

ФИТОПАТОГЕННЫЕ БАКТЕРИИ РОДОВ *DICKEYA* И *PECTOBACTERIUM*: ОСОБЕННОСТИ ПАТОГЕННОГО ПРОЦЕССА И ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ

М.Д. Ерохова*, М.А. Кузнецова**

Всероссийский НИИ фитопатологии, Московская область, Россия

Эл. почта: * maria.erokhova@gmail.com; ** mari.kuznetsova@gmail.com

Статья поступила в редакцию 25.05.2023; принята к печати 05.07.2023

Черная ножка картофеля (возбудители *Pectobacterium* и *Dickeya* spp.) считается опаснейшим заболеванием картофеля и многих овощных и декоративных культур. Альтернативными растениями-хозяевами для бактерий *Pectobacterium* и *Dickeya* spp. могут быть сорные растения. В статье описаны эпидемиология, биологические особенности, комплекс мероприятий по интегрированной защите от данных фитопатогенов (добровольная сертификация посадочного материала, в котором отсутствуют фитопатогены, соблюдение строгих стандартов гигиены, а также агротехнические приемы, способствующие активному развитию сельскохозяйственных культур, и, в то же время, неблагоприятные для сохранения, накопления и передачи инфекции). Также детально приведена информация об имеющихся источниках инфекции.

Ключевые слова: картофель; черная ножка; мягкая гниль; сертификация; интегрированная защита от болезней.

PHYTOPATHOGENIC BACTERIA OF THE GENERA *DICKEYA* AND *PECTOBACTERIUM*: CHARACTERISTICS OF PATHOGENESIS AND APPROACHES TO PROTECTING POTATO CROPS THEREFROM

M.D. Yerokhova*, M.A. Kuznetsova**

All-Russia Research Institute of Phytopathology, Moscow Oblast, Russia

Email: * maria.erokhova@gmail.com; ** mari.kuznetsova@gmail.com

Potato blackleg disease, which is caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* spp., affects potato and many vegetables and ornamental plants. A wide range of alternative hosts of the bacterial pathogens is found among weed species. The present paper reviews the current information on epidemiology, biological traits, and plant disease management practices related to potato black leg disease, including voluntary certification of plant pathogen-free tubers for planting, hygiene practices in place, and the agronomic techniques that increase crop resilience and do not favor infectious agents survival and transmission. Detailed information on the sources of the infection is provided.

Keywords: potato, blackleg disease, soft rot, certification, integrated disease management.

Вредоносность бактерий из родов *Dickeya*, *Pectobacterium* на картофеле

Фитопатогенные некротрофные бактерии *Dickeya* и *Pectobacterium* spp. (грамотрицательные палочки с перитрихальным жгутикованием) опасны для многих сельскохозяйственных культур² [1, 3–8]. В связи с большой вредоносностью на семенном картофеле этим фитопатогенным бактериям присвоен статус РНКВО (регулируемый некарантинный вредный организм) на родовом уровне³ в 2019 году в странах

² EPPO. *Dickeya dianthicola*. EPPO Datasheets on Pests Recommended for Regulation; 2023.

³ EPPO. EPPO Global Database; 2023. (Accessed 2023-02-27).

ЕС (Приложение IV) и в 2020 году в Великобритании (Приложение IV Часть F). Потери урожая от черной ножки на картофеле могут достигать 40–50%, а в годы эпифитотий – до 80%. Выбраковка клубней, пораженных черной ножкой, приводит к понижению в категории семенного картофеля. В дальнейшем потери урожая картофеля закладываются в стоимость реализуемого картофеля для конечного потребителя.

Высокий фитосанитарный риск *Dickeya*, *Pectobacterium* для семенного картофеля и их высокая вредоносность обусловлены рядом факторов:

- Широкий спектр возбудителей на видовом уровне, определение которых до вида возможно только в специализированных (аккредитованных) диагности-

ческих лабораториях, проводящих молекулярную диагностику. Такое видовое многообразие осложняет своевременное выявление бактерий в семенном материале картофеля, что приводит к накоплению бактериальной инфекции как на поле, так и в картофелехранилище. Информация о видовой структуре популяций *Dickeya* и *Pectobacterium* необходима при проведении популяционного мониторинга и может быть использована в будущем при разработке систем принятия решений для борьбы с черной ножкой на отдельно взятом поле.

- Интенсификация и глобализация торговли семенным картофелем в условиях несоблюдения экспортных и импортных регламентаций при отсутствии статуса регулируемых организмов в некоторых странах и торговых блоках, что привело к появлению и широкому распространению новых более агрессивных видов, а также к появлению более вредоносной множественной инфекции при поражении несколькими видами бактериальных фитопатогенов.

- Особенности протекания инфекционного процесса на картофеле: болезнь поражает все части растения и вредоносна во все фазы роста картофеля. Бактериальные фитопатогены способны быстро размножаться в благоприятных условиях и увеличивать инфекционную нагрузку в течение относительно короткого времени. Бактерии быстро распространяются и легко передаются от растения к растению.

