

Биологическая борьба с фитофторозом картофеля, вызываемым *Phytophthora infestans*

Х. Т. Дзедаев¹✉, И. О. Газданова¹, Б. В. Бекмурзов¹

¹ Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Владикавказ, Россия

✉ E-mail: Dzedaev.kh@mail.ru

Аннотация. Фитофтороз картофеля, вызываемый *Phytophthora infestans*, представляет собой серьезное заболевание картофеля и распространен во всех картофелеводческих районах России. Успешное выращивание картофеля требует от агронома высокого уровня знаний и навыков. Чтобы избежать потерь урожая и качества, ежегодно проводится в среднем 7–8 обработок фунгицидами против этого заболевания. Обработка клубней химическими веществами эффективна для снижения инфекций, передающихся через клубни, но использование химических веществ опасно, вредно для полезных микроорганизмов. Кроме того, зараженные клубни нельзя хранить, так как они гниют. Если с заражением не бороться, существует риск полной гибели урожая. Было вложено много средств в исследование и селекцию, однако фитофтороз по-прежнему остается самым важным заболеванием при выращивании картофеля. С другой стороны, в сельском хозяйстве с ним борются с помощью комплексной стратегии, которая также включает широкий спектр культурных и профилактических мер, таких как биологический метод. Упомянутый биологический метод использует специальные микроорганизмы, которые характеризуются сильной антагонистической реакцией по отношению к конкретным патогенам. **Научная новизна** заключается в том, что биологические препараты показали отличные полевые показатели против фитофтороза в предгорной зоне РСО-Алания. **Цель исследования** заключалась в том, чтобы проверить, подходит ли метод биологической защиты против *Phytophthora infestans* в Предгорной зоне РСО-Алания. **В задачи** входило получение данных о влиянии протравливания клубней и опрыскивание растений биопрепаратами на зараженность фитофторозом период вегетации. Исследования проводили по **методикам**, принятым в картофелеводстве по рекомендациям ВНИИКХ, ВИР и ВИЗР. **Результаты** полевых экспериментов показывают, что за все годы исследований биопрепараты значительно снизили зараженность клубней фитофторозом. Биопрепарат «БисолбиСан», который использовался четыре раза в течение вегетационного периода для маринования клубней и полива растений, показал наилучший защитный эффект от фитофтороза по сравнению с другими лекарственными средствами.

Ключевые слова: *Phytophthora infestans*, биологический контроль, фитофтороз, картофель, биопрепараты, *Bacillus subtilis*.

Для цитирования: Дзедаев Х. Т., Газданова И. О., Бекмурзов Б. В. Биологическая борьба с фитофторозом картофеля, вызываемым *Phytophthora infestans* // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 09. С. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-2-10.

Дата поступления: 03.03.2023, **дата рецензирования:** 27.04.2023, **дата принятия:** 14.06.2023.

Biological control of *Phytophthora infestans* in potatoes

Kh. T. Dzedaev¹✉, I. O. Gazdanova¹, B. V. Bekmurzov¹

¹ Federal Scientific Center “Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Vladikavkaz, Russia

✉ E-Mail: Dzedaev.kh@mail.ru

Abstract. Potato late blight caused by *Phytophthora infestans* is a serious disease of potatoes (*Solanum tuberosum*) and is a common disease in all potato growing regions of Russia. However, successful cultivation of potatoes re-

quires a high level of knowledge and skills from the agronomist. To avoid losses in yield and quality, an average of seven to eight fungicide treatments against this disease are carried out annually. It costs time and money and pollutes the environment. In traditional cultivation, the disease is controlled with the costly application of chemical pesticides. Treatment of tubers with chemicals is effective in reducing tuber-borne infections, but the use of chemicals is dangerous, harmful to beneficial microorganisms, and expensive. In addition, infected tubers should not be stored as they will rot. If the infection is not dealt with, there is a risk of complete loss of the crop. A lot of money has been invested in research and breeding, however, late blight is still the most important disease in potato cultivation. If in some years or regions the disease manifests itself slowly and not very aggressively, in other regions it causes significant crop losses. On the other hand, in agriculture, it is controlled with a comprehensive control strategy, which also includes a wide range of cultural and preventive measures, such as the biological method. Among the various methods in the protection of plants from diseases, the biological method is currently an important share. The mentioned biological method among the means uses special microorganisms, which are characterized by a strong antagonistic reaction in relation to specific pathogens. **Scientific novelty** lies in the fact that biological preparations showed excellent field performance against late blight in the foothill zone of North Ossetia-Alania. **The aim of the study** was to test whether the biological defense method against *Phytophthora infestans* is suitable in the Piedmont zone of the Republic RNO-Alania. **Researches** were carried out according to the methods accepted in potato breeding according to the recommendations of the All-Russian Institute of Plant Industry, VIR and VIZR. **According to the results** obtained in field experiments show that in all years of research biopreparations significantly reduced infestation of tubers of *phytophthora infestans*. Biopreparation “BisolbiSan”, which was used for tubers dressing and spraying of plants four times during the growing season, showed the best protective effect against *phytophthora infestans* in comparison with other preparations.

