

Р.Т. Кенжебекова^{1,2} , **А.С. Мендыбаева²** ,
А.И. Капытина² , **Д.А. Гриценко^{2*}** 

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

²«Институт биологии и биотехнологии растений», Казахстан, г. Алматы

*e-mail: d.kopytina@gmail.com

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СМЕШАННЫХ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ КАРТОФЕЛЯ В АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА

Исследование посвящено анализу распространения вирусных инфекций картофеля в Алматинской области Казахстана. Работа подчеркивает значимость проблемы вирусных заболеваний картофеля, учитывая их влияние на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Цель исследования – выявить наиболее распространенные вирусы, такие как Potato virus Y (PVY), Potato virus S (PVS), Potato virus M (PVM) и Potato leafroll virus (PLRV), провести анализ коинфекций и оценку распространенности вирусов, а также оценить их воздействие на картофельные культуры.

В ходе исследования были обнаружены наиболее распространенные вирусы, которые приводят к потере урожая и ухудшению качества картофеля. Для изучения влияния коинфекций вирусов на симптомы заболевания использовался синергетический эффект. Исследование имеет значительный научный и практический смысл. Научная ценность работы заключается в том, что она расширяет наши знания о том, как вирусные инфекции распространяются в Алматинской области и как они влияют на сельскохозяйственную продукцию. Предоставление фермерам и сельскохозяйственным предприятиям рекомендаций по контролю и борьбе с вирусными инфекциями имеет практическое значение.

В работе использован молекулярный метод для диагностики вирусных инфекций – RT-PCR для обнаружения РНК вирусов в образцах листьев. Результаты исследования включают обнаружение наиболее распространенных вирусов картофеля, таких как PVY, PVS, PVM и PLRV; определение уровня коинфекций вирусов, который приводит к усилению симптомов заболеваний и снижению урожайности.

Результаты исследования позволяют улучшить понимание распространенности и воздействия вирусных инфекций на картофельные культуры в регионе. Полученные данные способствуют разработке комплексных стратегий борьбы с вирусами. Практическое значение работы выражается в возможности улучшить методы контроля за вирусными инфекциями и увеличить эффективность сельскохозяйственного производства за счет применения устойчивых сортов картофеля и усиления мониторинга фитосанитарного состояния.

Ключевые слова: картофель, вирусы, молекулярная диагностика.

R.T. Kenzhebekova^{1,2}, A.S. Mendybayeva², A.I. Kapytina², D.A. Gritsenko^{2*}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

²Institute of Plant Biology and Biotechnology, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: d.kopytina@gmail.com

Distribution of mixed viral infections of potato in the Almaty region of Kazakhstan

The study is dedicated to analyzing the spread of viral infections in potato crops in the Almaty region of Kazakhstan. The research highlights the significance of potato virus diseases, considering their impact on crop yield and the quality of agricultural products. The aim of the study is to identify the most common viruses, such as Potato virus Y (PVY), Potato virus S (PVS), Potato virus M (PVM), and Potato leafroll virus (PLRV), to analyze coinfections and assess the prevalence of these viruses, as well as to evaluate their impact on potato crops.

Throughout the research, the most prevalent viruses that lead to crop loss and decreased potato quality were identified. The study utilized the synergistic effect of virus coinfections on disease symp-

toms to assess their impact. The research holds significant scientific and practical value. Its scientific significance lies in expanding our knowledge of how viral infections spread in the Almaty region and how they affect agricultural production. Providing farmers and agricultural enterprises with recommendations for controlling and combating viral infections has practical importance.

The work employed a molecular method for diagnosing viral infections—RT-PCR for detecting virus RNA in leaf samples. The research results include the detection of the most prevalent potato viruses, such as PVY, PVS, PVM, and PLRV; determining the level of virus coinfections, which leads to increased disease symptoms and reduced yield.

The results of the study enhance understanding of the prevalence and impact of viral infections on potato crops in the region. The data obtained contribute to the development of comprehensive strategies for combating viruses. The practical value of the work is expressed in the possibility of improving methods for controlling viral infections and increasing the efficiency of agricultural production through the use of resistant potato varieties and enhanced phytosanitary monitoring.

Key words: potato, viruses, molecular diagnostics.

Р.Т. Кенжебекова^{1, 2}, А.С. Мендыбаева², А.И. Капытина², Д.А. Гриценко^{2*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

²Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: d.kopytina@gmail.com

Қазақстанның Алматы облысында картоптың аралас вирустық инфекцияларының таралуы

Зерттеу Қазақстанның Алматы облысында картоп вирустық инфекциясының таралуын талдауға арналған. Жұмыста картоптың вирустық ауруларының ауыл шаруашылығы өнімдерінің шығымдылығы мен сапасына тигізетін әсерін ескере отырып, проблемасының маңыздылығы атап өтілген. Зерттеудің мақсаты – картоп вирусы Y (PVY), картоп вирусы S (PVS), картоп вирусы M (PVM) және картоп жапырағы вирусы (PLRV) сияқты ең көп таралған вирустарды анықтау, бірлескен инфекцияларды талдау және бағалау. вирустардың таралуы және олардың картоп дақылдарына әсерін бағалау.