Своевременное выявление черной ножки и проведение защитных мероприятий осложняется бессимптомным проявлением заболевания на ранних стадиях, а также отсутствием действенных химических средств защиты.

Для эффективной защиты картофеля от черной ножки необходимо всестороннее применение интегрированной защиты от болезни, как на уровне отдельных хозяйств, так и в масштабе страны всеми участниками технологической цепочки выращивания картофеля, и на всех этапах производства.

Фитосанитарный статус бактерий *Dickeya* и *Pectobacterium* spp. на картофеле и перечень их растений-хозяев

Во многих европейских странах статус РНКВО для *Dickeya* и *Pectobacterium* позволил подготовить нормативную базу для регулирования их присутствия в семенном картофеле, установив нулевые допуски для них в предбазисном и базисном семенном картофеле. Это позволило создать в европейских странах мощную сеть лабораторий⁴ для проведения государственного мониторинга на выявление и распространение

⁴ European Union National Reference Laboratories for Public Bacteriology <https://eur1planthealth.nl/file/download/bee98238-aa3d-4edb-804c-e8ab0a11520a/nrl-addresses-for-public-bacteriology.pdf>

бактерий как в самом семенном картофеле, так и в сорной растительности и водных источниках.

Кроме картофеля, бактерии из родовых комплексов *Dickeya* и *Pectobacterium* поражают множество других видов растений. Среди растений-хозяев есть овощные культуры, картофель и многие декоративные культуры (табл. 1) [15]. В большей части спектр растений-хозяев включает двудольные растения.

В течение жизненного цикла бактерии *Dickeya* и *Pectobacterium* способны колонизировать не только картофель, но и дикорастущие растения.

В Израиле были обнаружены 12 видов сорных растений, в которых содержалась бактериальная инфекция, но отсутствовали симптомы заболевания: сыть круглая (*Cyperus rotundus*), заразиха египетская (*Orobancha aegyptiaca*), ширица колючая (*Amaranthus spinosus*), горец хвощевидный (*Polygonum equisetiforme*), марь (*Chenopodium* sp.), гелиотроп (*Heliotropium* sp.), василек иберийский (*Centaurea iberica*), сорго алеппское (*Sorghum haepense*), Мальва никаеенсис (*Malva nicaeensis*), свиной пальчатый (*Cynodon dactylon*), ширица жминда (*Amaranthus blitum*) и паслен лохолистный (*Solanum elaeagnifolium*) [15].

В другом израильском исследовании фитопатогены были обнаружены в горце хвощевидном (*Polygonum equisetiforme*), васильке простирающемся (*Centaurea procurrans*), осоте огородном (*Sonchus oleraceus*), плевеле жестком (*Lolium rigidum*), канареечнике короткоколосом (*Phalaris brachystachys*), овсе стерильном (*Avena sterilis*), мальве никаеенсис (*Malva nicaeensis*), ширице жминдовидной (*Amaranthus blitoides*), маре стенной (*Chenopodium murale*), хрозопоре красильной (*Chrozophora tinctoria*), заразихе египетской (*Orobancha aegyptiaca*), эрукарии носатой (*Erucaria rostrata*) [15].

Помимо растений, *Pectobacterium* и *Dickeya* способны заселять другие экологические ниши: источники воды, насекомых и почву.

Особенности патогенеза заболеваний, вызываемых бактериями *Dickeya* и *Pectobacterium* spp.

Dickeya и *Pectobacterium* представлены некротрофными грамотрицательными неспорообразующими бактериями и факультативными анаэробами. Основными факторами их вирулентности являются внеклеточные ферменты, разрушающие клеточную стенку, – пектиназы, протеазы и целлюлаза [17]. Отмечается, что за формирование всего спектра симптомов на растении у пектолитических бактерий отвечают не только данные ферменты, но и другие факторы вирулентности (например, вещества, обуславливающие устойчивость к окислительному стрессу). Особенностью этих бактерий является наличие особой

регулирующей системы «чувство кворума» (quorum sensing): экспрессия генов, отвечающих за выработку факторов вирулентности в достаточном количестве, происходит только при достижении определенного количества бактерий в растительной ткани (10^2 – 10^3 клеток/мл экстракта кожуры) [14] и 10^4 КОЭ/г растительной ткани [12]. И только после достижения этого порога бактерии начинают вырабатывать ферменты, разрушающие клеточную стенку. Образование разрушающих клеточную стенку внеклеточных ферментов приводит к деструкции растительной ткани и, как следствие, к появлению симптомов на клубнях (загниванию клубней при поражении паренхимы). В дальнейшем пораженные клубни заселяются вторичными пектолитическими бактериями, развитие которых дает неприятный запах.

Наличие ферментов, разрушающих клеточную стенку, является достаточно хорошим биомаркером текущего патологического процесса и помогает *in vitro* выявлять гены-регуляторы, отвечающие за выработку данных ферментов и других факторов патогенности. Сообщается о проведении модельных опытов, позволяющих регулировать экспрессию генов факторов вирулентности, что в будущем может быть использовано для предотвращения начала заболевания [17].