Keywords: *phytophthora infestans*, biological control, *phytophthorosis*, potato, biopreparations, *Bacillus subtilis*.

For citation: Dzedayev Kh. T., Gazdanova I. O., Bekmurzov B. V. Biologicheskaya bor'ba s fitoforozom kartofelya, vyzyvaemym *Phytophthora infestans* [Biological control of *Phytophthora infestans* in potatoes] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23, No. 09. Pp. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-2-10. (In Russian.)

Date of paper submission: 03.03.2023, **date of review:** 27.04.2023, **date of acceptance:** 14.06.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Картофель (*Solanum tuberosum L.*) является важной продовольственной культурой. Основными препятствиями для производства картофеля в стране являются заболеваемость, а также отсутствие сертифицированных здоровых от болезней семян. Фитофтороз (*Phytophthora infestans*) – одна из наиболее серьезных передающихся через семена болезней при производстве картофеля во всем мире. Фитофтороз картофеля, вызываемый оомицетным грибом *Phytophthora infestans (Mont.) de Bary*, является самым разрушительным заболеванием картофеля и вызывает огромные потери урожая [1, с. 33; 3, с. 15]. Инфекция фитофтороза начинается с заражения растущих материнских клубней. При высокой влажности и температуре от 18 до 23 °C начинается полет спор, которые заражают листья соседних растений. Фитофтороз можно распознать по желтовато-темно-зеленым, позже шоколадно-коричневым пятнам на листьях или стебле. При высокой влажности (утренние/вечерние часы) пятна на нижней стороне листа отграничиваются от здоровой ткани белой плесневой дерниной [10, с. 698]. Заражение клубней происходит главным образом во время и после уборки путем заражения мазков либо спорами в почвенном потоке, с поврежденными или неочищенными клубнями, либо зараженными клубнями, соприкасающимися с поврежденными

ми клубнями. Реже заражение происходит во время вегетационного периода. Затем споры смываются с листьев дождевой водой и попадают в почву, где проникают в клубни через незакрытую кожуру [18, с. 375; 19, с. 356]. Бурые гнилые клубни можно узнать по свинцово-серым, слегка впалым пятнам на внешней стороне. При высокой влажности почвы споруляция также возможна на непосредственно зараженных клубнях. Теперь споры могут заражать побеги соседних материнских клубней через почвенную воду. Появившиеся растения затем проявляют симптомы заражения на стебле. Особенно в случае быстрого развития эпидемии может наблюдаться значительное снижение урожайности клубней, а также снижение содержания крахмала в картофеле [15, с. 562].

Последствия фитофтороза для продовольственной безопасности существенны, поскольку смертельная инфекционная болезнь может снизить урожайность до 80 %. Потери урожая, связанные с появлением фитофтороза, происходят в результате преждевременной потери фотосинтетической активной поверхности листьев, снижая образование важных ассимилянтов, тем самым уменьшая накопления крахмала и рост клубней. Кроме того, инфекции клубней могут привести к потерям при хранении или снижению качества семенного картофеля [16, с. 49]. При высокой влажности и силь-

ных ночных и дневных температурах явления в виде частых туманов происходят почти каждый год в июле и августе [7, с. 163]. В России это заболевание встречается во всех картофелеводческих регионах страны, и без химической защиты урожай в основной сезон дождей получить крайне сложно [6, с. 311]. Пищевой картофель по ГОСТ 7176-85 не допускает наличия клубней, пораженных фитофторозом, в массовой доле клубней; исключением может быть согласование с торговыми организациями, где пораженность клубней не должна превышать 2 % [13, с. 2]. Однако чрезмерное применение химических фунгицидов приводит к ряду негативных последствий, в том числе к ухудшению качества урожая картофеля [8, с. 249; 9, с. 1481]. Решению этих проблем может способствовать использование натуральных препаратов, стимулирующих рост и развитие растений в процессе выращивания. Поэтому все большее внимание уделяется биопрепаратам как новым сельскохозяйственным технологиям для защиты и повышения урожайности [4, с. 45; 5, с. 60]. Биопрепараты могут использовать в качестве раствора для семян, повышая всхожесть и снижая зараженность семян патогенными возбудителями [10, с. 698; 11, с. 202].

Применение биологических препаратов позволяет исключить или уменьшить количество химических средств защиты растений, улучшить качество сырья, особенно используемого для экологического производства продуктов питания, защитить окружающую среду благодаря меньшему взаимодействию указанных средств и более легкому биоразножению в окружающей среде [12, с. 76; 13, с. 2]. Биологизация сельского хозяйства в дополнение к различным методам восстановления и поддержания плодородия обеспечивает снижение пестицидной нагрузки. Сельскохозяйственные системы должны быть ориентированы на широкое использование биологических методов и средств для воспроизводства плодородия почвы и защиты сельскохозяйственных культур. Почвенное подавление – это сочетание биологических, физико-химических и агрохимических свойств почвы, которые ограничивают выживание почвенных фитопатогенов и обогащают их полезными микробами [9, с. 1481].

