

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ РЕИНФЕКЦИИ Y-ВИРУСА ПРИ РЕПРОДУЦИРОВАНИИ СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ С НИЗКОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАРАЖЕННОСТИ**Замалиева Ф.Ф.**

Реферат. Исследования проводили с целью биологического обоснования снижения реинфекции Y-вируса при репродуцировании семенного картофеля с низкой степенью зараженности. Работу выполняли в 2001–2006 гг. в Лаишевском районе Республики Татарстан. В 2001–2003 и 2002–2004 гг. суммарная векторная активность тлей за три года составила соответственно 393 и 310 экв.ед., степень зараженности на конечном этапе достигала 45,8 и 20,8 %. В 2003–2005 и 2004–2006 гг. суммарная векторная активность тлей за три года была выше, чем в предыдущих циклах, в 2,0...2,5 раза (соответственно 785 и 610 экв.ед.), но степень зараженности на конечном этапе составила всего 4,1 % и 1,7 %. В результате исследований обоснована формула расчета и конкретизированы расстояния между большими растениями картофеля в зависимости от степени зараженности семенного материала. При густоте посадки 55 тыс. раст./га она имеет следующий вид: $y = 4,26 / \sqrt{x}$, где y – расстояние между инфицированными растениями, м; x – степень зараженности вирусом (при $x > 0$), %. Зависимость между степенью зараженности посадок и расстоянием между большими растениями обратно пропорциональная. Критическим для семеноводческих посадок можно считать уровень зараженности, равный 1 %. При ее увеличении от 1 до 100 % расстояние между большими растениями сокращается с 4,26 до 0,42 м, что представляет небольшую дистанцию для преодоления крылатыми тлями. Семенной материал с зараженностью близкой к нулю можно безопасно репродуцировать длительное время без риска быстрой реинфекции благодаря значительному для переносчиков расстоянию между источниками инфекции и снижению участия большинства тлей в переносе вирусов. Полученные результаты легли в основу системы семеноводства картофеля и технологии защиты семенного картофеля от реинфекции Y-вирусом в условиях Республики Татарстан.

Ключевые слова: Y-вирус картофеля, интенсивность реинфекции, степень зараженности, векторная активность, расстояние между источниками инфекции.

Введение. В Постановлении Правительства РФ «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы» важным приоритетом обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации названо формирование отечественной стандартизированной системы выращивания семенного материала на каждом этапе воспроизводства картофеля (от лаборатории до категории элита). Среди основных задач, требующих решения, названы, в том числе создание условий для технологического обновления производства семенного картофеля на основе результатов исследований российских ученых, разработка и освоение технологий производства семенного картофеля высших категорий (оригинальных и элитных) [1]. При этом для сохранения высокого качества посадочного материала при размножении от тепличных миниклубней до первой полевой репродукции необходимо знать закономерности повторного заражения оздоровленного материала наиболее распространенным и вредоносным в условиях региона Y-вирусом картофеля.

Поведение переносчиков – важный элемент патосистем вирусов растений, но их влияние на эпидемии, вызываемые этими возбудителями, малоизвестно. В 1993 г. была предпринята попытка моделирования процесса распространения PVY тлями, по итогам которой автор сделал вывод, что в связи со сложностью сельскохозяйственных систем необходимо больше экспериментальных данных [2].

В недавних исследованиях [3] для прогнозирования зараженности PVY в конце вегетационного периода использовали графические модели, имитирующие распространение PVY на картофельном поле, на примере которых изучали эффективность передачи вируса в зависимости от начальной степени зараженности, поведения и численности переносчиков, сроков их пиковой активности. Моделирование подтвердило, что при посадке семян картофеля с низкой степенью зараженности PVY ее рост к концу сезона меньше, чем при высокой. Однако при наличии достаточно эффективных переносчиков значительное распространение PVY может произойти даже при низкой начальной зараженности вирусом.

Наш подход к решению проблемы вирусной реинфекции PVY отличался тем, что мы отталкивались от фактических результатов, полученных в процессе производственного размножения на больших площадях. В опытно-производстве мы наблюдали низкий коэффициент реинфекции оздоровленного материала при низком 0...0,5 % уровне его исходной зараженности, несмотря на высокую векторную активность крылатых тлей – переносчиков Y-вируса [4].