Как оппортунистические микроорганизмы *Dickeya*, *Pectobacterium* поражают в первую очередь ослабленные растения с низким уровнем устойчивости. Имунный ответ растений может быть ослаблен в условиях стресса, вызванного как недостатком кислорода (в анаэробных условиях), что часто можно наблюдать при избыточном орошении, так и при большом дефиците влаги и высоких температурах воздуха (28°C и выше), а также при нарушении условий хранения клубней (образование конденсата) и др.

Источники инфекции на картофеле для бактерий из рр. *Dickeya*, *Pectobacterium*

Источниками инфекции для первого полевого поколения высших категорий семенного картофеля являются:

вода, содержащая бактериальную инфекцию (вода для орошения, почвенная влага, поверхностные воды; мелкие капли дождя; мелкие капли с куч выбракованных клубней картофеля);

насекомые, нематоды. Считается, что некоторые насекомые рода *Delia* могут переносить пектолитические бактерии с гниющих клубней на здоровые растения. Также фитопатогенные бактерии были обнаружены в большом количестве в насекомых *Hyalesthes obsoletus* (Hemiptera: Cixiidae) и *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) [15];

ризосфера дикорастущих и сельскохозяйственных растений (в особенности из семейства Крестоцвет-

ных). В дикорастущих растениях бактерии могут сохраняться в форме латентной инфекции;

контаминированная сельскохозяйственная техника, а также ящики для хранения, сортировщики и т. д.;

почвенная инфекция (дольше всего в почве сохраняется *P. carotovorum*, при сравнении с *P. atrosepticum* и *Dickeya* spp.). Потенциал почвенной инфекции зависит от множества биотических и абиотических факторов. Так, исследования в Нидерландах выявили, что изоляты *Dickeya* из картофеля и гиацинта выживали не более 7 дней, когда их добавили в различные почвы при 6°C и 50% влажности почвы. В то время как изоляты *Pectobacterium* выживали 42 дня. Но в целом почва является *Dickeya* и *Pectobacterium* неблагоприятной средой [15].

Установлено, что при ротации севооборота около 5 лет бактерии, вызывающие черную ножку, не выживают [11]. Показано, что монокультурное выращивание картофеля многократно увеличивает риск накопления картофельных цистообразующих нематод, грибов *Verticillium dahliae*, *Sclerotinia* sp., *Alternaria* sp., *Rhizoctonia solani*, оомицетов *Phytophthora infestans*, поражение которыми способствует инфицированию бактериальными фитопатогенами.

Оптимальными предшественниками картофеля для снижения уровня почвенной бактериальной и грибной инфекции являются озимая пшеница и викоовсяная смесь, которые не поражаются бактериальными и многими грибными фитопатогенами. Для снижения почвенной инфекции, а также пропагул многих сорняков широко популяризируется выращивание сидеральных культур в качестве биофумигантов (например, крестоцветные растения и сорго *Sorghum vulgare*) [1] и покровных культур. Однако проведение биофумигации с использованием вышеуказанных растений должно проводиться с соблюдением всех регламентов [1, 9], в противном случае результат может быть отрицательным. Грамотное проведение биофумигации с соблюдением всех регламентов способствует не только накоплению органического вещества в почве, но и усилению биологической активности антагонистических микроорганизмов [1, 9]. Кроме того, выращивание сидеральных культур прямо влияет на плодородие почвы благодаря улучшению ее характеристик (структура, мобильность и усвояемость некоторых элементов), уменьшает вымывание азота из почвы, а также уменьшает засоренность поля многими сорными растениями через конкуренцию с ними за питательные вещества и аллелопатическое взаимодействие⁵.

Основными источниками первичной инфекции для полевых поколений семенного картофеля (кроме первого) являются зараженные клубни (с симптомами или с латентной инфекцией).

⁵ Agriculture and Horticulture Development HDB (2023) Cover crops <https://ahdb.org.uk/>

Перечень известных растений-хозяев для основных видов *Pectobacterium* и *Dickeya* [15]