Цель данного исследования состояла в том, чтобы заложить основу для разработки биологических методов защиты картофеля от *Phytophthora infestans* с применением биологических препаратов «БисолбиСан», «Альбит» и «Бактофит» в предгорной зоне Республики Северная Осетия – Алания.

Методология и методы исследования (Methods)

Полевой эксперимент проводили три года подряд (2020–2022 гг.) в течение основного сезона дождей для разработки интегрированных вариантов борьбы с фитофторозом картофеля в Пригород-

ном районе Республики Северная Осетия – Алания. Район расположен на 43°05'58" с. ш. 44°37'59" в. д., годовая сумма осадков 600–700 мм, среднегодовая температура 15,5 °С. Высота – 605 м над уровнем моря. Предгорная зона Республики Северная Осетия – Алания относительно увлажненная, умеренно жаркая, с гидротермическим коэффициентом 1,5.

Опытное поле расположено в предгорной зоне Республики Северная Осетия – Алания. Среднегодовая температура составляет 6,3 °С, средняя многолетняя сумма положительных температур за год – 3345 °С.

Количество дней с температурой выше 0 °С составляет 234, с температурой воздуха 5 °С и выше составляет 228 дней, а сумма отрицательных температур – 3165 °С. Начало эксперимента было начато на выщелоченном черноземе с pH 0–6,1. В период исследования использовался среднеранний сорт картофеля Фарн. Обработка почвы, культивация и внесение удобрений проводились в соответствии с рекомендациями надлежащей агротехнологии [17, с. 329]. Все учеты и наблюдения проводили по методикам, принятым в картофелеводстве по рекомендациям ВНИИКХ, ВИР и ВИЗР. Исследования по изучению эффективности биологических препаратов были проведены согласно «Методике исследований по культуре картофеля» (1987 г.).

Объектом изучения в проведенных исследованиях является сорт местной селекции Горского государственного аграрного университета (ФГБОУ ВО «Горский ГАУ», г. Владикавказ) Фарн. Исследования проводились в учебно-опытном поле ВНЦ РАН, Пригородного района Республики Северная Осетия – Алания в 2020–2022 гг.

Характеристика сорта Фарн: среднеранний, столового назначения. Растение средней высоты, прямостоячее. Лист среднего размера, открытого типа. Венчик среднего размера, белого цвета. Антоциановая окраска внутренней стороны венчика отсутствует. Урожайность 48–53 т/га. Клубень округло-овальный, слегка приплюснутый, с мелкими глазками. Кожура с едва заметной розовой окраской. Мякоть белая. Масса товарного клубня 80–100 г. Содержание крахмала 15–16 %. Вкус отличный. Товарность 90–98 %. Лежкость отличная. Устойчивость к раку картофеля и к золотистой картофельной нематоде. Отзывчивость на минеральные и органические удобрения.

При рассмотрении болезней растений в соответствии с разработанной шкалой тип заболевания и степень повреждения в образце определялись по шкале Рихтера (таблица 1).

В процентном соотношении определяли распространенность болезнями и вычисляли их по формуле:

$$P = a \cdot 100 / N,$$

Таблица 1

Оценка ботвы картофеля по фитофторе (полевая устойчивость по шкале Рихтера)

Балл	Степень устойчивости	Фитофторозные пятна
9	Очень высокая	Отсутствуют
8	Высокая	Единичные пятна на отдельных листьях
7	Относительная высокая	Поражено до 25 % листьев куста
5	Средняя	Поражено от 25 до 50 % листьев
3	Низкая	Поражено более 50 % листьев куста
1	Очень низкая	Все листья куста полностью поражены

Table 1

Evaluation of potato tops by phytophthora (field resistance on the Richter scale)

Score	Degree of stability	Phytophthora spots
9	Very high	Missing
8	High	Single spots on individual leaves
7	Relative high	Affected up to 25 % of the leaves of the bush
5	Medium	25 to 50 % of leaves affected
3	Low	More than 50 % of the leaves of the bush are affected
1	Very low	All leaves of the bush are completely affected

Таблица 2

Схема опыта по испытанию биопрепаратов «БисолбиСан», «Альбит» и «Бактофит» в полевом опыте

Срок применения препарата, норма расхода препарата вегетирующих растений, 1 га						
Варианты опыта	Клубни перед посадкой, 05.05	Полные всходы, 14.06	Смыкание ботвы в рядах и через 10–12 дней	Бутонизация, 27.06	Цветение	
					Начало, 01.07	Конец, 12.07
Контроль	–	–	–	–	–	–
БисолбиСан	3 г/л	4 г/л,	Ридомил Голд, 2,5 кг	4 г/л	–	4 г/л
Альбит	0,5 л/т	0,5 л/т		0,5 л/т	–	0,5 л/т
Бактофит	5 г/л	10 г/л		10 г/л	–	10 г/л