Цель исследований – обосновать снижение реинфекции Y-вируса на семенном картофеле при низкой степени зараженности материала для усовершенствования технологии производства семян высшей категории в условиях региона.

Таблица 1 – Реинфекция Y-вируса картофеля в репродукционном размножении оздоровленного семенного материала сорта Невский (2001–2006 гг.)

Цикл семеноводства	Год	Репродукция	Векторная активность тлей, экв.ед	Начальная зараженность, %±m*	Коэффициент реинфекции	Конечная зараженность, %±m
Первый	2001	ПП1	128	5,2 ±2,2	4,0	12,5 ±3,3
	2002	ССЭ	50	12,5 ± 3,3	1,0	12,5 ±3,3
	2003	СЭ	215	12,5 ±3,3	3,7	45,8 ±5,0
	Всего		393			
Второй	2002	ПП1	50	2,2 ± 1,5	2,0	4,3 ±2,0
	2003	ССЭ	215	4,3 ± 2,0	4,0	16,6 ±3,7
	2004	СЭ	45	16,6 ± 3,7	1,0	20,8 ±4,1
	Всего		310			
Третий	2003	ПП1	215	0	–	0
	2004	ССЭ	45	0	–	0
	2005	СЭ	525	0	>4,1	4,1 ±2,0
	Всего		785			
Четвертый	2004	ПП1	45	0	–	0
	2005	ССЭ	525	0	>1,7	1,7 ±1,3
	2006	СЭ	40	1,7 ± 1,3	1,0	1,7 ±1,3
	Всего		610			

*%±m – доля зараженности с соответствующей ошибкой

Условия, материалы и методы исследований. Для достижения поставленной цели было проведено сравнительное изучение четырех трехлетних (2001–2003 гг., 2002–2004 гг., 2003–2005 гг., 2004–2006 гг.) циклов семеноводства от первого полевого поколения до супер-суперэлиты и суперэлиты (ПП1-ССЭ-СЭ).

Оздоровленные тепличные мини клубни выращивали в защищенном грунте в отделе сельскохозяйственной биотехнологии ТатНИИСХ. Питомники полевого размножения располагались в Лаишевском районе в условиях пространственной изоляции на расстоянии 2...5 км от населенных пунктов Сокуры и Кабаны. Семенной материал выращивали с соблюдением всех рекомендованных защитных мероприятий от заражения болезнями, вредителей и крылатых тлей (регулярно обрабатывали инсектицидами и фунгицидами). Скрытую зараженность растений картофеля определяли в лаборатории ТатНИИСХ методом иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием диагностических наборов фирмы Биорба (Швейцария). Коэффициент реинфекции (КР) вычисляли отношением послеуборочной величины этого показателя в репродукции к предпосадочной. Векторную активность крылатых особей тлей определяли от появления всходов до удаления ботвы картофеля. Количество отловленных экземпляров каждого вида тли умножали на соответствующий коэффициент

вредоносности, полученные результаты суммировали [5]. Критический порог (КП) численности крылатых тлей принят равным 50 экв. ед. [6], что соответствует 50 экземплярам персиковой тли с коэффициентом вредоносности 1. Статистическую обработку результатов проводили по методике Лакина Г.Ф. [7].

Анализ и обсуждение результатов исследований. В 2001–2003 и 2002–2004 гг. суммарная векторная активность тлей за три года составила соответственно 393 и 310 экв.ед., степень зараженности на конечном этапе достигала 45,8 и 20,8 %. В 2003–2005 и 2004–2006 гг. суммарная векторная активность тлей за три года была выше, чем в предыдущих циклах, в 2,0...2,5 раза (соответственно 785 и 610 экв.ед.), но степень зараженности на конечном этапе составила всего 4,1 % и 1,7 %. Также можно отметить, что в третьем цикле семеноводства (2003–2005 гг.) векторная активность тлей была очень высокой (215 экв.ед.) уже в год производства ПП1, а зараженность оставалась на нулевом уровне, в четвертом цикле (2004–2006 гг.) на второй год выращивания ССЭ векторная активность достигала 525 экв.ед., но зараженность оставалась на сравнительно низком уровне 1,7 %.