Зерттеу нәтижесінде егіннің жоғалуына және картоп сапасының нашарлауына әкелетін ең көп таралған вирустар анықталды. Синергетикалық әсер вирустық коинфекциялардың ауру белгілеріне әсерін зерттеу үшін пайдаланылды. Зерттеудің маңызды ғылыми және практикалық мәні бар. Жұмыстың ғылыми құндылығы оның Алматы облысында вирустық инфекциялардың қалай таралатыны және олардың ауылшаруашылық өнімдеріне қалай әсер ететіні туралы білімімізді кеңейтуінде. Фермерлер мен ауылшаруашылық кәсіпорындарына вирустық инфекцияларды бақылау және басқару бойынша нұсқаулар берудің практикалық мәні бар.

Жұмыста вирустық инфекцияларды диагностикалаудың молекулалық әдісі қолданылды – жапырақ үлгілеріндегі РНҚ вирустарын анықтау үшін RT-ПТР. Зерттеу нәтижелері PVY, PVS, PVM және PLRV сияқты ең көп таралған картоп вирустарын анықтауды қамтиды; ауру белгілерінің күшеюіне және өнімділіктің төмендеуіне әкелетін вирустық коинфекциясының деңгейін анықтау.

Зерттеу нәтижелері біздің аймақтағы картоп дақылдарына вирустық инфекциялардың таралуы мен әсері туралы түсінікті жақсартады. Нәтижелер вируспен күресудің кешенді стратегияларын жасауға ықпал етеді. Жұмыстың практикалық маңыздылығы вирустық инфекциялармен күресу әдістерін жетілдіру және картоптың төзімді сорттарын пайдалану арқылы ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыру және фитосанитарлық жағдайға мониторингті күшейту мүмкіндігінде көрінеді.

Түйін сөздер: картоп, вирустар, молекулалық диагностика.

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum*) — основной продукт питания мирового значения, родом из южноамериканских Анд. Он был одомашнен примерно 7 000–10 000 лет назад, а его завоз в Европу в 16 веке ознаменовал начало его

глобального распространения. Сегодня она занимает четвертое место в мире по величине продовольственной культуры после кукурузы, пшеницы и риса благодаря своей способности адаптироваться к разнообразному климату и почвам, высокой питательной ценности и способности быстрее производить более питательную

пищу на меньшем количестве земли, чем любая другая культура. Картофель играет решающую роль в мировом сельском хозяйстве, продовольственной безопасности и является ключевым компонентом в борьбе с голодом и бедностью [1].

В недавних исследованиях ландшафт выращивания картофеля и его продуктивность были проанализированы с акцентом на различные регионы, сорта и влияние болезней. Примечательно, что исследования показывают, что выращивание картофеля имеет важное значение в Казахстане, причем различные факторы влияют на его стабильность и продуктивность. К таким факторам относятся уровень агротехники, потери при хранении и логистике, недостаточные объемы внесения удобрений. Подчеркнуто, что необходима разработка и реализация программ поддержки производителей картофеля, наращивание семеноводства с акцентом на высокоурожайные, засухоустойчивые и устойчивые к болезням отечественные сорта, а также дополнительные инвестиции для повышения уровня интенсификации, улучшения качества продукции и повысить конкурентоспособность [2].

Кроме того, было показано, что внедрение технологий точного земледелия при производстве семян значительно повышает урожайность и качество клубней картофеля в Северном Казахстане. В ходе исследования были представлены данные об урожайности и качестве клубней безвирусных сортов картофеля, что указывает на перспективное направление повышения качества семян и общей эффективности производства [3].

В другом исследовании, проведенном на Северо-Востоке Казахстана, оценивалось развитие и продуктивность сортов картофеля, селекционированных в Казахстане, выявлялись сорта, пригодные для выращивания в регионе по урожайным характеристикам и устойчивости к болезням и вредителям [4].

Распространенность рекомбинантных штаммов вируса картофеля Y (PVY) в Восточно-Казахстанской области подчеркивает острую необходимость исследований и разработки эффективных стратегий по снижению распространения этих штаммов. Этот вопрос подчеркивает важность внедрения инновационных технологий и выведения устойчивых сортов картофеля для повышения устойчивости производства [5].

Эти результаты предполагают многогранный подход к улучшению выращивания картофеля в Казахстане, включающий технологические достижения, селекцию сортов и борьбу с болезнями, чтобы удовлетворить местные потребности и повысить экспортный потенциал [6].

Вирусы представляют собой серьезное биологическое препятствие при выращивании картофеля. За прошедший век, начиная с обнаружения первых вирусов картофеля, наше понимание этих возбудителей болезней значительно углубилось. Эти знания особенно расширились за последние десять лет благодаря прогрессу в технологиях высокопроизводительного секвенирования в исследовании фитовирусологии [7].

Среди них вирусные инфекции представляют собой значительные проблемы, приводя к значительным ежегодным потерям. Было идентифицировано около 40 вирусов картофеля, наиболее вредоносными из которых являются PLRV, PVM, PVS, PVX и PVY [6]. Эти вирусы могут распространяться через таких насекомых, как тля, цикадки, белокрылки и нематоды, а также через механический контакт и иногда через пыльцу и семена [7-12].

