

УДК 634.11:634.1.055:632.4

**УСТОЙЧИВОСТЬ КЛОНОВЫХ ПОДВОЕВ ЯБЛОНИ
К ПОЧВЕННЫМ ПАТОГЕННЫМ МИКРООРГАНИЗМАМ
В МНОГОЛЕТНИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ**

Дубровский Максим Леонидович

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией
element68@mail.ru

Папихин Роман Валериевич

кандидат сельскохозяйственных наук, начальник научного центра
parom10@mail.ru

Кружков Андрей Викторович

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Crujkov@yandex.ru

Чурикова Наталия Леонидовна

кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник
Мичуринский государственный аграрный университет
г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные условия и тенденции, приводящие к развитию корневых гнилей в условиях производственного плодового сада, которые способствуют развитию болезни пересадки яблони (ARD). Отмечены основные направления при повышении устойчивости насаждений яблони к данной болезни.

Ключевые слова: яблоня, клоновые подвои, интенсивное садоводство, болезнь повторного возделывания яблони (ARD), фитопатогенные микроорганизмы, производственный плодовый сад.

Яблоня (*Malus domestica* Borkh.) является одной из важнейших и наиболее распространенных плодовых культур в мире. Для увеличения производства ее плодов постоянно разрабатываются и совершенствуются технологии питомниководства и интенсивного садоводства, селекции новых устойчивых сортов, а также долговременного хранения урожая [1, 3]. Основная тенденция современного садоводства во всем мире состоит в интенсификации возделывания плодовых культур, заключающейся в создании насаждений с высокой плотностью размещения деревьев, широкому применению механизированных технологий ухода за растениями в саду и автоматизированных технических средств, постоянной поддержке оптимальных условий для роста и развития растений (ежегодная обрезка и искусственное нормирование урожая, контроль болезней и численности вредителей, фертигация и капельное орошение для сохранения постоянной влажности почвы и др.) [2, 4-8].

При ежегодном увеличении площади насаждений яблони во многих регионах мира наблюдается возрастание дефицита плодородных земель, пригодных для закладки и многолетнего возделывания сада. Кроме того, современные интенсивные насаждения плодовых культур требуют создания значительного количества специализированных объектов инфраструктуры, обеспечивающих технологический потенциал агропромышленного производства и способствующих стабильному повышению продуктивности и урожайности деревьев. Именно поэтому, после окончания планового срока эксплуатации производственных плодовых насаждений, составляющего около 12-15 лет для суперинтенсивного и 15-20 лет для интенсивного сада, и их раскорчевки освободившийся земельный участок как правило не рекультивируют из-за значительных затрат, а сразу повторно используют для высадки саженцев, после чего начинается новый многолетний цикл производства плодов. С одной стороны, это способствует сохранению большинства существующих объектов инфраструктуры плодового сада и существенно повышает экономическую эффективность использования земельных территорий. Однако подобная тенденция интенсификации

производственных технологий садоводства способствует увеличению темпов эксплуатации природных ресурсов, и в первую очередь почвы, что в длительной перспективе приводит к нарушению устойчивости агроценоза плодового сада. Одной из причин снижения продуктивности новых насаждений является почвоутомление и отсутствие соблюдения ее плановой рекультивации.

В данном случае при долговременном возделывании растений на одной территории (в течение нескольких десятилетий) часто наблюдают симптомы болезни повторного возделывания яблони (общепринятый зарубежный термин этого негативного явления «ARD – apple replant disease»). Хотя симптомы данной болезни отмечены во многих странах мира, до сих пор не существует единой классификации ее определения и условий протекания, полного списка возбудителей, а также способов лечения и профилактики. Значительную роль в развитии болезни повторного возделывания яблони играют экологические особенности сообществ почвенных микроорганизмов, среди которых есть фитопатогенные виды. Разработка стратегии борьбы с данной болезнью заключается в направленном управлении сообществами почвенной микрофлоры и предотвращении преобладания фитопатогенных видов в микробиоме [13].