Table 2

Schematic of the experiment for testing biological preparations “BisolbiSan”, “Al’bit” and “Baktofit” in a field experiment

The period of application of the drug, the consumption rate of the drug vegetative plants, 1 ha						
Experience options	Tubers before planting, 05.05	Full shoots, 14.06	Closing tops in rows and after 10–12 days	Budding, 27.06	Bloom	
					Start, 01.07	End, 12.07
Control	–	–	–	–	–	–
BisolbiSun	3 g/l	4 g/l,	Ridomil Gold, 2.5 kg	4 g/l	–	4 g/l
Al’bit	0.5 l/t	0.5 l/t		0.5 g/l	–	0.5 l/t
Baktofit	5 g/l	10 g/l		10 g/l	–	10 g/l

где P – распространенность болезни (количество больных растений, %);

a – число больных растений в пробах, шт.;

N – общее количество растений в пробах, шт.

Посадка картофеля проводилась 5 мая, а уборка – с 27 августа. Технология возделывания картофеля традиционная для Северного Кавказа. Агрометеорологические условия в целом были благоприятными для формирования урожая.

Схема проведения полевых испытаний препаративных форм в период вегетации картофеля представлена в таблице 2.

Способ расположения делянок рендомизированный с общей площадью 28 м² и учетной 25 м². При

каждом повторении производились необходимые наблюдения и записи на 20 постоянных растениях картофеля.

Варианты опыта изучали на общем фоне минерального удобрения: (N:P:K – 90:90:90). Посадка картофеля проводилась в предварительно срезанные гряды, схема посадки 75 × 30 см. Сельскохозяйственная техника на опытном поле общепринятая для региона с нормой посадки 44 000 клубней с 1 га. Датой посадки считается начало и массовые всходы. Начало и массовое цветение, начало увядания ботвы, начало фазы учитывается, когда 25 % растений достигают развития этой фазы, и полное, когда 75 % вступают в эту фазу.

Таблица 3
Количество осадков, температура воздуха в период вегетации картофеля в предгорной зоне
РСО-Алания, 2020–2022 гг.

Месяц	Количество осадков (мм)			Температура воздуха (°C)		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Апрель	59,7	54,8	90,0	12,2	8,8	11,2
Май	81,2	82,3	48,5	14,8	13,9	15,4
Июнь	60,6	55,7	56,2	16,7	16,8	19,3
Июль	76,6	75,8	69,8	21,3	19,6	21,5
Август	84,0	57,9	43,6	20,2	21,6	19,6
Сентябрь	89,0	89,4	88,3	14,7	15,7	15,7
Всего	451,1	415,9	396,4	99,9	96,4	102,7

Table 3
Amount of precipitation, air temperature during the growing season of potatoes in the foothill zone
of North Ossetia-Alania, 2020–2022

Month	Amount of precipitation (mm)			Air temperature (°C)		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
April	59.7	54.8	90.0	12.2	8.8	11.2
May	81.2	82.3	48.5	14.8	13.9	15.4
June	60.6	55.7	56.2	16.7	16.8	19.3
July	76.6	75.8	69.8	21.3	19.6	21.5
August	84.0	57.9	43.6	20.2	21.6	19.6
September	89.0	89.4	88.3	14.7	15.7	15.7
Total	451.1	415.9	396.4	99.9	96.4	102.7

Состояние клубней на предмет заражения фи-тофторозой оценивалось непосредственно после сбора урожая (по 100 клубней с каждой делянки).

В таблице 3 показаны метеорологические условия во время вегетационного периода в течение трех лет исследования (2020–2022 гг.).

Метеорологические условия в годы исследования были разнообразными. Наименее благоприятное распределение осадков зафиксировано в 2022 г. (таблица 3). Весна 2022 г. (за исключением первой декады мая) была немного теплее, средняя температура мая за три года составила 14,7 °C. График осадков был очень изменчив в течение вегетационного периода в 2020–2022 гг. С мая по август в 2020 г. сумма осадков составила 302,4 мм, а в 2021 г. – 271,4 мм соответственно. Однако в 2022 г. сумма осадков была наименьшей и в аналогичный период этого года составила 218,1 мм. Наименьшее количество осадков было отмечено в мае 2022 г. – 48,5 мм.

Результаты (Results)

В 2020–2022 гг. на картофеле сорта Фарн проводилось изучение эффективности влияния биологических препаратов на устойчивость к фи-тофторозе. Величина заражения фи-тофторозом была различной в течение трех лет исследования. В первый год анализа наибольшая зараженность клубней *Phytophthora infestans* наблюдалась в контрольном варианте (24,3 %), а наименьшая – в варианте, где клубни были протравлены, а растения опрысканы четыре раза биопрепаратом «БисолбиСан» (15,0 %). Средняя степень заражения клубней составила 1,8 и 2,6 % соответственно (таблица 4).