Картофельные растения могут испытывать первичные и вторичные вирусные инфекции. Первичная инфекция происходит во время вегетационного периода, когда вирус распространяется от инфицированных к здоровым стеблям, накапливаясь в клубнях, хотя некоторые из них остаются неинфицированными. Вторичная инфекция включает систематическое перемещение вируса от материнского клубня ко всему растению, затрагивая все дочерние клубни. Симптомы вирусной инфекции включают различные мозаичные узоры, некроз, завивание листьев и верхушечную розетку. Однако эти симптомы не всегда являются заметными или выраженными, что затрудняет точное определение конкретных вирусов на основе внешних признаков [7, 8].

Вирус Y картофеля (PVY) является значительным глобальным патогеном, поражающим картофель. Он известен своей нитевидной, извилистой формой и одноцепочечной РНК-геномом. PVY в основном передается тлей и также может распространяться механически. Он может значительно снизить урожайность картофеля, иногда до 40%, а при сочетании с другими вирусами потери могут быть еще выше. PVY имеет несколько штаммов, каждый из которых

характеризуется различными биологическими свойствами и симптомами [13, 14].

Вирус S картофеля (PVS) широко распространен в картофельных культурах, известен своим бессимптомным или слабо выраженным воздействием, что затрудняет его обнаружение. Это Carlavirus, передающийся через вегетативное размножение и контакт между растениями, и может способствовать снижению урожайности, особенно при смешанных инфекциях [15-17].

Вирус M картофеля (PVM), принадлежащий к роду Carlavirus, передается вегетативно через клубни и механически. Хотя обычно он вызывает незначительные потери урожая, он может привести к значительному снижению урожайности, в диапазоне от 10 до 40%, особенно при смешанных инфекциях. PVM вызывает симптомы, такие как мраморность, мозаичные узоры, морщинистость и завивание листьев [18, 19].

Вирус скручивания листьев картофеля (PLRV) вызывает до 90% потерь урожая во всем мире. Он снижает урожайность на 20-60% и более вреден при сочетании с другими вирусами. PLRV с его одноцепочечным геномным РНК в основном переносится тлей *Myzus persicae* и может распространяться через клубни, используемые для посадки [20, 21].

В совокупности эти вирусы представляют сложную проблему для культивирования картофеля, требуя всеобъемлющих стратегий их контроля для минимизации их влияния на глобальное и локальное производство картофеля.

Целью работы являлось проведение диагностики локального сорта картофеля, распространенного в Алматинской области, при помощи молекулярных методов на наличие смешанных вирусных инфекций.

Материалы и методы исследования

Биологическим материалом для исследований являлись листья побегов локального сорта картофеля, наиболее широко выращиваемого в Алматинской области. Было собрано 79 образцов, имеющих те или иные симптомы заражения вирусной инфекцией.

РНК выделяли из 250 мг замороженного при -80°C растительного материала, включая фрагменты листьев и молодых побегов. Образцы измельчались в гомогенизаторе Beadbug

6 microtube homogenizer (Benchmark, США) в присутствии 1 мл предварительно нагретого (примерно до $60-65^{\circ}\text{C}$) буфера для выделения, содержащего 2% гексадецилтриметиламмония бромид (СТАВ), 2% поливинилпирролидона (PVP), 2М хлорида натрия, 25 мМ этлендиаминтетраацетата (EDTA) pH 8.0, 100 мМ трис-(гидроксиметил)аминометана гидрохлорида pH 8.0, с добавлением 30 мкл 3% 2-меркаптоэтанола. Образцы инкубировали в микроцентрифужных пробирках объемом 2 мл при 65°C в течение 30 минут с регулярным встряхиванием (1,300 об/мин). После инкубации образцы подвергались центрифугированию при скорости 14,000 об/мин в течение 10 мин. Полученный супернатант переносили в новую пробирку и смешивали с равным объемом хлороформ-изоамилового спирта (24:1), затем центрифугировали при 4°C со скоростью 12,000 об/мин в течение 15 минут. После центрифугирования верхнюю прозрачную фазу снова экстрагировали равным объемом хлороформ-изоамилового спирта с последующим центрифугированием при тех же условиях (при 4 со скоростью 12,000 об/мин в течение 15 минут). Получившийся в результате центрифугирования супернатант переносили в чистую пробирку и добавляли к нему 1/3 объема 8М хлорида лития. Смесь оставляли на ночь при 4°C . После инкубирования смесь откручивали при 4°C со скоростью 12,000 об/мин в течение 60 минут. Надосадочную жидкость удаляли, а осадок промывали в 0,8 мл 70% этанола и центрифугировали при 4°C , 12,000 об/мин в течение 15 мин. Промытые осадки сушили при комнатной температуре в течение 10-15 мин, а затем растворяли в 50 мкл очищенной от РНКазы воды. Полученная РНК хранилась при -20°C .