Болезнь ARD является всемирной проблемой для плодопитомников и яблоневого сада. Ее причины до сих пор полностью не изучены, а экономически осуществимых и устойчивых мер предотвращения и профилактики не существует. Для проведения комплексных исследований по выяснению этиологии болезни повторного возделывания яблони в эксперименте были использованы несколько типов земельных участков с разными характеристиками почвы – контрольный со здоровой почвой, где никогда не выращивали растения яблони, и территории с длительно выращиваемыми и раскорчеванными садами с зараженной фитопатогенами почвой. При этом следует учитывать физико-механическую структуру различных почв – от супесчаных до суглинистых, так как она оказывает прямое влияние на развитие микрофлоры локальных агроценозов. Проведение на участках неинвазивного зондирования почвы методами ЕМІ и гамма-спектрометрии помогло обеспечить однородность условий выращивания и

исключить необъяснимые эффекты ARD из-за мелкомасштабной неоднородности почвы. При экспериментальных исследованиях было отмечено отрицательное влияние всех типов почв на участках с ранее произраставшими садами на развитие безвирусных растений полукарликового клонового подвоя M26, ранее размноженных в условиях *in vitro*. При обеззараживании данных почв наиболее эффективным способом оказалось применение гамма-облучения, а высаженные на них подвой характеризовались значительным приростом биомассы. Воздействие на почву ультрафиолетом оказалось менее эффективным. На всех типах почв, зараженных фитопатогенами, было установлена отрицательная корреляция между интенсивностью симптомов ARD и содержанием глины в почве, а также положительная корреляция степени проявления болезни у плодовых деревьев с отношением содержания в почве углерода и азота [11].

Основные внешние симптомы болезни ARD заключаются в сильном подавлении роста и снижении урожайности и качества плодов у растений яблони после их повторной посадки на том же участке, где ранее произрастали ее деревья. Эти симптомы одинаковы во всех мировых районах выращивания яблони. Причины этого сложного явления до сих пор плохо изучены, что отчасти связано с несоответствиями в терминах и методологиях исследований. Установлено, что выращивание предыдущих насаждений яблони на одном участке способствует усилению физиологической и морфологической реакции растений на сложившийся комплекс почвенных микроорганизмов, среди которых некоторые виды имеют патогенное действие. основополагающие взаимодействия корневой системы растений и почвенных микроорганизмов находятся в сложной взаимосвязи, выявление которой выходит за рамки обычных аналитических инструментов в микробной экологии. На данную взаимосвязь влияют физико-химические свойства почвы, организмы-переносчики и целые трофические каскады, а также специфические для генотипа растений эффекты на вторичный метаболизм, особенно на биосинтез фитоалексина [9]. При постоянном технологическом совершенствовании современного микробиологического оборудования становится возможным

изучение процессов, происходящих на границе раздела корневой ризосферы.

При исследовании этиологии и причин возникновения ARD в производственных садах Южной Африки, был установлен состав сообществ почвенных микроорганизмов. Из всех образцов исследованных почв в качестве основных были выделены фитопатогенные грибы родов *Pythium*, *Fusarium*, *Cylindrocarpon* и в меньшей степени – *Rhizoctonia* spp., что указывает на их потенциальную роль в развитии данной болезни [15].

Молекулярно-генетические исследования устойчивости к возбудителям различных корневых гнилей у представителей рода *Malus* Mill. до недавнего времени не проводились, а основная оценка форм яблони была проведена в ряде экспериментов различных исследователей по анализу фенотипов. При выявлении молекулярных механизмов устойчивости клеток корней яблони к *Pythium ultimum* – важнейшему возбудителю в комплексе почвенных патогенов, вызывающих болезнь ARD, была изучена реакция корневой системы растений яблони на его действие. Показатели выживаемости растений яблони и уровень снижения их биомассы зависели от генотипа и соответствовали микроскопическим особенностям картины прогрессирования некроза по длине инфицированных корней. Наличие четко выраженных границ, разделяющих здоровые и пораженные участки корня у устойчивых генотипов, вероятно, вызывало замедление некротизации тканей. У восприимчивых форм яблони отмечено быстрое прогрессирование некроза тканей и обильный рост гиф *P. ultimum* вдоль инфицированных корней. Поэтому для разработки стратегий создания высокоустойчивых интенсивных насаждений отмечена необходимость выявления точных механизмов генетической устойчивости яблони к *P. ultimum* [16].