На второй год исследований было отмечено увеличение пропорционального заражения клубней фи-тофторозом в контрольной комбинации на 25,4 %. По-видимому, это связано с относительно наибольшим количеством осадков в мае – июле 2021 г. В этом году картофель оказался наиболее эффективным против фи-тофтороза: заражено было 11,3 % проанализированных клубней. На третий год исследования в контрольной комбинации наблюдалось снижение заболеваемости фи-тофторозом на 22,5 %. Наименьшая доля клубней с симптомами фи-тофтороза наблюдалась в комбинации, где был протравлен картофель, а растения четыре раза опрысканы биопрепаратом «БисолбиСан» (12,1 %). Результаты трехлетних исследований показали, что применение органических препаратов в качестве профилактических мер позволяет сдерживать развитие фи-тофтороза на ранних стадиях его возникновения. Аналогичные результаты были получены соавтором в предыдущей исследовательской работе [12, с. 76]. Доказано, что биопрепараты с органической активностью не только подавляют развитие патогенных микроорганизмов, но и повышают устойчивость растений к неблагоприятным факторам, а также сильно стимулируют ростовую активность и антистрессовую активность [5, с. 59; 19, с. 357].

Основной характеристикой эффективности новых агроприемов, применяемых при культивировании картофеля, в том числе в виде и использования новых биопрепаратов, является урожайность. Результаты учета структуры и урожайности сортов картофеля при использовании биопрепаратов представлены в таблице 5.

Таблица 4

Влияние испытанных биопрепаратов на зараженность клубней картофеля *Phytophthora infestans*

Варианты опыта	% , зараженных клубней			Среднее	Средняя степень заражения по шкале от 1 до 9			Среднее
	Год				Год			
	2020	2021	2022		2020	2021	2022	
Контроль	24,3	26,4	22,6	24,4	2,6	2,5	2,6	2,6
БисолбиСан	15,0	12,6	12,3	13,3	1,9	1,8	1,8	1,9
Альбит	15,9	11,1	14,4	13,8	2,2	2,0	1,9	2,0
Бактофит	16,5	15,3	13,1	15,0	2,0	1,8	1,6	1,8

Table 4

Effect of tested biological preparations on infestation of potato tubers with *Phytophthora infestans*

Experience options	% , of infected tubers			Average	The average degree of infection on a scale from 1 to 9			Average
	Year				Year			
	2020	2021	2022		2020	2021	2022	
Control	24.3	25.4	22.5	24.4	2.6	2.5	2.6	2.6
BisolbiSun	15.0	12.6	12.1	13.2	1.9	1.8	1.8	1.9
Al'bit	15.9	11.3	14.4	13.8	2.2	2.0	1.9	2.0
Baktofit	16.5	15.3	13.1	15.0	2.0	1.8	1.6	1.8

Таблица 5

Влияние биопрепаратов «БисолбиСан», «Альбит» и «Бактофит» на урожайность и содержание нитратов в клубне картофеля сорта Фарн

Варианты опыта	Урожайность, г/куст	Масса клубней с 1 куста, г			Число клубней с 1 куста			Нитраты, мг/кг
		< 80	50–80	> 50	< 80	50–80	> 50	
Контроль	477,2	84,6	107,5	285,1	0,8	1,4	5,8	200,0
БисобилСан	584,4	233,7	142,1	208,6	2,3	2,1	4,3	173,0
Альбит	564,0	167,5	138,9	257,6	1,5	1,9	5,4	188,0
Бактофит	521,9	144,8	124,4	252,7	1,5	1,8	5,4	191,0

Table 5

Influence of BisolbiSan, Albit and Bactofit biological preparations on the yield and nitrate content in the potato tuber of the Farn variety.

Experience options	Productivity, g/bush	Weight of tubers from 1 bush, g			The number of tubers from 1 bush			Nitrates, mg/kg
		< 80	50–80	> 50	< 80	50–80	> 50	
Control	477.2	84.6	107.5	285.1	0.8	1.4	5.8	200.0
BisolbiSan	584.4	233.7	142.1	208.6	2.3	2.1	4.3	173.0
Al'bit	564.0	167.5	138.9	257.6	1.5	1.9	5.4	188.0
Baktofit	521.9	144.8	124.4	252.7	1.5	1.8	5.4	191.0

Приобретенные экспериментальные данные показывают, что в эксперименте все варианты использования органических продуктов оказались более продуктивными по сравнению с контрольным вариантом. При использовании биопрепаратов более предпочтительные результаты демонстрировал «БисолбиСан» (584,4 г/куст). Ему незначительно уступал «Альбит» (564,0 г/куст). Наименьший результат отмечен при использовании биопрепарата «Бактофит» (521,9 г/куст), что тем не менее превышает контроль на 9,2 %, в контрольном варианте урожайность составила 477,8 г/куст.

Максимальное превышение уровня продуктивности контроля при использовании биопрепаратов составляет 41,9 %, что обуславливает необходи-

мость применения данного типа препаратов при культивировании картофеля сорта Фарн.