Для синтеза первой цепи кДНК использовали 2 мкг общей РНК с применением праймера олиго(dT) и обратной транскриптазы в конечной концентрации 10 пмоль. Полученную кДНК анализировали на наличие вирусов методом мультиплексной ПЦР.

Аmplификацию методом мультиплекс-ПЦР проводили в репликах (3-кратном повторе) на амплификаторе SimpliAmp™ Thermal Cycler (ThermoFisher, США) с последующей детекцией на агарозном геле. Протокол для амплификации: 94°C – 3 мин, далее { 96°C – 20 с, 55°C – 20 с, 72°C – 1 мин} 29 циклов, далее 72°C – 5 мин.

Праймеры для амплификации были разработаны для консервативных регионов нуклеотидных последовательностей вирусов, кодирующих

белков оболочки PVS, PVY и PVM и PLRV. Последовательность праймеров, использованных в работе, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Последовательность праймеров

Праймер	Нуклеотидная последовательность	Размер фрагмента
PVY-Forward	5' – GCATCCAGTCAAACCCGAAC – 3'	535
PVY-Reverse	5' – GCATAACGCGCTAAACCCAC – 3'	
PVM-Forward	5' – CCGTCCATAGAAGCACTCAGCCG – 3'	117
PVM-Reverse	5' – CTCAGTCGGCACACCTAGCC – 3'	
PVS- Forward	5' – CTTGAGCCGACCCCTGAAAT – 3'	143
PVS – Reverse	5' – CCAGCGATGTCAGCAGTGAT – 3'	
PLRV-Forward	5' – GCCGCTCAAGAAGAAGACTGGAG – 3'	249
PLRV-Reverse	5' – GGGGGTCCAACCTCATAAGCGAT – 3'	

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно проведенному статистическому анализу наличия и отсутствия каждого вируса в образцах картофеля, была рассчитана частота встречаемости и не встречаемости каждого вируса в наборе данных. Проведенный тест хи-квадрат на независимость позволил определить, есть ли какие-либо статистически значимые связи между вирусами.

Распределение образцов картофеля по количеству обнаруженных вирусов продемонстрировано на рисунке 1.

Частота встречаемости каждого вируса в образцах следующая: вирус Y отсутствует в 3 образцах и присутствует в 76; вирус S не обнаружен в 66 образцах, но обнаружен в 13; вирус M отсутствует в 9 образцах и присутствует в 70; PLRV отсутствует в 16 образцах и присутствует в 63.

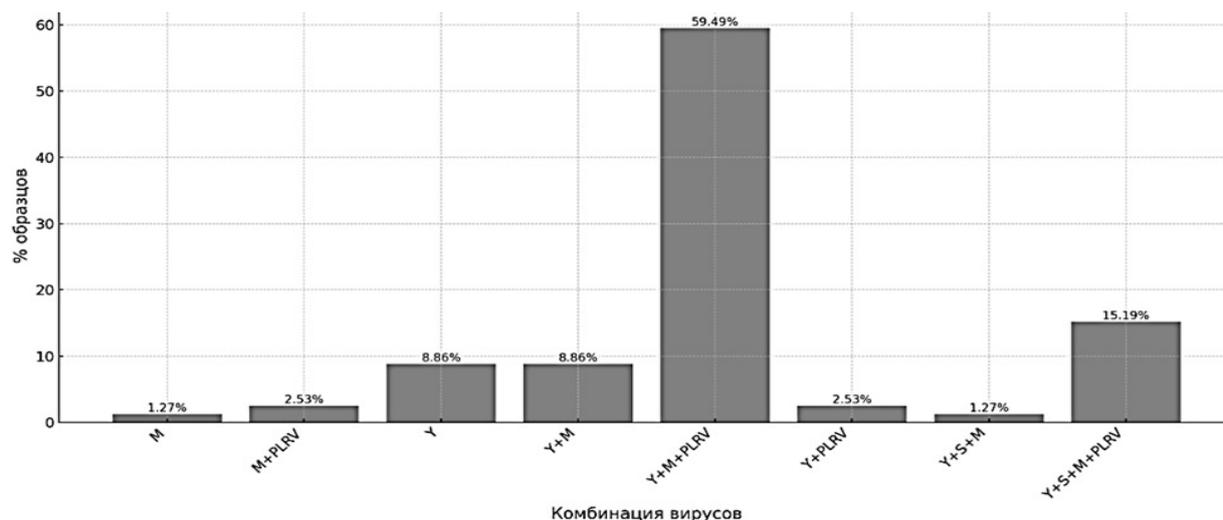


Рисунок 1 – Распределение образцов картофеля по количеству обнаруженных вирусов

Далее были проведены тесты хи-квадрат на независимость для оценки связей между наличием каждой пары вирусов. Результаты теста хи-квадрат для ассоциаций между наличием каждой пары вирусов следующие:

Сравнение Вируса Y с Вирусом S, Вирусом M и PLRV показало хи-квадрат 0.0 и р-значение 1.0, что указывает на отсутствие статистической связи.

Вирус S по сравнению с Вирусом M и PLRV показал незначительную связь с р-значениями около 0.3488 и 0.3923 соответственно.