| Вид патогена | Растения-хозяева среди сельскохозяйственных культур |
|--|---|
| <i>Pectobacterium</i> spp. | |
| <i>P. atrosepticum</i> | Репа <i>Brassica rapa</i> , подсолнечник <i>Helianthus annuus</i> , баклажан <i>Solanum melongena</i> , картофель <i>Solanum tuberosum</i> , <i>Zantedeschia aethiopica</i> |
| <i>P. carotovorum</i> | <i>Abelmoschus esculentus</i> , чеснок <i>Allium sativum</i> , <i>Artemisia absinthium</i> , капуста огородная <i>Brassica oleracea</i> , <i>Cichorium intybus</i> , <i>Citrellus lanatus</i> , огурец <i>Cucumis sativus</i> , <i>Cynara cardunculus</i> , морковь обыкновенная <i>Daucus carota</i> , <i>Echonipsis chamaecereus</i> (syn. <i>Chamaecereus silvestrii</i>), <i>Fritillaria imperialis</i> , <i>Hawthoria</i> , <i>Ipomoea batatas</i> , <i>Kalanchoe tubiflora</i> , латук посевной <i>Lactuca sativa</i> , <i>Musa</i> sp., <i>Opuntia</i> sp., <i>Orostachys japonica</i> , <i>Orostachys malacophylla</i> , <i>Papaver somniferum</i> , <i>Peperomia obtusifolia</i> , <i>Peperomia caperata</i> , <i>Plectranthus australis</i> , <i>Pilea cadierei</i> , <i>Pinellia ternata</i> , <i>Rheum rhabarbarum</i> , <i>Silybum marianum</i> , <i>Saintpaulia ionantha</i> , томат <i>Solanum lycopersicum</i> , баклажан <i>Solanum melongena</i> , картофель <i>Solanum tuberosum</i> , <i>Spathiphyllum wallisii</i> , <i>Typhonium giganteum</i> |
| <i>P. brasiliense</i> | Свекла обыкновенная <i>Beta vulgaris</i> , капуста огородная <i>B. oleracea</i> , перец стручковый <i>Capsicum annuum</i> , <i>Citrullus lanatus</i> , огурец <i>C. sativus</i> , тыква обыкновенная <i>Cucurbita pepo</i> , <i>Cynara cardunculus</i> , <i>Neobuxbaumia tetetzo</i> , табак обыкновенный <i>Nicotiana tabacum</i> , редька посевная <i>Raphanus sativus</i> , томат <i>Solanum lycopersicum</i> , картофель <i>Solanum tuberosum</i> |
| <i>P. parmentieri</i> | Картофель <i>S. tuberosum</i> |
| <i>P. peruviansis</i> | Картофель <i>S. tuberosum</i> |
| <i>P. polaris</i> | Картофель <i>S. tuberosum</i> |
| <i>P. punjabense</i> | Картофель <i>S. tuberosum</i> |
| <i>P. versatile</i> | Лук-порей <i>Allium porrum</i> , капуста огородная <i>B. oleracea</i> , цикорий обыкновенный <i>Cichorium intybus</i> , артишок настоящий <i>Cynara scolymus</i> , хризантема <i>Chrysanthemum</i> sp., цикламен <i>Cyclamen</i> sp., морковь обыкновенная <i>D. carota</i> , гиацинт <i>Hyacinthus orientalis</i> , ирис <i>Iris</i> sp., латук посевной <i>L. sativa</i> , примула <i>Primula</i> sp., картофель <i>Solanum tuberosum</i> |
| <i>P. wasabiae</i> | Капуста огородная <i>B. oleracea</i> , <i>Eutrema japonicum</i> , <i>Ipomoea batatas</i> , томат <i>S. lycopersicum</i> , баклажан <i>Solanum melongena</i> |
| <i>Dickeya</i> spp. | |
| <i>D. aquatica</i> | Выделен из воды, морковь обыкновенная <i>D. carota</i> |
| <i>D. chrysanthemi</i> | <i>Agave cupreata</i> , хризантема <i>Chrysanthemum</i> sp., цикорий обыкновенный <i>C. intybus</i> , <i>Euphorbia</i> sp., <i>Kalanchoe</i> sp., <i>Parthenium</i> sp., баклажан <i>S. melongena</i> , <i>Vanda</i> sp. |
| <i>D. dadantii</i> subsp. <i>dadantii</i> и subsp. <i>dieffenbachiae</i> | <i>Amorphophallus konjac</i> , <i>Anubias barteri</i> , репа <i>B. rapa</i> , <i>Daucus carota</i> , <i>Euphorbia pulcherrima</i> , <i>Fragaria</i> sp., <i>Ipomoea batatas</i> , <i>Kalanchoe</i> sp., яблоня домашняя <i>Malus domestica</i> , <i>Malus pumila</i> , <i>Musa</i> sp., <i>Phalaenopsis aphrodite</i> , филодендрон <i>Philodendron</i> , сенполия <i>Saintpaulia ionantha</i> , картофель <i>Solanum tuberosum</i> , <i>Tagetes patula</i> , <i>Vanilla planifolia</i> , кукуруза <i>Zea mays</i> |
| <i>D. dianthicola</i> | Бегония Бертини <i>Begonia bertinii</i> , хризантема садовая <i>Chrysanthemum morifolium</i> , цикорий обыкновенный <i>C. intybus</i> , артишок настоящий <i>Cynara scolymus</i> , георгина <i>Dahlia</i> sp., гвоздика садовая <i>Dianthus caryophyllus</i> , гиацинт <i>Hyacinthus</i> sp., каланхоэ <i>Kalanchoe</i> sp., томат <i>Lycopersicon esculentum</i> , <i>Sedum</i> sp., картофель <i>S. tuberosum</i> |
| <i>D. paradisiaca</i> | <i>Musa</i> sp., картофель <i>S. tuberosum</i> |
| <i>D. solani</i> | Гиацинт восточный <i>Hyacinthus orientalis</i> , мускари <i>Muscari</i> sp., картофель <i>S. tuberosum</i> |
| <i>D. zeaе/D. oryzae</i> | <i>Ananas comosus</i> , <i>Asimina triloba</i> , <i>Calanthe</i> sp., <i>Canna edulis</i> , <i>Clivia miniata</i> , <i>Musa</i> sp., рис посевной <i>Oryza sativa</i> , <i>Setaria</i> sp., картофель <i>S. tuberosum</i> , кукуруза <i>Zea mays</i> |