Биологическая ценность картофеля зависит от содержания и соотношения в клубнях не только полезных, но и вредных веществ. К последним относятся остатки пестицидов и нитратов. Помимо положительного воздействия на урожайность и качество продукции, использование органических продуктов может иметь и негативные последствия. Нитриты в организме человека могут подвергаться метаболическим процессам, приводящим к образованию токсичных веществ: например, метгемоглобина, блокирующего транспорт кислорода в крови, канцерогенных азотно-нитросоединений – нитрозаминов [1, с. 28; 13, с. 9].

Поэтому содержание нитратов в клубнях картофеля не должно превышать предельно допустимых концентраций. В настоящее время максимально допустимая концентрация составляет 300 мг/кг для промышленного картофеля. В нашем исследовании содержание нитратов было ниже ПДК во всех вариантах. Эффект от биопрепаратов был другим. Наименьшее содержание нитратов в картофеле сорта Фарн наблюдалось в варианте биопрепарата «БисолбиСан» – 173 мг/кг, «Альбит» – 188 мг/кг, «Бактофит» – 191 мг/кг. Содержание нитратов в контрольной группе составляло 200 мг/кг в каждой.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Результаты трехлетних полевых испытаний свидетельствуют о благоприятном эффекте при протравливании клубней, а также при четырехкратном опрыскивании растений пробными препаратами для заражения клубней фитофторозом. Статистический анализ показывает, что за весь экспериментальный период как доля инфицированных клубней, так и средний уровень заражения фитофторозом были значительно ниже, чем при комбинированном контроле, при котором использование биологических препаратов было эффективным.

2. Среди рассматриваемых биологических препаратов наилучший защитный эффект показал био-препарат «БисолбиСан», применяемый в виде протравливания клубней и опрыскивания растений. Средний процент пораженных клубней составил 13,2 %, а степень заражения – в среднем 1,9 % за три года исследований.

3. Аналогичная реакция наблюдалась в комбинации, где «Альбит» и «Бактофит» использовались для протравливания клубней и опрыскивания растений четыре раза.

4. Таким образом, использование местных органических препаратов на картофеле в качестве профилактической меры позволяет, прежде всего, защитить от появления фитофтороза за счет получения более экологически чистых продуктов и снижения химического воздействия, связанного с использованием химических фунгицидов.

5. Как показали результаты исследования, для сохранения растений в условиях интенсивного развития фитофтороза достаточно провести 3–4 обработки биологическими фунгицидами. Это также позволяет сократить количество процедур с использованием дорогостоящих химикатов.

Библиографический список

1. Плеханова Л. П., Булдаков С. А. Эффективность действия биопрепаратов и фунгицидов против болезней растений, клубней картофеля и их влияние на урожайность // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 9 (87). Ч. 2. С. 28–33. DOI: 10.23670/IRJ.2019.87.9.031.
2. Жевора С. В. Применение регуляторов роста и орошения на картофеле в регионах с неустойчивым увлажнением // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротехнологии и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 362–373. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-362-373.
3. Моляк А. А., Борисова Н. П., Марухленко А. В., Белоус Н. М., Ториков В. Е. Стимуляторы роста и фунгициды при возделывании и хранении картофеля // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2 (78). С. 15–19.
4. Васильева В., Зейрук В., Деревягина К., Белов Л., Барков А. Эффективность применения регуляторов роста растений на картофеле // Агротехнологии. 2019. № 7. С. 45–47. DOI: 10.1134/S0002188119070135.
5. Сердеров В. К., Караев М. К., Атамов Б. К. Возделывание сортов картофеля для промышленной переработки // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 3. С. 59–61. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/59-61.
6. Goutam U., Thakur K., Salaria N., Kukreja S. Recent Approaches for Late Blight Disease Management of Potato Caused by *Phytophthora infestans* // Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives. Springer, Singapore. 2018. Pp. 311–325.
7. Dekker J. The fungicide resistance problem: current status and the role of systemics // Pesticide Interactions in Crop Production: Beneficial and Deleterious Effects. Springer, Malaysia. 2018. Pp. 163–164. DOI: 10.1007/978-3-319-27455-3.
8. Carillo P., Colla G., El-Nakhel C., Bonini P., D'Amelia L., Dell'Aversana E., Dell'Aversana E. Biostimulant Application with a Tropical Plant Extract Enhances *Corchorus olitorius* Adaptation to SubOptimal Nutrient Regimens by Improving Physiological Parameters // Agronomy. 2019. No. 9. Pp. 9–11. DOI: 10.3390/agronomy9050249.
9. Uromova I. P., Kuposova N. N., Dabahova E. V., Shtyrlina O. V., Shtyrlin D. A. Brassinosteroids as a factor of photosynthetic activity increase of improved potatoes biosci // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Vol. 12. No. 2. Pp. 1481–1485.
10. Shahrajabian M. H., Chaski C., Polyzos N., Petropoulos S. A. Biostimulants application: a low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables // Biomolecules. 2021. Vol. 11 (5). Article number 698. DOI: 10.3390/biom11050698.