Существенная связь была обнаружена между Вирусом M и PLRV с хи-квадрат 16.9846 и р-значением примерно 0.0000376846, что указывает на статистически значимую ассоциацию между наличием этих двух вирусов в образцах.

Распределение вирусов в образцах, одновременно инфицированных тремя вирусами, следующее: вирус Y присутствует в 48 образцах, вирус S – в 1 образце, вирус M – в 48 образцах, PLRV – в 47 образцах.

Распределение вирусов в образцах, одновременно инфицированных двумя вирусами, выглядит следующим образом: вирус Y обнаружен в 9 образцах, вирус S отсутствует во всех образцах с двумя вирусами, вирус M присутствует в 9 образцах, PLRV – в 4 образцах. Образцы, инфицированные двумя вирусами чаще всего включают Вирус Y и Вирус M. PLRV также присутствует в некоторых из этих образцов, однако встречается реже.

Сложность коинфекции у растений, при которой одно растение заражается несколькими вирусами, представляет собой сложное явление, возникающее вследствие взаимодействия между различными вирусами. Эти взаимодействия могут быть как синергическими, когда присутствие одного вируса усиливает действие другого, так и антагонистическими, когда один вирус ингибирует репликацию или действие другого. Характер этих взаимодействий может существенно повлиять на тяжесть заболеваний и общее состояние здоровья растения картофеля.

Взаимодействия между вирусами в коинфицированных растениях картофеля могут сильно различаться по своей вариативности в зависимости от нескольких факторов. К ним относятся конкретные штаммы задействованных вирусов,

условия окружающей среды и генетический состав растения картофеля. То есть, некоторые комбинации вирусов могут привести к более серьезным симптомам и большей потере урожая, в то время как другие могут иметь менее значительные последствия.

Понимание сложности и изменчивости вирусных взаимодействий в коинфицированном картофеле имеет решающее значение для борьбы с болезнями. Это может повлиять на решения, касающиеся севооборота, использования устойчивых сортов картофеля и стратегий борьбы с переносчиками вируса. Если два вируса находятся в синергическом взаимодействии, управления одним из вирусов может быть недостаточно для контроля общего воздействия заболевания.

Исследования, ранее проведенные группой исследователей в Пакистане, выявили коинфекции и высокую распространенность множественных вирусов картофеля, включая PVY, PVS, PVM и PLRV, в обследованных районах. Исследование предполагает положительную корреляцию и синергическое взаимодействие между коинфицирующими вирусами, при этом наибольшая частота встречаемости наблюдалась между вирусом картофеля X (PVX) и PVS [22].

Исследование совместной инфекции вирусом картофеля Y (PVY) и вирусом скручивания листьев картофеля (PLRV) в картофеле показало значительное снижение урожайности, количества товарных клубней на растение, высоты роста растений и силы растений по сравнению с одиночными. инфекциями, вызванные любым вирусом [23].

В Казахстане проблема коинфекций изучается так же активно. Были проведены исследования, которые показали, что распространенность PVM и PVS в образцах листьев картофеля в Казахстане составила 84,3% и 46,6% соответственно, причем встречались случаи коинфекции обоими вирусами [24].

Хотя это не касается напрямую комбинации PVM и PLRV, это подчеркивает общее влияние коинфекций картофеля. Тема комбинации вирусных инфекций картофеля, особенно между вирусом картофеля M (PVM) и вирусом скручивания листьев картофеля (PLRV), весьма специфична, и, прямые исследе-

дования этой точной комбинации ограничены. Однако в случае PVM и PLRV, а также других вирусов картофеля, таких как вирус картофеля X (PVX), вирус Y картофеля (PVY) и вирус картофеля S (PVS), коинфекции часто приводят к более тяжелым симптомам заболевания. Например, PVX сам по себе не является губительным для растения, однако в сочетании с другими вирусами, такими как PVY, PVS и PVA, он приводит к гибели растений и серьезным потерям урожая [25].

Изучение коинфекции вируса в картофеле представляет собой серьезную проблему. Это требует не только выявления наличия нескольких вирусов, но и понимания их индивидуального и совместного воздействия на растение. Для раскрытия этих сложных взаимодействий часто используются передовые молекулярные методы, в том числе секвенирование нового поколения.

Сложность взаимодействия вирусов в картофеле имеет значение для программ селекции. Селекционеры должны учитывать не только устойчивость к отдельным вирусам, но и то, как различные вирусы взаимодействуют внутри растения. Это может привести к соз-

данию сортов картофеля, устойчивых к определенным комбинациям вирусов, тем самым повышая устойчивость сельскохозяйственных культур.

Заключение

Исследование выявляет необходимость комплексного подхода, включающего селекцию устойчивых сортов, контроль за векторами и применение агротехнических мер. Результаты работы могут служить основой для дальнейших исследований в области фитопатологии и селекции.

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках проекта AP19678215 «Метагеномный и популяционный анализ вирусов и виридов картофеля и изучение механизмов их взаимодействия с устойчивыми сортами и гибридами картофеля» на 2023-2025 годы.

Конфликт интересов

Авторы не имеют конфликта интересов.

