом в формате PDF или Excel.

Крупнейшая коллекция растений в России находится во Всероссийском институте генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Сведения об образцах доступны на сайте организации. База данных с описанием образцов содержит более 200 тыс. записей, из которых более 8500 относятся к коллекции картофеля (Киру, Рогозина, 2017). Информация об образце в этой базе основана на рекомендациях Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) и представлена в формате так называемых дескрипторов паспортных данных растений (Multi-crop passport descriptors – MCPD). Она включает таксономическое описание, плоидность, характеристики происхождения образца, жизненную форму и статус образца. Интерфейс базы данных позволяет производить поиск записей на основании текстовых запросов, в том числе и по идентификатору образца. По итогу запроса выдается таблица записей, содержащая краткие сведения об образце и гиперссылку для перехода на страницу с полной информацией для образца: Accession number (номер образца в коллекции ВИР), Collecting number (номер, присвоенный при сборе образца), Taxonomy (таксономия), Acquisition date (дата включения в коллекцию), Plant name (lat) (название растения на латыни), Plant name (rus) (название растения на русском языке), Collecting institute (институт, предоставивший образец в коллекцию), Breeding institute (селекционный институт, создавший образец), Donor country (страна, из которой получен материал), Donor institute (институт, предоставивший образец), Expedition (экспедиция), Country of origin (страна происхождения образца), Location of collection site (eng) (расположение места сбора (англ.)), Location of collection site (rus) (расположение места сбора (рус.)), Form of life (форма/тип развития), Biological status of accession (биологический статус образца), Type of germplasm storage (тип хранения зародышевой плазмы), Collection/acquisition source (источник сбора/приобретения), Introduction number (номер введения в коллекцию), Expedition number (экспедиционный номер/номер экспедиции), Other identification numbers (другие идентификационные номера), Donor accession number (номер образца донора), Latitude (широта), Longitude (долгота), Elevation (высота над уровнем моря), Location of safety duplicates (расположение дубликатов для безопасного хранения), Ancestral data (eng) (данные о предках на английском), Ancestral data (rus) (данные о предках на русском), Доступность, Владелец, Remarks (примечания).

На сайте Сетевой коллекции сортов и гибридов картофеля представлена информация о сортах и гибридах, которые исследуются в рамках Комплексного плана научных исследований ФАНО «Развитие селекции и семеноводства картофеля». Для описания свойств картофеля используются 33 дескриптора, сгруппированных в несколько групп: общая информация (оригинаторы, сведения о регистрации в реестре ФГБУ «Госсорткомиссия»), потребительские свойства, характеристики растения, характеристики клуб-

Таблица 2. Базы данных по коллекциям образцов картофеля

| Название ресурса | Кол-во образцов картофеля на декабрь 2017 г. | Адрес в Интернет | Короткая ссылка |
|--|--|---|---|
| Государственный реестр селекционных достижений | 422 – допущенные к использованию, 710 – охраняемые | http://reestr.gossort.com/ | – |
| Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова | 8500 | http://91.151.189.38/virdb/ | – |
| Сетевая коллекция сортов и гибридов картофеля | 60 | http://potatoes.biores.cytogen.ru/ | – |
| U.S. National Plant Germplasm System | 6647 | https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/search.aspx? | http://tiny.cc/5tkxqy |
| GENESYS Potato | 19858 | https://www.genesys-pgr.org/ru/c/potato | http://tiny.cc/fid2qy |
| U.S. Potato Genebank | 5966 | https://www.ars-grin.gov/nr6/index.html | http://tiny.cc/02sxqy |
| The European Cultivated Potato Database | 5924 | http://www.europotato.org | – |
| European Wild Potato Database | 10323 | http://ecpgr.cgn.wur.nl/eupotato/ | http://tiny.cc/ovjxqy |
| Commonwealth Potato Collection | 1515 | https://ics.hutton.ac.uk/germinate-cpc/ | http://tiny.cc/u7jxqy |
| CGN potato collection | 1470 | https://www.wur.nl/en/Expertise-Services/Statutory-research-tasks/Centre-for-Genetic-Resources-the-Netherlands-1/Expertise-areas/Plant-Genetic-Resources/CGN-crop-collections/Potato.htm | http://tiny.cc/lakxqy |
| IPK wild and cultivated potato species | 6100 | http://www.ipk-gatersleben.de/en/genebank/satellite-collections-north/gross-luesewitz-potato-collections | http://tiny.cc/d3pxqy |
| CIP Genebank | 4727 | https://cipotato.org/genebankcip/ | http://tiny.cc/knkxqy |
| AHDB potato variety database | 323 | http://varieties.ahdb.org.uk | – |

ней, характеристика клубнеобразования, устойчивость к грибным заболеваниям, устойчивость к вирусным заболеваниям, устойчивость к вредителям. В базе данных таким образом описаны 60 генотипов картофеля.