11. Zarzecka K., Gugala M., Mystkowska I., Sikorska A. Changes in dry weight and starch content in potato under the effect of herbicides and biostimulants // *Plant, Soil and Environment*. 2021. No. 67. Pp. 202–207. DOI: 10.17221/622/2020-PSE.
12. Газданова И. О., Дзедаев Х. Т., Моргоев Т. А. Биологическая защита картофеля в Республике Северная Осетия-Алания // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 1 (178). С. 76–82. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-76-82.
13. Гериева Ф. Т., Газданова И. О. Эффективность применения перспективных биопрепаратов нового поколения в условиях Северо-Кавказского региона // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 3 (206). С. 2–9. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-206-03-2-9.
14. Деревягина М. К., Белов Г. Л., Васильева С. В., Зейрук В. Н. Влияние различной пестицидной нагрузки на развитие фитофтороза и альтернариоза картофеля в центральном регионе России // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 9. С. 18–23.
15. Basiev S. S., Bekmurzov A. D., Bekuzarova S. A., Dulaev T. A., Sokolova L. B., Bolieva Z. A., Datieva M. Ch., Khodova L. D. Phytoinsecticides to fight against colorado beetle // *International Scientific and Practical Conference “AgroSMART Smart Solutions for Agriculture”*. Series “KnE Life Sciences”. Tyumen, 2019. Pp. 562–569. DOI:10.18502/ks.v4i14.5643.
16. Кожевников И. С. Влияние фунгицидов на развитие фитофтороза картофеля // *Студенческая наука и XXI век*. 2020. Т. 17. № 2-1 (20). С. 49–51.
17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. Екатеринбург: Издательство Уральского ГАУ, 2019. 329 с.
18. Kołodziejczyk M., Gwóźdź K. Effect of plant growth regulators on potato tuber yield and quality // *Plant, Soil and Environment*. 2022. No. 8 (68). Pp. 375–381. DOI: 10.17221/215/2022-PSE.
19. Huang G., Liu Z., Gu B., Zhao H., Jia J., Fan G. et al. An RXLR effector secreted by *Phytophthora parasitica* is a virulence factor and triggers cell death in various plants // *Molecular Plant Pathology*. 2019. No. 20. Pp. 356–371. DOI: 10.1111/mpp.12760.

Об авторах:

Хетаг Тотразович Дзедаев¹, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований сельскохозяйственных растений, ORCID 0000-0001-5688-9564, AuthorID 1095112; +7 919 421-10-06, Dzedaev.kh@mail.ru

Ирина Олеговна Газданова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований сельскохозяйственных растений, ORCID 0000-0002-3000-8615, AuthorID 1036581; +7 909 473-98-08, Gazdanovaira2020@gmail.com

Батраз Валерьевич Бекмурзов¹, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований сельскохозяйственных растений, ORCID 0000-0001-9227-0734, AuthorID 1045943; +7 989 135-72-54

References

1. Plekhanova L. P., Buldakov S. A. Effektivnost' deystviya biopreparatov i fungitsidov protiv bolezney rasteniy, klubney kartofelya i ikh vliyanie na urozhaynost' [The effectiveness of action of biological preparation and fungicidal agents against plant diseases, potatoes tuber and their influence on productivity of land] // *International Research Journal*. 2019. No. 9 (87). Ch. 2. Pp. 28–33. DOI: 10.23670/IRJ.2019.87.9.031. (In Russian.)
2. Zhevora S. V. Primenenie regulyatorov rosta i orosheniya na kartofele v regionakh s neustoychivym uvlazhneniem [The application of growth and irrigation regulators on potatoes in regions with unstable moisture] // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019. Vol. 14. No. 4. Pp. 362–373. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-362-373. (In Russian.)
3. Molyavko A. A., Borisova N. P., Marukhlenko A. V., Belous N. M., Torikov V. E. Stimulyatory rosta i fungitsidy pri vozdeleyvanii i khranении kartofelya [Growth stimulants and fungicides during cultivation and storage of potatoes] // *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2020. No. 2 (78). Pp. 15–19. (In Russian.)
4. Vasil'eva V., Zeyruk N., Derevyagina K., Belov L., Barkov A. Effektivnost' primeneniya regulyatorov rosta rasteniy na kartofele [Efficiency of application of plant growth regulators on potatoes] // *Agrochemistry*. 2019. No. 7. Pp. 45–47. DOI: 10.1134/S0002188119070135. (In Russian.)
5. Serderov V. K., Karaev M. K., Atamov B. K. Vozdeleyvanie sortov kartofelya dlya promyshlennoy pererabotki [Potatoes varieties cultivation for industrial processing] // *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020. No. 3. Pp. 59–61. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/59-61. (In Russian.)
6. Goutam U., Thakur K., Salaria N., Kukreja S. Recent Approaches for Late Blight Disease Management of Potato Caused by *Phytophthora infestans* // *Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives*. Springer, Singapore. 2018. Pp. 311–325.