В условиях эксперимента у сеянцев яблони от свободного опыления сорта Северный разведчик (Northern Spy) отмечена серьезная задержка роста и обесцвечивание корней при выращивании в обеззараженной полевой почве с добавлением 5% (по объему) необработанной почвы, полученной из сада с длительным выращиванием плодовых деревьев и отмеченными случаями наличия у них корневых гнилей и симптомов болезни ARD. Выделение

патогенных грибов из обесцвеченных сегментов корней в разные промежутки времени было непостоянным. Однако при выращивании проростков в смеси стерильной и необработанной почв из их корней неизменно выделяли фитопатогенные грибы *Cylindrocarpon lucidum* и *Pythium irregulare*, которые обычно обнаруживались в пораженной области растительных тканей черного или оранжевого цвета соответственно. Оба гриба оказывали патогенное действие на развития проростков яблони в специализированных ростовых камерах [12].

Все мероприятия по преодолению ингибирования плодовых растений в условиях почвоутомления можно условно разделить на два направления – селекция устойчивых форм и снижение патогенной активности почв.

Большинство клоновых подвоев яблони, используемых в современном мировом интенсивном садоводстве, восприимчивы к болезни повторного возделывания, что отрицательно сказывается на продуктивности и товарно-потребительском качестве плодов в таких насаждениях. В связи с этим, важнейшей производственно-экономической задачей является использование подвоев, толерантных к болезни ARD. Степень устойчивости растений яблони к почвенным фитопатогенам было предложено оценивать по индексу восприимчивости ASI, рассчитываемому на основе увеличения биомассы и длины побегов, соответственно, после культивирования каждого генотипа как в зараженной, так и в дезинфицированной почве. Установлено, что некоторые новые клоновые подвои яблони (например, G.210 или G.30) обладают повышенной устойчивостью к комплексу почвенных фитопатогенов, которые они, возможно, унаследовали от используемых при их получении дикорастущих видовых форм, таких как *M. × robusta* 5. Это подтверждает важность дикорастущих видов яблони как генетического ресурса для селекции клоновых подвоев. Большое значение при этом имеет выявление генетических механизмов проявления устойчивости к болезни ARD, а создание соответствующих молекулярных маркеров для диагностики целевых генов будет способствовать значительному повышению эффективности селекционного процесса [10].

Деревья яблони сорта Champion на клоновых подвоях P59 и P60 оказались

наиболее чувствительными к почвоутомлению, а на подвоях Р2 и 62-396 проявляли наибольшую устойчивость к болезни повторного возделывания [14].

Помимо стандартных селекционных методов по получению новых высокоустойчивых клоновых подвоев большие научные перспективы имеют технологии геномного редактирования, в том числе CRISPR/Cas9 [16].

При разработке стратегий профилактики хронического почвоутомления в плодоводстве предлагается в первую очередь способствовать улучшению фаунистического разнообразия почвы (в том числе микробного сообщества) и качества среды обитания растений, а не проводить дезинфекцию почвы химическими или физическими методами [9]. Следует учитывать, что реализация данных направлений требует значительных знаний, средств и длительного времени. При добавлении в зараженную фитопатогенами почву органических субстратов (компоста), не содержащих возбудителей данной болезни, удалось снизить ингибирование роста высаженных растений яблони. Было установлено, что концентрация в почве патогенных микроорганизмов при этом снизилась с в 4 раза – до 25%. Данный эксперимент был проведен в вегетационных сосудах с различными почвосмесями. Дальнейшая проверка выявленного способа в условиях производственных интенсивных садов продемонстрировало положительный эффект добавления компоста в базовую почву на рост плодовых деревьев на протяжении двух лет. Использование данного способа имеет большие перспективы из-за отсутствия токсической нагрузки на агроценоз в отличие от других методов обеззараживания почвы – фумигации, обработки некоторыми химическими соединениями и др. [15].

Таким образом, при невозможности проведению базовых технологических мероприятий по рекультивации почвы на территории раскорчеванных садов их повторную закладку рекомендуется осуществлять с использованием клоновых подвоев, высокоустойчивых к почвенным фитопатогенным микроорганизмам.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания МСХ РФ «Селекция зимостойких слаборослых клоновых подвоев с использованием методов биотехнологии» на 2021 г. (№ госрегистрации АААА-А21-121011190007-9).