Характеристика симптомов, вызванных бактериями *Dickeya* и *Pectobacterium* spp. на картофеле

Обнаружена прямая корреляция: чем выше содержание инфекционного агента в клубнях восприимчивых сортов, тем быстрее начинается загнивание клубней и появление симптомов черной ножки на растениях [16]. В условиях образования конденсата на поверхности клубней и при анаэробных условиях бактериальных клеток фитопатоген проникает в клубни. Далее он размножается в межклеточном пространстве, не вызывая при этом симптомов на клубнях. Затем при благоприятных условиях (температура выше +4°C, недостаток кислорода, высокая влажность), когда количество пектолитических бактерий становится значительным [13], начинают развиваться симптомы на клубнях (рис. 1).

Бактерии могут сохраняться на поверхности клубней, в межклеточном пространстве, в повреждениях (но не в субериновом слое) и чечевичках, а также, в меньшей степени, в силеме.

При этом с каждым последующим полевым поколением происходит накопление инфекции в клубнях.

Наиболее известным признаком заболевания на растениях картофеля является симптом «черная ножка» – когда основание стебля загнивает (при классической черной ножке) [13].

В начальной стадии развития симптомов черной ножки верхние листья пораженных побегов желтеют и начинают скручиваться краями наружу. Весь побег увядает и гибнет. Симптомы черной ножки появляются на любой стадии развития растения и могут сильно варьировать в зависимости от условий выращивания и биотических и абиотических факторов, которые могут оказывать влияние на развитие растений. Чаще других чернеет основание побега (классическая черная ножка), и при благоприятных условиях (высокой влажности) может загнивать весь побег, начиная от основания до его верхней части (рис. 2), из-за чего может погибнуть все растение.

При высокой влажности симптомы черной ножки одинаковы для *Pectobacterium* spp. (*P. atrosepticum*, *P. brasiliense*, *P. parmentieri*, *P. punjabense*) и *Dickeya* [15]. Сосудистая ткань пораженных сосудов в побегах часто буреет. При сухой погоде пораженные ткани стебля могут засыхать, область поражения затрагивает небольшую часть стебля на любой высоте, при этом могут увядать, усыхать листья и побуреть стебель. В прохладную погоду при развитии симптомов черной ножки увядания может не происходить.

Если заражение происходило через ранки на самом стебле при поверхностном орошении и большом количестве осадков и при повреждении насекомыми, формируется аэральная форма проявления черной ножки (рис. 3).



Рис. 1. Симптом «мягкая гниль» на клубне картофеля (© М.А. Кузнецова)



Pectobacterium atrosepticum (ERWIAf) - <https://gd.eppo.int>

Рис. 2. Симптом «классическая черная ножка» на картофеле



Рис. 3. Симптом «аэральная черная ножка» на картофеле (© М.А. Кузнецова).



Pectobacterium atrosepticum (ERWIAT) - <https://gd.eppo.int>

Рис. 4. Симптом «увядание» на растении картофеля

Типичным симптомом инфекции *D. solani* в жарком климате (>25°C) является медленное увядание верхушек у одного-двух стеблей, затем может увянуть целое растение (рис. 4), часто без видимых симптомов черной ножки. Увядание обычно происходит из-за закупорки сосудов ксилемы бактериальной массой и в дальнейшем сопровождается побурением сосудистой ткани у основания стебля.

Увядание и побурение сосудистой ткани может напоминать поражение, которое вызывает *Verticillium dahlia*, и происходит после орошения при жаркой погоде независимо от уровня обеспеченности растения влагой.

В случае небольшого количества инфекционного агента в клубне могут появиться всходы, но они будут отличаться от здоровых растений по высоте.

В целом спектр развития симптомов и степень их развития зависят от агрессивности возбудителя и условий окружающей среды.

Симптомы проявления бактериоза на клубнях могут быть разными в зависимости от срока заражения и локализации инфекции (загнивание столонного конца клубня, ямчатая гниль клубня и др.).

В качестве меры борьбы с накоплением и передачей инфекции у вегетирующих растений рекомендуется проведение не менее трех фитопатологических прочисток: в период вегетации необходимо удалять больные кусты с поля:

- 1-я прочистка должна проходить в период всходов при достижении растений высоты 25 см;
- 2-я – в момент цветения;
- 3-я – перед уборкой за 2–3 недели, пока ботва зеленая.

В целом для построения системы защитных мероприятий как на отдельном поле, так и в масштабе страны необходимы знания об источниках первичной и вторичной инфекций, сложившихся климатических условиях на местности и уровне устойчивости сорта⁶ картофеля.