В исследованиях зарубежных коллег [3] было показано, что при высокой численности популяции эффективных переносчиков YВК, значительное распространение вируса происходило даже если исходная зараженность бы-

Таблица 2 – Расстояние между больными растениями в зависимости от степени зараженности вирусами посадок картофеля (густота посадки 55 тыс. раст./га)

Степень зараженности, %	Расстояние между инфицированными растениями, м
0,00001	1348,0
0,0001	426,0
0,001	135,0
0,008	48,0
0,03	24,6
0,125	12,0
0,5	6,00
1,0	4,26
2,0	3,00
3,0	2,46
4,0	2,13
8,0	1,50
12,0	1,23
32,0	0,75
100,0	0,42

ла низкой. Наши результаты дают возможность сделать другой вывод.

Начальная степень заражения вирусом миниклубней в двух первых циклах составляла 5,2 и 2,2 %, в двух последних – нулевая. На основании этого было сделано предположение о том, что интенсивность увеличения зараженности семенного картофеля зависит не только от векторной активности тлей, но и в значительной степени от первоначальной зараженности материала. Вероятность посещения тлями инфицированных растений должна снижаться пропорционально увеличению расстояния между ними. По мере уменьшения степени зараженности положительная взаимосвязь между численностью тлей и ее нарастанием должна теряться, так как большая часть крылатых особей будет летать над здоровыми растениями. Кроме того, чем ниже степень зараженности материала, тем больше расстояние между инфицированными растениями, а это так же означает уменьшение зависимости роста зараженности вирусами от векторной активности переносчиков.

В связи с этим предположением возникла необходимость визуализации пространственного расположения источников инфекции в разных по степени зараженности вирусом семенных посадках картофеля. Для этого было сделано теоретическое допущение, что больные растения рассеяны в поле равномерно. Следовательно, участок можно разбить на квадраты, в центре каждого из которых находится одно инфицированное растение. Размеры квадратов будут зависеть от степени зараженности посадочного материала. При зараженности 1 % это будет квадрат из 100 растений, 2 % – из 50 растений и так далее. Площадь квадратов при соответствующей степени зараженности будет равна площади под одним растением, перемноженной на число растений в квадрате. Например, при зараженности 2 % и густоте посадки 55 тыс. раст./га площадь, занимаемая 50 растениями, составит $S = 100 \times 10000 / 2 \times 55000 \text{ м}^2$. Сторона квадрата, равная расстоянию между инфицированными

растениями в его центре, будет равна квадратному корню из величины его площади. При густоте посадки 55 тыс. раст./га и зараженности вирусом >0 формула примет следующий вид:

$$y = 4,26 / \sqrt{x},$$

где y – расстояние между инфицированными растениями, м;

x – степень зараженности вирусом, %.

Расчеты, проведенные по этой формуле, показали, что при полной зараженности (100 %) расстояние между больными растениями составит 0,42 м. Зависимость между степенью зараженности посадок и расстоянием между больными растениями обратно пропорциональная и в графическом виде представляет собой гиперболу. Особенностью этой зависимости заключается в том, что при снижении зараженности в интервале целых чисел от 100 до 1 % расстояние меняется – от 0,42 до 4,26 м. После того, как степень зараженности становится меньше 1 % и приближается к нулю, оно может увеличиваться с 4,26 м теоретически до бесконечности. Таким образом, на наш взгляд, 1 %-ный уровень зараженности следует считать критическим.

Согласно действующему ГОСТ 33996-2016, допустимые уровни зараженности УВК для первого полевого поколения – 0,5 %, для супер-суперэлиты – 1,0 %, для суперэлиты и элиты – 10 %, то есть расстояние между больными растениями в среднем составляет 6,00, 4,26 и 1,35 м соответственно. Вероятно, что начиная с 1 %-ного уровня зараженности, они становятся преодолимыми для тлей в поисковых перелетах, поэтому риск реинфекции семенного материала Y-вирусом картофеля возрастает. При увеличении расстояния между зараженными растениями он значительно снижается.

Обобщая предыдущие и вновь полученные результаты, можно сделать вывод, что динамика интенсивности реинфекции Y-вирусом картофеля при репродуцировании материала меняется в зависимости от соотношения степени зараженности и векторной активности

тлей. На начальном этапе, при наличии единичных источников заражения, интенсивность реинфекции практически не зависит от векторной активности тлей. По мере увеличения количества больных растений, возникает прямо пропорциональная зависимость вирусной реинфекции от векторной активности тлей. Затем она опять снижается в связи с неперсистентностью вируса и наложением заражений на одни и те же ближайшие к источнику инфекции растения [8].