В США генетические ресурсы растений представлены на сайте Системы Национальных генетических ресурсов растений (Germplasm Resources and Information Network – GRIN) (Mowder, Stoner, 1989). Коллекция насчитывает свыше 580 тыс. образцов, четверть из которых приходится на коллекцию семян. База данных содержит информацию о более чем 6600 образцов картофеля, большинство из которых (около 6000) представлены в генетическом банке картофеля. Необходимо отметить, что описание характеристик картофеля в БД GRIN является достаточно подробным и включает 138 дескрипторов (<https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/cropdetail.aspx?type=descriptor&id=73>), которые распределены на несколько категорий: характеристики химического состава, цитологические характеристики, генетические фонды, характеристики роста, устойчивость к фитопатогенам, устойчивость к насекомым-вредителям и нематоде, характеристики молекулярные, морфологические, физиологические, ответа на стресс, характеристики корневой системы и клубней. Система поиска в базе позволяет осуществлять сложные запросы, отбирая генотипы со специфическим фенотипом растений.

Данные по генетическим ресурсам картофеля представлены среди прочих видов также на портале GENESYS (www.genesys-pgr.org). Это масштабный проект по инвентаризации биоресурсных коллекций сельскохозяйственных растений. В базе данных перечислено около 20 тыс. образцов картофеля, из которых примерно 19 % составляют местные сорта, 24 % – дикие виды картофеля. Образцы описаны по 97 характеристикам, включая морфологические характеристики растений, устойчивость к фитопатогенам, устойчивость к вредителям. Преимущество базы заключается в том, что она интегрирует информацию из целого ряда коллекций в разных странах. Крупнейшие коллекции находятся в распоряжении Института Лейбница по исследованию генетики растений и сельскохозяйственных культур (IPK), Картофельного генофонда США и Международного центра картофеля (CIP).

Европейская база данных культивируемого картофеля (European Cultivated Potato Database – ECPD) содержит сведения о почти 6000 сортов картофеля и является результатом взаимодействия ученых и селекционеров из восьми стран Евросоюза и пяти стран Восточной Европы. Описание сортов включает 148 характеристик (<http://www.europotato.org/characters>), сгруппированных в несколько основных разделов: характеристики морфологии органов растений, устойчивости к стрессовым факторам среды, устойчивости к заболеваниям, вредителям и др. Коллек-

ция описывает образцы из 49 стран, 593 селекционеров, 15 компаний и организаций. Поисковая система позволяет формировать сложные запросы так, чтобы отбирать сорта с нужными характеристиками.

Информация о дикорастущих представителях картофеля содержится в Европейской базе данных дикорастущего картофеля (European Wild Potato Database – EWPD), в которую вошло более 10 тыс. образцов. Сведения представлены в виде файлов в форматах БД Access или таблицы Excel. Описание образца включает 89 дескрипторов, из которых большая часть характеризует паспортные данные образца, а также устойчивость к заболеваниям (вирусным, грибным и бактериальным патогенам), вредителям (нематоде, тле, колорадскому жуку), химический состав клубней, устойчивость к стрессовым факторам окружающей среды. Интерфейс поиска для этой базы на сайте отсутствует.

База данных коллекции картофеля Британского Содружества включает свыше 1500 образцов 95 таксономических групп картофеля, из которых более 45 % приходится на *S. tuberosum*. Формат описания основан на рекомендациях Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) (Multi-Crop Passport Descriptors – MCPD; <http://tiny.cc/q9nyqu>). Однако база данных содержит 32 дополнительные характеристики фенотипа образца, в том числе параметры устойчивости к заболеваниям, стрессовым факторам среды и ряд других. Для некоторых образцов имеются изображения. Интерфейс системы реализован на платформе Germinate 3 (Shaw et al., 2017), созданной для описаний генетических коллекций растений, и позволяет выполнять запросы за счет фильтрации образцов по значениям полей базы данных, сохраняя результат поиска в текстовом формате.

Центр генетических ресурсов Нидерландов (Centre for Genetic Resources, the Netherlands – CGN) Университета Вагенингена поддерживает коллекцию картофеля, включающую более 1400 образцов 107 диких видов и 120 образцов 4 примитивных видов картофеля из двенадцати стран Южной и Северной Америки. В базе данных коллекции содержатся паспортные характеристики картофеля (таксономия, происхождение и статус образца), а также дополнительно 23 характеристики устойчивости к вредителям (нематоде), бактериальным, вирусным и грибным заболеваниям, характеристики клубней. Информация о некоторых образцах сопровождается изображениями растений. Поисковая система (<https://cgngenis.wur.nl/ZoekGewas.aspx?ID=rg5qu5cx&Cropnumber=41>; короткая ссылка <http://tiny.cc/217yqu>) позволяет производить сложные запросы к базе данных. Интерфейс предусматривает заказ образцов через Интернет.