7. Dekker J. The fungicide resistance problem: current status and the role of systemics // *Pesticide Interactions in Crop Production: Beneficial and Deleterious Effects*. Springer, Malaysia. 2018. Pp. 163–164. DOI: 10.1007/978-3-319-27455-3.
8. Carillo P., Colla G., El-Nakhel C., Bonini P., D'Amelia L., Dell'Aversana E., Dell'Aversana E. Biostimulant Application with a Tropical Plant Extract Enhances *Corchorus olitorius* Adaptation to SubOptimal Nutrient Regimens by Improving Physiological Parameters // *Agronomy*. 2019. No. 9. Pp. 9–11. DOI: 10.3390/agronomy9050249.
9. Uromova I. P., Kuposova N. N., Dabahova E. V., Shtyrlina O. V., Shtyrlin D. A. Brassinosteroids as a factor of photosynthetic activity increase of improved potatoes biosci // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015. Vol. 12. No. 2. Pp. 1481–1485.
10. Shahrajabian M. H., Chaski C., Polyzos N., Petropoulos S. A. Biostimulants application: a low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables // *Biomolecules*. 2021. Vol. 11 (5). Article number 698. DOI: 10.3390/biom11050698.
11. Zarzecka K., Gugała M., Mystkowska I., Sikorska A. Changes in dry weight and starch content in potato under the effect of herbicides and biostimulants // *Plant, Soil and Environment*. 2021. No. 67. Pp. 202–207. DOI: 10.17221/622/2020-PSE.
12. Gazdanova I. O., Dzedaev Kh. T., Morgoev T. A. Biologicheskaya zashchita kartofelya v Respublike Severnaya Osetiya – Alaniya [Biological protection of potatoes in the Republic of North Ossetia – Alania] // *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2022. No. 1 (178). Pp. 76–82. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-76-82. (In Russian.)
13. Gerieva F. T., Gazdanova I. O. Effektivnost' primeneniya perspektivnykh biopreparatov novogo pokoleniya v usloviyakh Severo-Kavkazskogo regiona [The effectiveness of promising new generation biopreparations in the North Caucasus region] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 3 (206). Pp. 2–9. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-206-03-2-9 (In Russian.)
14. Derevyagina M. K., Belov G. L., Vasilieva S. V., Zeyruk V. N. Vliyanie razlichnoy pestitsidnoy nagruzki na razvitie fitoftoroza i al'ternarioza kartofelya v tsentral'nom regione Rossii [The influence of various pesticide loads on the development of late blight and potato alternariosis in the Central region of Russia.] // *Agrarian Scientific Journal*. 2022. No. 9. Pp. 18–23. DOI: 10.28983/asj.y2022i9pp18-23. (In Russian.)
15. Basiev S. S., Bekmurzov A. D., Bekuzarova S. A., Dulaev T. A., Sokolova L. B., Bolieva Z. A., Datieva M. Ch., Khodova L. D. Phytoinsecticides to fight against colorado beetle // *International Scientific and Practical Conference "AgroSMART Smart Solutions for Agriculture"*. Series "KnE Life Sciences". Tyumen, 2019. Pp. 562–569. DOI:10.18502/cls.v4i14.5643.
16. Kozhevnikov I. S. Vliyanie fungitsidov na razvitie fitoftoroza kartofelya [The effect of fungicides on the development of late blight of potatoes] // *Student science and the XXI century*. 2020. Vol. 17. No. 2-1 (20). Pp. 49–51. (In Russian.)
17. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Vypusk pervyy. Obshchaya chast' [Methods of state variety testing of crops. Issue 1. General part]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo GAU, 2019. 329 p. (In Russian.)
18. Kołodziejczyk M., Gwóźdź K. Effect of plant growth regulators on potato tuber yield and quality // *Plant, Soil and Environment*. 2022. No. 8 (68). Pp. 375–381. DOI: 10.17221/215/2022-PSE.
19. Huang G., Liu Z., Gu B., Zhao H., Jia J., Fan G. et al. An RXLR effector secreted by *Phytophthora parasitica* is a virulence factor and triggers cell death in various plants // *Molecular Plant Pathology*. 2019. No. 20. Pp. 356–371. DOI: 10.1111/mp.12760.

Authors' information:

Khetag T. Dzedaev¹, junior researcher at the laboratory of molecular genetic research of agricultural plants, ORCID 0000-0001-5688-9564, AuthorID 1095112; +7 919 421-10-06, Dzedaev.kh@mail.ru

Irina O. Gazdanova¹, candidate of the agricultural sciences, researcher at the laboratory of molecular genetic research of agricultural plants, ORCID 0000-0002-3000-8615, AuthorID 1036581; +7 909 473-98-08, Gazdanovaira2020@gmail.com

Batraz V. Bekmurzov¹, junior researcher at the laboratory of molecular genetic studies of agricultural plants, ORCID 0000-0001-9227-0734, AuthorID 1045943; +7 989 135-72-54

¹ Federal Scientific Center "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Vladikavkaz, Russia