Высказанную гипотезу косвенно подтверждают следующие факты. В Республике Татарстан векторная активность тлей в половине из 14 изученных лет превышала критический порог, причем в отдельные годы это происходило очень рано – до формирования хозяйственно значимого урожая. Несмотря на это, семеноводческие хозяйства производили суперэлиту высокого уровня оздоровления.

Выводы. В результате исследований выведена формула расчета и конкретизированы расстояния между больными растениями картофеля в зависимости от степени зараженности семенного материала. При густоте посадок 55 тыс. раст./га она имеет следующий вид:

$$y = 4,26 / \sqrt{x},$$

где y – расстояние между инфицированными растениями, м;

x – степень зараженности вирусом (при $x > 0$), %.

Зависимость между степенью зараженности посадок и расстоянием между больными растениями обратно пропорциональная, в графическом виде представляет собой гиперболу.

Критическим для семеноводческих посадок можно считать уровень зараженности, равный 1 %. При ее увеличении от 1 до 100 %, расстояние между больными растениями сокращается с 4,26 до 0,42 м, что представляет небольшую дистанцию для преодоления крылатыми тлями.

Таким образом, семенной материал с зараженностью близкой к нулю, можно безопасно репродуцировать длительное время без риска быстрой реинфекции благодаря значительному для переносчиков расстоянию между источниками инфекции и снижению участия большинства тлей в переносе вирусов. Полученные результаты легли в основу системы семеноводства картофеля и технологии защиты семенного картофеля от реинфекции Y-вирусом в условиях Республики Татарстан.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания: Мобилизация генетических ресурсов растений и животных, создание новаций, обеспечивающих производство биологически ценных продуктов питания с максимальной безопасностью для здоровья человека и окружающей среды. Номер регистрации: АААА-А18118031390148-1.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 25.08.2017 N 996 (ред. от 28.05.2020) "Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы". Информационный банк «Российское законодательство (Версия Проф)»
2. Nemecek T. The Role of Aphid Behaviour in the Epidemiology of Potato Virus Y. Diss. ETH No. 10086 Doctor of Technical Sciences. Zurich, 1993.
3. Simulation modelling of potato virus Y spread in relation to initial inoculum and vector activity/ A. Galimberti, A. Alyokhin, H. Qu, et al. // Journal of Integrative Agriculture. 2020. 19(2). P.376–388.
4. Замалиева Ф.Ф. Биологическое обоснование защиты от заражения вирусами оздоровленного семенного картофеля в Республике Татарстан. Дисс.д.с-х.наук. С.-Пб., 2009. 272 с.
5. Банадысев С.А. Семеноводство картофеля: Организация, методы, технологии. Минск: Наука, 2003. 325с.
6. Der Blattlausbefallsflug in Abhängigkeit von Flugpopulation und witterungsbedingter Agilität in Kartoffel-Abbau- und Hochzuchtlagen / H.J. Muller, K. Unger, K. Neitzel, et al. // Biol. Zentralbl. 1959. №78. P.341-383.
7. Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие / 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш.шк., 1990. 352 с.
8. Замалиева Ф.Ф. Реинфекция Y-вируса на семенном картофеле в условиях Среднего Поволжья // Вестник Казанского ГАУ. 2020. Т.15. №2 (58). С.10-13.

Сведения об авторе:

Замалиева Фания Файзрахмановна – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии картофеля; e-mail: faniaf@mail.ru
Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

BIOLOGICAL JUSTIFICATION OF REDUCTION OF Y-VIRUS REINFECTION DURING REPRODUCTION OF SEED POTATO WITH A LOW DEGREE OF INFECTION Zamalieva F.F.