Коллекция картофеля (The Gross Luesewitz Potato Collections) Института Лейбница по исследованию генетики растений и сельскохозяйственных культур (The Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, IPK) состоит из более чем 5400 образцов, в том числе свыше 2750 сортов культурного картофеля, 550 образцов генотипов картофеля из районов Анд и почти 130 образцов дикого картофеля из Северной и Южной Америки. Описание образцов включает паспортные характеристики (рекомендованные FAO). Поисковая система (короткая

ссылка <http://tiny.cc/tgb3qu>) позволяет отбирать записи на основе комбинированного запроса. Возможен также полнотекстовый поиск записей. Полученную в результате запроса информацию можно сохранить либо в формате CSV (данные, разделенные запятыми), либо в формате системы управления базами данных dBase (DBF).

Генбанк Международного центра картофеля (International Potato Center – CIP) поддерживает клубневые и семенные коллекции картофеля, сладкого картофеля, батата и клубненосных видов из регионов Анд (Andean roots and tubers – ARTC's). Коллекция картофеля насчитывает свыше 4700 образцов, включая 4354 сорта традиционных ландрас из семнадцати стран (преимущественно региона Анд) и сорта, полученные в результате селекции. В базе данных описаны паспортные характеристики образца, морфология растения, характеристика состава клубней, устойчивость к заболеваниям и вредителям, особенности хранения коллекционного материала. Интерфейс пользователя позволяет выполнить заказ материала (для этого необходима регистрация на сайте).

В коллекцию сортов картофеля Великобритании (AHDB potato variety database) входят 323 сорта, которые были представлены 17 организациями и 47 индивидуальными селекционерами. Описание сортов в базе данных включает ботанические характеристики, свойства клубней и устойчивости к болезням и вредителям (всего 21 характеристика, описываются преимущественно в виде шкал от 1 до 9). Удобство интерфейса заключается в возможности графического вывода характеристик сортов и сравнения сортов между собой по этим характеристикам.

Заключение

Анализ информации в сети Интернет показывает, что основные ресурсы по коллекциям картофеля сосредоточены в США и Европе. Порталы предоставляют большое количество сведений, полезных как производителям и потребителям, так и селекционерам. На таких порталах идет интенсивная поддержка новейших технологий в области картофелеводства и селекции. Интересным направлением является предоставление услуг по анализу образцов картофеля (семенного и иного материала) с помощью ДНК-маркеров для установления соответствия генотипа исследуемого материала генотипу заявленного сорта, а также вовлечение производителей картофеля в сетевой процесс оперативного мониторинга заболеваний и вредителей картофеля.

Важную роль на современном этапе играет интеграция данных по коллекциям картофеля. В этом направлении развиваются европейские коллекции. Однако несмотря на наличие общеевропейской коллекции картофеля, поддержка национальных коллекций продолжает осуществляться. Заметной тенденцией в последнее время стало включение в описание образцов коллекции большого количества (более ста) характеристик, для оценки которых в рамках зарубежных государственных селекционных программ ведется постоянное тестирование сортообразцов. В результате доступа к такой информации селекционер имеет возможность эффективного планирования эксперимента с целью направленной селекции по ключевым признакам растений. Эти тенденции подтверждают