Интегрированная борьба с бактериозами картофеля, вызванными бактериями *Dickeya* и *Pectobacterium* spp.

Основной мерой в интегрированной борьбе с бактериальной черной ножкой является использование сертифицированного семенного картофеля, в котором отсутствуют фитопатогены (без латентной инфекции). Отсутствие бактериальной инфекции⁷ в высших репродукциях семенного картофеля должно подтверждаться в аккредитованных лабораториях методами ПЦР или ИФА. Для получения здорового семенного картофеля высоких репродукций необходимо разви-

⁶ Potato Variety Database <https://potatoes.agricrops.org/>

⁷ ГОСТ 33996-2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. Код ОКС 65.020.20.

вать отечественное оригинальное и элитное семенное картофелеводство. Здесь полезно отметить, что в Великобритании для удобства пользователей поддерживаются перечни рекомендованных сортов (AHDB Recommended Lists) основных сельскохозяйственных культур в форматах буклета, онлайн-таблицы и приложения для смартфона⁸. В соответствии с Решением Европейской Комиссии (2004/3/EC) регионом со статусом High Grade Region⁹, в котором отсутствуют *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepidonicus*, *Ralstonia solanacearum* и *Dickeya*, является Шотландия, где поддерживается строгий фитосанитарный режим, а также выращивается и реализуется семенной картофель предбазисных и базисных категорий.

При посадке, уборке, сортировке картофеля необходимо избегать бактериальной контаминации рабочих органов техники, тары, картофелохранилищ и проводить их дезинфекцию [2, 10]. Рекомендуется обработка деревянных ящиков, в которых хранился картофель, паром под давлением с помощью промышленных пылесосов. Ящики можно высушивать на солнце, поскольку ультрафиолетовое излучение действует губительно на бактерии [10]. Пустые ящики не рекомендуется складывать друг на друга высотой больше чем 4 штуки. Ряды ящиков следует устанавливать с небольшим промежутком, что позволит ультрафиолету лучше проникать в каждый ящик [10]. Перед применением дезинфицирующих средств [2] рекомендуется предварительная очистка обрабатываемой поверхности от пыли, грязи и растительных остатков (желательно обработка рабочих поверхностей паром под давлением с помощью промышленных пылесосов), так как оставшийся на поверхности органический материал может снижать эффективность применения дезинфицирующих средств. После удаления органических остатков, пыли и грязи перед применением дезинфицирующих средств поверхность необходимо тщательно просушить (желательно сделать перерыв в несколько дней между этими мероприятиями). Проводить дезинфекцию хранилищ необходимо ежегодно. Выбор дезинфицирующего средства для обработки хранилища, из перечня рекомендованных средств, зависит от множества факторов (например, от типа обрабатываемой поверхности) и должен делаться индивидуально применительно к каждой конкретной ситуации.

Следует семенные клубни перед закладкой на хранение обрабатывать фунгицидами для снижения вредоносности грибных и оомицетных болезней.

⁸ The AHDB Recommended Lists <https://ahdb.org.uk/knowledge-library>

⁹ Commission Decision of 19 December 2003 authorising, in respect of the marketing of seed potatoes in all or part of the territory of certain Member States, more stringent measures against certain diseases than are provided for in Annexes I and II to Council Directive 2002/56/EC. Official Journal of the European Union. 2004;L2:47–9.

При выращивании картофеля необходимо применять агротехнические приемы, способствующие активному развитию растений картофеля и препятствующие накоплению и передаче инфекции в растениях, клубнях, а также в почве, сорной растительности и в водных источниках.

Необходимо улучшать систему для орошения на полях с тем, чтобы избегать создания анаэробных условий, благоприятных для развития бактериальных фитопатогенов.

Запрещается высаживать разрезанные клубни. Не рекомендуется глубокая посадка клубней, поскольку это может задержать и ослабить всходы.

Необходимо сбалансированное внесение органических и минеральных удобрений: для семенного картофеля соотношение N:P:K составляет 1:1–1,2:1,6–2; для продовольственного – 1:0,8–1:1,5–1,8. При этом целесообразно сбалансированно вносить минеральные удобрения не только по NPK, а также по кальцию и бору (желательно в форме легкорастворимых удобрений) и другим питательным элементам, чтобы обеспечить их наличие в зоне ризосферы для лучшей усвояемости.

Для определения точных норм внесения фосфорных, калийных и магниевых удобрений необходимо раз в 3–5 лет отбирать образцы для проведения агрохимического анализа в целях установления содержания питательных элементов в почве. Рекомендуется отбирать репрезентативные почвенные образцы сразу после уборки предшественника.

Европейскими учеными было проведено разделение почвы на категории с индексами от 0 до 9 в зависимости от агрохимических показателей почвы, в том числе содержания фосфора, калия и магния (мг/кг сухой почвы). Далее в зависимости от индекса почвы рассчитываются необходимые нормы внесения фосфора, калия и магния (P_2O_5 , K_2O , MgO) при планируемой урожайности в 50 т/га. Детальная таблица с индексами и нормами внесения этих минеральных удобрений приведена в соответствующей литературе на русском языке [4]. Там же дан пример расчета норм внесения данных удобрений при планируемой урожайности выше 50 т/га.