Литература

1. Birch, P.R.J., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E.M., Hein, I., Jones, J.T., Prashar, A., Taylor, M.A., Torrance, L., Toth, I.K. Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable? // *Food Sec.* – 2012. - Vol. 4. - P. 477–508.
2. Akhmetova D., Zhunusova R. Potato growing in the Akmola region of the Republic of Kazakhstan: situation analysis, priorities // *Problems of AgriMarket.* – 2023. - Vol. 1. - P. 131–138. DOI: 10.46666/2023-1.2708-9991.15
3. Kakabayev A., Suraganov M., Abdurahmanov I., Belgibayeva A., Kakabayev N., Auzhanova M., Sharipova B. The yield of elite potato varieties for primary seed production using precision agriculture technologies in the conditions of Northern Kazakhstan // *E3S Web of Conferences.* – 2023. - Vol. 386. - Art. 03001.
4. Anikina I., Kaynidenov N.N., Krasij M.V., Kamarova A. Limited liability partnership «Pavlodar agricultural exper station». Comparative characteristics of the development and productivity of potato varieties of Kazakhstan selection in the conditions of the North-East of Kazakhstan // *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. BioScience Series.* – 2021. - No. 135. - P. 28–37.
5. Sutula M., Khosnutdinova T., Zhakmanova E., Akhmediyeva A. The prevalence of recombinant strains of potato virus Y in the East Kazakhstan region // *Plant disease.* – 2022. Vol. 107(1). - P. 236.
6. The Committee on Statistics Ministry of National Economics of the Republic of Kazakhstan. Available at: www.stat.gov.kz.
7. Kreuze J.F., Souza-Dias J.A.C., Jeevalatha A., Figueira A.R., Valkonen J.P.T., Jones R.A.C. Viral Diseases in Potato // *The Potato Crop.* – 2020. - P. 1-5.
8. Gavrilenko T.A., Rogozina E.V., Antonova O. Ju. Sozdanie ustojchivyh k virusam rastenij kartofelja na osnove tradicionnyh podhodov i metodov biotehnologii [The creation of plant-resistant potatoes based on traditional approaches and biotechnology methods] // *Identificirovannyj genofond rastenij i selekcija.* – 2005. - P. 896.
9. Ristić D., Vučurović I., Kuzmanović S., et al. The Incidence and Genetic Diversity of Potato virus S in Serbian Seed Potato Crops // *Potato Res.* – 2019. - Vol. 62. - P. 31-46.

10. Fulladolsa A.C., LaPlant K.E., Groves R.L., et al. Potato Plants Grown from Minitubers are Delayed in Maturity and Lower in Yield, but are not at a Higher Risk of Potato virus Y Infection than Plants Grown from Conventional Seed // *Am. J. Potato Res.* – 2018. - Vol. 95. - P. 45-53.
11. Hutton F., Spink J., Griffin D., Kildea S., Bonner D., Doherty G., Hunter A. Distribution and incidence of viruses in Irish seed potato crops // *Irish Journal of Agricultural and Food Research.* – 2015. – Vol. 54(2). P. 98-106.
12. Kim J., Cha D.J., Kwon M., Maharjan R. Potato virus Y (PVY) detection in a single aphid by one-step RT-PCR with boiling technique // *Entomological Research.* – 2016. - Vol. 46. - P. 278-285.
13. Mohamad Chikh-Ali, Gray S.M., Karasev A.V. Improved Multiplex IC-RT-PCR Assay Distinguishes Nine Strains of Potato virus Y // *Plant Disease.* – 2013. - Vol. 97(10). - P. 1370-1374.
14. Mohamad Chikh-Ali, Alruwaili H., Vander Pol D., Karasev A.V. Molecular Characterization of Recombinant Strains of Potato virus Y From Saudi Arabia // *Plant Disease.* – 2016. - Vol. 100(2). - P. 292-297.
15. Santillan F.W., Fribourg C.E., Adams I.P., Gibbs A.J., Boonham N., Kehoe M.A., Maina S., Jones R.A.C. The Biology and Phylogenetics of Potato virus S Isolates from the Andean Region of South America // *Plant Disease.* – 2018. - Vol. 102(5). - P. 869-885.
16. Datasheet potato virus S. CABI. Available at: <https://www-cabi-org/cpc/datasheet/43662>.
17. Bragard C., Dehnen-Schmutz K., Gonthier P., et al. Pest categorisation of potato virus S (non-EU isolates) // *EFSA Journal.* – 2020. - Vol. 18(1). - e05855. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.5855.
18. Bragard C., Dehnen-Schmutz K., Gonthier P., et al. Scientific Opinion on the pest categorisation of potato virus M (non-EU isolates) // *EFSA Journal.* – 2020. - Vol. 18(1). - 5854. DOI: doi.org/10.2903/j.efsa.2020.5854.
19. Xu H., D'Aubin J., Nie J. Genomic variability in potato virus M and the development of RT-PCR and RFLP procedures for the detection of this virus in seed potatoes // *Virology.* – 2010. - Vol. 7. - 25. DOI: 10.1186/1743-422X-7-25.
20. Taliensky M., Mayo M.A., Barker H. Potato leafroll virus: a classic pathogen shows some new tricks // *Mol Plant Pathol.* – 2003. - Vol. 4(2). - P. 81-89. DOI: 10.1046/j.1364-3703.2003.00153.x.
21. Garcia-Ruiz H., Holste N.M., LaTourrette K. Pteroviruses (Luteoviridae) // Elsevier Inc., University of Nebraska–Lincoln. – 2020.
22. Hameed A., Iqbal Z., Asad S., Mansoor S. Detection of Multiple Potato Viruses in the Field Suggests Synergistic Interactions among Potato Viruses in Pakistan // *The Plant Pathology Journal.* – 2014. - Vol. 30(4). - P. 407-415. DOI: 10.5423/PPJ.OA.05.2014.0039.
23. Byarugaba A.A., Mukasa S.B., Barekye A., Rubaihayo P.R. Interactive effects of Potato virus Y and Potato leafroll virus infection on potato yields in Uganda // *Open Agriculture.* – 2020. - Vol. 5(1). - P. 726-739. DOI: 10.1515/opag-2020-0073.
24. Karpova O., Alexandrova A., Nargilova R., Kryldakov R., Yekaterinskaya E.M., Romadanova N., Kushnarenko S., Isakov B. Diagnosis of potato viruses in Kazakhstan: molecular characterisation of isolates // *Eurasian Journal of Applied Biotechnology.* – 2019. Vol. 1. P. 1-12. DOI: 10.11134/btp.1.2019.7.
25. Murphy J., Sikora E., Slack S., Guerini M. Six viruses identified in potato plants grown in Alabama, U.S.A. // *Canadian Journal of Plant Pathology.* – 2000. - Vol. 22. - P. 315-318. DOI: 10.1080/07060660009500481.