Список литературы:

1. Горячев, И.О. Изучение лежкости яблок различных сортов / И.О. Горячев, А.Ю. Меделяева, Е.Н. Лисова // Наука и Образование. - 2020. - Т. 3. - № 3. - С. 252.
2. Интенсивные сады яблони средней полосы России: монография / Ю.В. Трунов, В.А. Гудковский, Н.Я. Каширская [и др.]. - Воронеж, 2016. – 192 с.
3. Калинина, Т.Г. Озонирование плодов яблони при хранении / Т.Г. Калинина, А.Ю. Меделяева, Е.Н. Лисова // Наука и Образование. - 2020. - Т. 3. - № 2. - С. 322.
4. Концепция научных исследований «Садоводство будущего» / Ю.В. Трунов, А.А. Завражнов, И.М. Куликов, А.И. Завражнов // Плодородие. - 2019. - № 1 (106). - С. 51-55.
5. Перспективные клоновые подвои яблони для интенсивных садов / Ю.В. Трунов, А.В. Соловьев, Р.В. Папихин [и др.] // Садоводство и виноградарство. - 2020. - № 2. - С. 34-40.
6. Современные критерии обновления системы ведения садоводства в сельскохозяйственных организациях / М.В. Придорогин, А.С. Гордеев, А.В. Верзилин [и др.] // Плодоводство и ягодоводство России. - 2019. - Т. 58. - С. 327-340.
7. Трунов, Ю.В. Некоторые особенности сортимента яблони для промышленных садов центрально-черноземной зоны России / Ю.В. Трунов, А.В. Соловьев, Е.М. Цуканова // Плодоводство и ягодоводство России. - 2017. - Т. 48. - № 1. - С. 268-271.
8. Трунов, Ю.В. Промышленный сортимент яблони для средней полосы России / Ю.В. Трунов, А.В. Соловьев // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. - 2018. - № 13. - С. 459-462.
9. Apple Replant Disease: Causes and Mitigation Strategies / T. Winkelmann, K. Smalla, W. Amelung et al. // Current Issues in Molecular Biology. – 2018. – V. 30. – P. 89-106.
10. Evaluation of Malus genetic resources for tolerance to apple replant

disease (ARD) / S. Reima, C. Siewert, T. Winkelmann [et al.] // *Scientia Horticulturae*. – 2019. – Vol. 256. – Is. 10. – URL: <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.05.044> (дата обращения 17.02.2021).

11. Induction and diagnosis of apple replant disease (ARD): a matter of heterogeneous soil properties? / F. Mahnkopp, M. Simon, E. Lehdorff [et al.] // *Scientia Horticulturae*. – 2018. – Vol. 241. – P. 167-177.

12. Jaffee, B.A. Fungi associated with roots of apple seedlings grown in soil from an apple replant site / B.A. Jaffee, G.S. Abawi, W.F. Mai // *Plant Disease*. – 1982. – Vol. 66. – No. 10. – P. 942-944.

13. Mazzola, M. Apple replant disease: role of microbial ecology in cause and control / M. Mazzola, L.M. Manici // *Annu. rev. of phytopathology* / Ed. N.K. Van Alfen. – Palo Alto (Calif.). – 2012. – Vol. 50. – P. 45-65.

14. Soil exhaustion and rootstock effect on the growth of apple planting material / D. Kviklys, J. Lanauskas, J. Sakalauskaite [et al.] // *Agronomy Research*. – 2008. – Vol. 6. – Is. 2. – P. 511-516.

15. Van Schoor, L. Characterisation of apple replant disease under South African conditions and potential biological management strategies / L. van Schoor; S. Denman; N.C. Cook // *Scientia Horticulturae*. – 2009. – Vol. 119. – Is. 2. – P. 153-162.

16. Zhu, Y. A systematic analysis of apple root resistance traits to *Pythium ultimum* infection and the underpinned molecular regulations of defense activation / Y. Zhu, M. Saltzgeber // *Horticulture Research*. – 2020. – Vol. 7. – Is. 62. – 11 p.

UDC 634.11:634.1.055:632.4

**RESISTANCE OF APPLE CLONAL ROOTSTOCKS
TO SOIL PATHOGEN MICROORGANISMS IN ORCHARDS**

Dubrovsky Maxim Leonidovich

Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory
element68@mail.ru

Papikhin Roman Valerievich

Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Scientific Center
parom10@mail.ru

Kruzhkov Andrey Viktorovich

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher
Crujkov@yandex.ru

Churikova Natalia Leonidovna

Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher
Michurinsk State Agrarian University
Michurinsk, Russia

Annotation. The main conditions and tendencies leading to the development of root rot in the apple orchards, which contribute to the development of apple replant disease (ARD), were considered. The main directions for increasing the resistance of apple plantings to this disease were noted.

Key words: apple tree, clonal rootstocks, intensive gardening, apple replant disease (ARD), phytopathogen microorganisms, orchards.