Что касается азота, то разные сорта картофеля обладают разной потребностью в этом макроэлементе, что надо учитывать при расчете нормы внесения минеральных удобрений. Точная норма внесения азотных удобрений зависит от предшественника, типа почвы и уровня обеспеченности поля влагой. При этом рекомендуется не превышать норму внесения азотных удобрений, так как это увеличивает содержание макроэлемента в растении и способствует излишнему росту вегетативной массы у растений, что повышает влажность внутри ботвы, а это в свою очередь увеличивает степень развития болезни.

Внесение азота часто проводят в два или три приема; при первом внесении перед посадкой – в объеме 60% общего количества, которое можно определить, основываясь на содержании в почве минерального азота весной; еще 20% – через неделю после формирования клубней. Недостаток азота в течение вегетационного периода можно откорректировать за счет дополнительного внесения КАС или мочевины. Из-за риска ожога листьев нельзя применять мочевину с концентрацией азота более 10–15 кг. Ее следует вносить в несколько приемов. При этом следует помнить, что картофель под орошением требует большего количества азота (на 10–15 кг/га, чем картофель без орошения).

Что касается внесения органических удобрений (навоза, компоста, жидких органических удобрений), то точная норма их внесения зависит от содержания в них питательных элементов (разные виды органических удобрений содержат их разное количество). Для определения содержания питательных элементов в органическом удобрении и в дальнейшем для расчета его точной нормы внесения с поправкой на внесенные минеральные удобрения необходимо проведение агрохимического анализа в лаборатории.

Перед уборкой картофеля необходимо удалять ботву. Уборку вызревших клубней необходимо проводить в сухую теплую погоду. Не следует убирать картофель во влажную погоду. При уборке следует избегать травмирования клубней. Сразу после уборки следует дать пройти клубням лечебный период (табл. 2), что позволит не только сформировать плотную кожуру, обеспечив защитный барьер против проникновения фитопатогенов, но и уменьшить потери влаги (и соответственно веса) в клубнях при хранении.

Время прохождения лечебного периода сильно зависит от температуры убранных клубней: при температуре ниже 5°C образование перидермы сильно тормозится, и хранящийся картофель может заразиться раневыми фитопатогенами. Поэтому рекомендованы оптимальные условия для прохождения лечебного периода: 14 дней при температуре +(12–14)°C.

В зависимости от предназначения картофеля должны соблюдаться определенные режимы хранения, которые необходимо подстраивать под каждый кон-

кретный случай. В целом в отношении болезней картофеля необходимо поддерживать микроклимат в хранилище, неблагоприятный для развития фитопатогенов и снижающий риск их развития. Рекомендуются следующие параметры хранения картофеля: температура воздуха 2–4°C при относительной влажности воздуха 85–90% и активная вентиляция. В качестве организационных мероприятий в хранилище необходимо раздельное хранение семенного и продовольственного картофеля. В хранилище необходимо поддерживать микроклимат, предотвращающий появление конденсата.

Помимо общепринятых традиционных мероприятий по борьбе с бактериозами на картофеле в мире активно изучается и постепенно внедряется в практику защиты растений применение эндофитных бактерий и грибов, живущих внутри растений, но не являющихся фитопатогенами. Эндофиты оказывают положительное комплексное влияние на растения: способствуют росту надземной части, развитию корневой системы, формированию корневых волосков, а также лучшему усвоению питательных веществ и отчасти отвечают за механизмы устойчивости к окислительному стрессу у растений. Общеизвестно, что растение существует как холобиом – совокупность эпифитного микробиома, эндобиома, а также ризосферного микробиома. И все эти многочисленные микроорганизмы оказывают взаимные влияния друг на друга. Внесение минеральных и органических удобрений, а также обработка средствами защиты растений сказывается на холобиоме растений. Отмечается, что особенно благоприятно на ризосферный микробиом влияет внесение органических удобрений (в том числе навоза и компоста).

Помимо этого в европейских странах изучается влияние антимикробных пептидов на фитопатогенные бактерии (их бактерицидное, бактериостатическое действие, а также действие на образование биопленок у фитопатогенов); индукторов иммунного ответа у растений, но пока в широкую практику защиты растений такие вещества не вошли.

Постепенно в европейских странах защита растений сдвигается в сторону управления микробиомами растений и почвы. Для борьбы с почвенной инфекцией многих фитопатогенов на различных хозяйствен-

Табл. 2

Период прохождения лечебного периода в зависимости от его продолжительности [2, 10]

| Температура клубней (°C) | Начальная суберинизация (дни) | Образование перидермы (дни) |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| < 5 | 7–14 | 21–42 |
| 10 | 4 | 7–14 |
| 20 | 1–2 | 3–6 |

но значимых сельскохозяйственных культурах рекомендуется проведение анаэробного обеззараживания, (био)соляризации, а также биофумигации почвы и выращивания покровных культур [1].