эффективность использования новейших технологий (в том числе компьютерных) в области поддержания и распространения генетических ресурсов картофеля.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках государственного задания № 0745-2017-0003 «Инвентаризация и развитие биоресурсной коллекции картофеля для проведения фундаментальных исследований управления селекционным процессом, создания новых генотипов растений с высокими хозяйственно ценными показателями и устойчивости к био- и абиострессорам».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Гавриленко Т.А., Ермишин А.П. Межвидовая гибридизация картофеля: теоретические и прикладные аспекты. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(1):16-29. DOI 10.18699/VJ17.2.
- Зотеева Н.М. Изучение генетического разнообразия картофеля из коллекции ВИР по устойчивости к фитофторозу. Труды по прикл. ботанике, генетике и селекции. 2012;170(1):178-186.
- Киру С.Д., Рогозина Е.В. Мобилизация, сохранение и изучение генетических ресурсов культивируемого и дикорастущего картофеля. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(1):7-15. DOI 10.18699/VJ17.219.
- Костина Л.И., Косарева О.С. Сорга картофеля для селекции на хозяйственно-ценные признаки. Труды по прикл. ботанике, генетике и селекции. 2015;176(1):59-67.
- Красавин В.Ф., Айтбаев Т.Е. Генетические ресурсы картофеля и их использование в казахстанской селекции. Труды по прикл. ботанике, генетике и селекции. 2015;176(1):79-83.
- Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Синтез антоцианов у картофеля (*Solanum tuberosum* L.): генетические маркеры для направленного отбора. С.-х. биология. 2017;52(1):37-49. DOI 10.15389/agrobiology.2017.1.37rus.
- Фадина О.А., Бекетова М.П., Соколова Е.А., Кузнецова М.А., Сметанина Т.И., Рогозина Е.В., Хавкин Э.Е. Упреждающая селекция: использование молекулярных маркеров при создании доноров устойчивости картофеля (*Solanum tuberosum* L.) к фитофторозу на основе сложных межвидовых гибридов. С.-х. биология. 2017;52(11):84-94. DOI 10.15389/agrobiology.2017.1.84rus.
- Agrawal R.C., Archak S., Tyagi R.K. An overview of biodiversity informatics with special reference to plant genetic resources. Comp. Electron. Agricult. 2012;84:92-99. DOI 10.1016/j.compag.2011.12.003.
- Devaux A., Kromann P., Ortiz O. Potatoes for sustainable global food security. Potato Res. 2014;57(3-4):185-199. DOI 10.1007/s11540-014-9265-1.
- FAOSTAT. 2018. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- Hardigan M.A., Laimbeer F.P.E., Newton L., Crisovan E., Hamilton J.P., Vaillancourt B., Wiegert-Ringera K., Wooda J.C., Douchesc D.S., Farréa E.M., Veilleux R.E., Buell C.R. Genome diversity of tuber-bearing *Solanum* uncovers complex evolutionary history and targets of domestication in the cultivated potato. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2017;114(46):E9999-E10008. DOI 10.1073/pnas.1714380114.
- Hirsch C.D., Hamilton J.P., Childs K.L., Cepela J., Crisovan E., Vaillancourt B., Hirsch C.N., Habermann M., Neal B., Buell C.R. Spud DB: A resource for mining sequences, genotypes, and phenotypes to accelerate potato breeding. Plant Genome. 2014;7:1. DOI 10.3835/plantgenome2013.12.0042.
- Hirsch C.N., Hirsch C.D., Felcher K., Coombs J., Zarka D., Van Deynze A., De Jong W., Veilleux R.E., Jansky S., Bethke P., Douches D.S., Buell C.R. Retrospective view of North American potato (*Solanum tuberosum* L.) breeding in the 20th and 21st centuries. G3: Genes Genom. Genet. 2013;3:1003-1013. DOI 10.1534/g3.113.005595.
- Lutaladio N., Castaldi L. Potato: The hidden treasure. J. Food Comp. Analysis. 2009;22(6):491-493. DOI 10.1016/j.jfca.2009.05.002.
- Machida-Hirano R., Niino T. Potato Genetic Resources. In: Kumar Chakrabarti S., Xie C., Kumar Tiwari J. (Eds.) The Potato Genome. Compendium of Plant Genomes. Springer, 2017;11-30. DOI 10.1007/978-3-319-66135-3_2.
- Mowder J.D., Stoner A.K. Plant germplasm information systems. In: Knutson L.V., Stoner A.K. (Eds.) Biotic Diversity and Germplasm Preservation, Global Imperatives. Kluw. Acad. Publ., 1989;13. DOI 10.1007/978-94-009-2333-1_21.
- Ortiz O., Mares V. The historical, social, and economic importance of the potato crop. In: Kumar Chakrabarti S., Xie C., Kumar Tiwari J. (Eds.) The Potato Genome. Compendium of Plant Genomes. Springer, 2017;1-10. DOI 10.1007/978-3-319-66135-3_2.
- Reddy D.E. Emerging trends in seedbanking for food and agriculture: an international perspective. J. Agric. Food Inform. 2017;18(2):145-160. DOI 10.1080/10496505.2017.1289092.
- Shaw P.D., Raubach S., Hearne S.J., Dreher K., Bryan G., McKenzie G., Milne I., Stephen G., Marshall D.F. Germinate 3: development of a common platform to support the distribution of experimental data on crop wild relatives. Crop Sci. 2017;57(3):1259-1273. DOI 10.2135/cropsci2016.09.0814.
- Spooner D.M., Ghislain M., Simon R., Jansky S.H., Gavrilenko T. Systematics, diversity, genetics, and evolution of wild and cultivated potatoes. Bot. Rev. 2014;80(4):283-383. DOI 10.1007/s12229-014-9146-y.
- Thormann I., Gaisberger H., Mattei F., Snook L., Arnaud E. Digitization and online availability of original collecting mission data to improve data quality and enhance the conservation and use of plant genetic resources. Genet. Resour. Crop Evol. 2012;59(5):635-644.
- Zhang H., Mittal N., Leamy L.J., Barazani O., Song B.H. Back into the wild – Apply untapped genetic diversity of wild relatives for crop improvement. Evol. Appl. 2017;10(1):5-24. DOI 10.1111/evo.12434.