References

1. Akhmetova, D., Zhunusova R. (2023) Potato growing in the Akmola region of the Republic of Kazakhstan: situation analysis, priorities. *Problems of AgriMarket*, vol. 1., pp. 131–138. <https://doi.org/10.46666/2023-1.2708-9991.15>.
2. Anikina, I., Kaynidenov N.N., Krasij M.V., Kamarova A., and Limited liability partnership «Pavlodar agricultural experiment station.» (2021). Comparative characteristics of the development and productivity of potato varieties of Kazakhstan selection in the conditions of the North-East of Kazakhstan. *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. BioScience Series*, no. 135., pp. 28–37. <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2021-135-2-28-37>.
3. Birch, R.J.P., G. Bryan, B. Fenton, E. G. Gilroy, I. Hein, J. T. Jones, A. Prashar, M.A. Taylor, L. Torrance, and I.K. Toth (2012) Crops that feed the world 8 – Potato: are the trends of increased global production sustainable? *Food Security*, vol. 4, pp. 477-508.
4. Bragard C., Dehnen-Schmutz K., Gonthier P., et al. (2020) Pest categorisation of potato virus S (non-EU isolates). *EFSA Journal*, vol. 18, no. 1, e05855. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.5855.
5. Bragard C., Dehnen-Schmutz K., Gonthier P., et al. (2020) Scientific Opinion on the pest categorisation of potato virus M (non-EU isolates). *EFSA Journal*, vol. 18, no. 1, p.5854. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.5854>.
6. Byarugaba Arinaitwe Abel, Mukasa Settumba B., Barekye Alex, Rubaihayo Patrick R. (2020) Interactive effects of Potato virus Y and Potato leafroll virus infection on potato yields in Uganda. *Open Agriculture*, vol. 5, no. 1, pp. 726-739. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0073>.
7. Datasheet on potato virus S. CABI. Accessed January 15, 2023. <https://www-cabi-org/cpc/datasheet/43662>.