Abstract. The studies were carried out with the aim of biological substantiation of a decrease in Y-virus re-infection during the reproduction of seed potatoes with a low degree of infection. The experiments were carried out in 2001-2006 in Laishevskiy district of the Republic of Tatarstan. In 2001-2003 and 2002-2004 the total vector activity of aphids for three years was 393 and 310 equivalent units, respectively, the degree of infestation at the final stage reached 45.8 and 20.8%. In 2003-2005 and 2004-2006 the total vector activity of aphids for three years was higher than in previous cycles by 2.0 ... 2.5 times (785 and 610 equivalent units, respectively), but the degree of infestation at the final stage was only 4.1% and 1, 7%. For the first time, a calculation formula was obtained and the distances between diseased potato plants were specified, depending on the degree of contamination of the seed material. With a planting density of 55 thousand

plants/ha, the formula takes the following form: $y = 4,26 / \sqrt{x}$ where y is the distance between infected plants, meter; x is the degree of infection with the virus ($x > 0$), %. The relationship between the degree of planting infestation and the distance between diseased plants is inversely proportional, graphically it is a hyperbole. The dynamics of changes in the distance between infected plants was traced with a decrease in infection from 100% to close to zero values. It was revealed that the 1% level of infection is critical. With an increase in infestation from 1 to 100%, the distance between diseased plants decreases from 4.26 to 0.42 m, which is a small distance for winged aphids to overcome. A decrease in infestation from 1% to close to zero value may lead to an increase in the distance between diseased plants from 4.26 m to theoretically infinite. Seed material, with close to zero infection, is safe to reproduce for a long time without the risk of rapid reinfection, due to the significant distance for vectors between sources of infection and a decrease in the participation of most aphids in the transmission of viruses. The results obtained formed the basis for the potato seed-growing system and the technology for protecting seed potatoes from reinfection with the Y-virus in the conditions of the Republic of Tatarstan.

Key words: Y-potato virus, intensity of reinfection, degree of infection, vector activity, distance between sources of infection.

References

1. Decree of the Government of the Russian Federation of August 25, 2017N 996 (as amended on May 28, 2020) "On approval of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017 – 2025". [Postanovlenie Pravitelstva RF ot 25.08.2017 N 996 (red. ot 28.05.2020) "Ob utverzhdenii Federalnoy nauchno-tehnicheskoy programmy razvitiya selskogo khozyaystva na 2017-2025 gody"]. Informatsionnyy bank "Rossiyskoe zakonodatelstvo (Versiya Prof)".
2. Nemecek T. The role of Aphid behaviour in the epidemiology of potato virus Y. Diss. ETH No. 10086 Doctor of Technical Sciences. Zurich, 1993.
3. Simulation modelling of potato virus Y spread in relation to initial inoculum and vector activity. / A. Galimberti, A. Alyokhin, H. Qu, et al. // Journal of Integrative Agriculture. 2020. 19(2). P. 376–388.
4. Zamalieva F.F. *Biologicheskoe obosnovanie zaschity ot zarazheniya virusami ozdorovlennogo semennogo kartofelya v Respublike Tatarstan: diss.dokt.s-kh.nauk.* (Biological substantiation of protection against infection with viruses of healthy seed potatoes in the Republic of Tatarstan: dissertation for a degree of Doctor of agricultural sciences). S.-Pb., 2009. P. 272.
5. Banadysev S.A. *Semenovodstvo kartofelya: organizatsiya, metody, tekhnologii.* [Potato seed production: organization, methods, technologies]. Minsk: Nauka, 2003. P. 325.
6. Der Blattlausbefallsflug in Abhängigkeit von Flugpopulation und witterungsbedingter Agilität in Kartoffel-Abbau- und Hochzuchtlagen / H.J. Müller, K. Unger, K. Neitzel, et al. // Biol. Zentralbl. 1959. №78. P.341-383.
7. Lakin G.F. *Biometriya: uchebn.pособie. / 4-e izd.,pererab. i dop.* [Biometrics: a manual, 4th edition, revised and added]. M.: Vyssh.shk., 1990. P. 352.
8. Zamalieva F.F. *Reinfection of Y-virus on seed potatoes in the conditions of the Middle Volga region.* [Reinfektsiya Y-virusa na semennom kartofele v usloviyakh Srednego Povolzhya]. Vestnik Kazanskogo GAU. – The herald of Kazan SAU. 2020. Vol.15. No. 2 (58). P.10-13.

Authors:

Zamalieva Faniya Fayzrahmanovna - Doctor of Agricultural sciences, chief researcher of Potato Breeding and Biotechnology Laboratory, e-mail: faniaf@mail.ru
Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment: Mobilization of genetic resources of plants and animals, creation of innovations that ensure the production of biologically valuable food products with maximum safety for human health and the environment. Registration №: AAAA-A18-118031390148-1.