В целом современная интегрированная защита картофеля от бактериозов основывается на поддержании фитосанитарного состояния почвы, благоприятного для роста здорового картофеля (путем уничтожения в ней инфекции фитопатогенов и накопления органического вещества, что способствует повышению супрессивности почвы), на использовании семенно-

го картофеля, в котором отсутствуют бактериальные фитопатогены, и на создании условий, благоприятных для роста и развития картофеля. Для ее эффективно-го применения в масштабах как отдельного хозяйства, так и страны необходима разработка мероприятий в рамках интегрированной системы защиты с учетом передового опыта (выращивания сидеральных, покровных и биофумигирующих культур и других приемов) при развитии семеноводства картофеля, позволяющем получать семенной материал, в котором отсутствуют фитопатогены.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Ерохова МД, Кузнецова МА. Биофумигация почвы растениями из семейства Капустные. Защита и карантин растений. 2021;8:39-40.
2. Ерохова МД, Кузнецова МА. Система добровольной сертификации семенного картофеля в Великобритании. Защита и карантин растений. 2021;5:46-8.
3. Ерохова МД, Кузнецова МА. Опыт Великобритании в защите картофеля от бактериозов. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(2): 8-13.
4. Ерохова МД. Аспекты интегрированной защиты картофеля от болезней в современных условиях устойчивой интенсификации сельского хозяйства Европы. Биосфера. 2022;14(3):163-7.
5. Зейрук ВН, Жевора СВ, Васильева СВ, Белов ГЛ, Долженко ВИ, Кузнецова МА, Анисимов БВ, Еланский СН. Атлас болезней, вредителей, сорняков картофеля и мероприятия по борьбе с ними. Москва: Наука; 2020.
6. Игнатов АН, Джалилов ФС, Карлов АН, Карандашев ВЕ, Князькина МС, Пехтерева ЭШ. Распространение возбудителей бактериозов картофеля в РФ. Картофель и овощи. 2014;8:32-3.
7. Игнатов АН, Лазарев АМ, Панычева ЮС, Проворов НА, Чеботарь ВК. Бактериальные патогены картофеля рода *Dickeya*: мини-обзор по систематике и этиологии заболеваний. Сельскохозяйственная биология. 2018;53(1):123-31.
8. Кузнецова МА. Защита картофеля. Защита и карантин растений. 2007;5:62-104.

Общий список литературы/References

1. Yerokhova MD, Kuznetsova MA. [Soil biofumigation with brassica green manure crops]. Zashchita i Karantin Rasteniy. 2021;8:39-40. (In Russ.)
2. Yerokhova MD, Kuznetsova MA. [The system of voluntary certification of seed potatoes in the

United Kingdom]. Zashchita i Karantin Rasteniy. 2021;5:46-8. (In Russ.)

3. Yerokhova MD, Kuznetsova MA. [UK experience in potato protection against bacterial diseases]. Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK. 2022;36(2):8-13. DOI 10.53859/02352451_2022_36_2_8. (In Russ.)
4. Yerokhova MD, Kuznetsova MA. [Aspects of integrated disease management for potato under current conditions of sustainable intensification of agriculture in Europe]. Biosfera. 2022;14(3):163-7.
5. Zeiruk VN, Zhevora SV, Vasilyeva SV, Belov GL, Dolzhenko VI, Kuznetsova MA, Anisimov BV, Yelansky SN Atlas. [Atlas Bolezney, Vrediteley, Sorniakov Kartofelia i Meropriyatiya po Borbe s Nimi]. [Atlas of Diseases, Pests, and Weeds of potatoes and Practices for Pest Management]. Moscow: Nauka; 2020.
6. Ignatov AN, Dzhalilov FS, Karlov AN, Karandashov VE, Kniyzkina MS, Pekhtereva ESh. [Emerging bacterial pathogens of potato]. Kartofel i Ovosch. 2014;8:32-3. (In Russ.)
7. Ignatov AN, Lazarev AM, Panycheva YuS, Provorov NA, Chebotar VK. [Potato phytopathogens of the genus *Dickeya* – a mini review of systematics and etiology of diseases]. Selskokhoziaystvennaya Biotekhnologiya. 2018;53(1):123-31. DOI 10.15389/agrobiology.2018.1.123rus. (In Russ.)
8. Kuznetsova MA. [Potato protection]. Zashchita i Karantin Rasteniy. 2007;5:62-104. (In Russ.)
9. Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB). Biofumigation for Management of Potato Cyst Nematodes (PCN). 2019.
10. Agriculture and Horticulture Development Board. Potato Store Managers Guide, third edition. 2018.
11. de Werra P, Kopp C, Häberli M, Stöcker I, Keil A, Debonneville C, Oberhänsli T, Altenbach D, Keiser A. Monitoring potato seed lots to control blackleg in fields in Switzerland and southern Germany. Plant Pathol. 2020;69:1331-46.