8. Fulladolsa A.C., LaPlant K.E., Groves R.L., et al. (2018) Potato Plants Grown from Minitubers are Delayed in Maturity and Lower in Yield, but are not at a Higher Risk of Potato virus Y Infection than Plants Grown from Conventional Seed. *Am. J. Potato Res.*, vol. 95, pp. 45-53.
9. Garcia-Ruiz Hernan, Holste N.M., LaTourrette K. (2020) *Poleroviruses (Luteoviridae)*. Elsevier Inc., University of Nebraska–Lincoln.
10. Gavrilenko T.A., Rogozina E.V., Antonova O. Ju. (2005) Sozdanie ustojchivyh k virusam rastenij kartofelja na osnove tradicionnyh podhodov i metodov biotekhnologii [The creation of plant-resistant potatoes based on traditional approaches and biotechnology methods]. *Identificirovannyj genofond rastenij i selekcija*, p. 896.
11. Hameed A., Iqbal Z., Asad Sh., Mansoor Sh. (2014) Detection of Multiple Potato Viruses in the Field Suggests Synergistic Interactions among Potato Viruses in Pakistan. *The Plant Pathology Journal*, vol. 30, no. 4, pp. 407-415. <http://dx.doi.org/10.5423/PPJ.OA.05.2014.0039>.
12. Hutton F., Spink J., Griffin D., Kildea S., Bonner D., Doherty G., Hunter A. (2015) Distribution and incidence of viruses in Irish seed potato crops. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, vol. 54, no. 2, pp. 98-106.
13. Kakabayev, A., Suraganov M., Abdurahmanov I., Belgibayeva A., Kakabayev N., Auzhanova M., Sharipova B. (2023) The yield of elite potato varieties for primary seed production using precision agriculture technologies in the conditions of Northern Kazakhstan. *E3S Web of Conferences*, vol. 386, art.03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338603001>.
14. Karpova O., Alexandrova A., Nargilova R., Kryldakov R., Yekaterinskaya E.M., Romadanova N., Kushnarenko S., Iskakov B. (2019) Diagnosis of potato viruses in Kazakhstan: molecular characterisation of isolates. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*, vol. 1, pp. 1-12. <https://doi.org/10.11134/btp.1.2019.7>.
15. Kim J., Cha D.J., Kwon M., Maharjan R. (2016) Potato virus Y (PVY) detection in a single aphid by one-step RT-PCR with boiling technique. *Entomological Research*, vol. 46, pp. 278-285.
16. Kreuze J.F., Souza-Dias J.A.C., Jeevalatha A., Figueira A.R., Valkonen J.P.T., Jones R.A.C. (2020) *Viral Diseases in Potato*. *The Potato Crop*, pp. 1-5.
17. Mohamad Chikh-Ali, Alruwaili H., Vander Pol D., Karasev A.V. (2016) Molecular Characterization of Recombinant Strains of Potato virus Y From Saudi Arabia. *Plant Disease*, vol. 100, no. 2, pp. 292-297.
18. Mohamad Chikh-Ali, Gray S.M., Karasev A.V. (2013) Improved Multiplex IC-RT-PCR Assay Distinguishes Nine Strains of Potato virus Y. *Plant Disease*, vol. 97, no. 10, pp. 1370-1374.
19. Murphy J., Sikora E., Slack S., Guerini M. (2000) Six viruses identified in potato plants grown in Alabama, U.S.A. *Canadian Journal of Plant Pathology*, vol. 22, pp. 315-318. <https://doi.org/10.1080/07060660009500481>.
20. Ristić D., Vučurović I., Kuzmanović S., et al. (2019) The Incidence and Genetic Diversity of Potato virus S in Serbian Seed Potato Crops. *Potato Res.*, vol. 62, pp. 31-46.
21. Santillan F.W., Fribourg C.E., Adams I.P., Gibbs A.J., Boonham N., Kehoe M.A., Maina S., Jones R.A.C. (2018) The Biology and Phylogenetics of Potato virus S Isolates from the Andean Region of South America. *Plant Disease*, vol. 102, no. 5, pp. 869-885.
22. Sutula M., Khosnutdinova T., Zhakmanova E., Akhmediyeva A. (2022) The prevalence of recombinant strains of potato virus Y in the East Kazakhstan region. *Plant disease*, vol. 107(1), pp. 236.
23. Taliany M., Mayo M.A., Barker H. (2003) Potato leafroll virus: a classic pathogen shows some new tricks. *Molecular Plant Pathology*, vol. 4, no. 2, pp. 81-89. <https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2003.00153.x>.
24. The Committee on Statistics Ministry of National Economics of the Republic of Kazakhstan. Available at: www.stat.gov.kz.
25. Xu H., D'Aubin J., Nie J. (2010) Genomic variability in potato virus M and the development of RT-PCR and RFLP procedures for the detection of this virus in seed potatoes. *Virology Journal*, vol. 7, 25. <https://doi.org/10.1186/1743-422X-7-25>.

Информация об авторах:

Кенжебекова Роза Талгатовна – PhD студент факультета биологии и биотехнологии КазНУ имени аль-Фараби, научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: rozakenzhebekova344@gmail.com).

Мендыбаева Аружан Сайрановна – лаборант лаборатории молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: aruka0302@gmail.com).

Капытина Анастасия Иосифовна – младший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: anastasiya.kapytina@mail.ru).

Гриценко Диляра Александровна (корреспондирующий автор) – PhD, заведующая лабораторией молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: d.korytina@gmail.com).

Information about authors:

Kenzhebekova Roza – PhD student of the Faculty of Biology and Biotechnology at Al-Farabi Kazakh National University, researcher at the Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM “Institute of Plant Biology and Biotechnology” CS MSHE RK (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rozakenzhebekova344@gmail.com).

Mendybayeva Aruzhan – laboratory assistant at the Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM “Institute of Plant Biology and Biotechnology” CS MSHE RK (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aruka0302@gmail.com).

Kapytina Anastasiya – junior researcher at the Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM “Institute of Plant Biology and Biotechnology” CS MSHE RK (Almaty, Kazakhstan, e-mail: anastasiya.kapytina@mail.ru).

Gritsenko Dilyara (corresponding author) – PhD, Head of the Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM “Institute of Plant Biology and Biotechnology” CS MSHE RK (Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.kopytina@gmail.com).

Поступила: 12 марта 2024 года

Принята: 20 мая 2024 года