

Е.В. Шелихова<sup>1, 2, 3</sup> ✉  
 В.С. Масленникова<sup>1, 3</sup>  
 В.П. Цветкова<sup>1</sup>  
 Г.В. Калмыкова<sup>4</sup>  
 С.М. Нерсесян<sup>1</sup>  
 Н.И. Акулова<sup>4</sup>  
 И.М. Дубовский<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, Краснообск, Новосибирская обл., Россия

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>ООО «МИКОПРО», Кольцово, Новосибирская обл.

✉ shelikhova.ev@yandex.ru

Поступила в редакцию:  
06.07.2023

Одобрена после рецензирования:  
26.12.2023

Принята к публикации:  
10.01.2024

## Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-107-113

Evgeniya V. Shelikhova<sup>1, 2, 3</sup> ✉  
 Vladislava S. Maslennikova<sup>1, 3</sup>  
 Vera P. Tsvetkova<sup>1</sup>  
 Galina V. Kalmykova<sup>4</sup>  
 Stepan M. Nersesyan<sup>1</sup>  
 Nadezhda I. Akulova<sup>4</sup>  
 Ivan M. Dubovskiy<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

<sup>3</sup>Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup>MIKOPRO LLC, Koltsovo, Novosibirsk region, Russia

✉ shelikhova.ev@yandex.ru

Received by the editorial office:  
06.07.2023

Accepted in revised:  
26.12.2023

Accepted for publication:  
10.01.2024

## Влияние *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* на состав почвенной микробиоты и урожайность картофеля

## РЕЗЮМЕ

Бактерии *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (*B. thuringiensis* subsp. *aizawai*) являются энтомопатогенными микроорганизмами, которые используют для регуляции численности насекомых-вредителей, в частности представителей отрядов чешуекрылых и двукрылых. Установлено ростостимулирующее действие бактерии *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* на картофеле. В частности, отмечено увеличение биомассы растений в 1,4 раза уже на 4-ю неделю учета по сравнению с контролем. Длина корней и количество столонов были статистически выше в 1,2 раза и 2,3 раза на 10-ю неделю учета при обработке суспензии *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* по сравнению с контролем соответственно. Предпосадочная обработка клубней *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* положительно влияла на ризосферную микрофлору. Установлено, что *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* приводит к увеличению численности бактерий-аммонификаторов в 8 раз, азотфиксирующих бактерий почти в 30 раз, целлюлозолитических бактерий в 1,3 раза относительно контроля и подавляет численность микромицетов на 21% и 27% по сравнению с контролем и эталоном соответственно. Увеличение групп азотфиксирующих бактерий с применением *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* способствовало увеличению урожайности картофеля на 13% и 24% по сравнению с контролем и эталоном. Влияния на соотношения фракции картофеля под действием *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* оказано не было.

**Ключевые слова:** картофель, *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai*, морфометрические показатели, ризосферные микроорганизмы, урожайность

**Для цитирования:** Шелихова Е.В. и др. Влияние *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* на состав почвенной микробиоты и урожайность картофеля. *Аграрная наука*. 2024; 378(1): 107–113. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-107-113>

© Шелихова Е.В., Масленникова В.С., Цветкова В.П., Калмыкова Г.В., Нерсесян С.М., Акулова Н.И., Дубовский И.М.

## The effect of *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* on the composition of soil microbiota and potato yield

## ABSTRACT

The bacteria *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (*B. thuringiensis* subsp. *aizawai*) are entomopathogenic microorganisms that are used to control the abundance of insect pests, in particular members of the Lepidoptera and Diptera orders. The growth-stimulating effect of the bacterium *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* on potatoes. In particular, an increase in plant biomass by 1.4 times was noted already on the 4th week of accounting compared with the control. The length of the roots and the number of stolons were statistically higher by 1.2 times and 2.3 times on the 10th week of counting when processing a suspension of *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* compared to controls, respectively. Preplant treatment of *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* had a positive effect on the rhizosphere microflora. It has been established that *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* leads to an increase in the number of ammonifying bacteria by 8 times, nitrogen-fixing bacteria by almost 30 times, cellulolytic bacteria by 1.3 times relative to the control and suppresses the number of micromycetes by 21% and 27% compared to the control and standard, respectively. Increasing groups of nitrogen-fixing bacteria using *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* contributed to an increase in potato yield by 13% and 24% compared to the control and standard. Influence on the ratio of the potato fraction under the influence of *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* has not been rendered.

**Key words:** potato, *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai*, morphometric parameters, rhizosphere microorganisms, productivity

**For citation:** Shelikhova E.V. et al. The effect of *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* on the composition of soil microbiota and potato yield. *Agrarian science*. 2024; 378(1): 107–113 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-107-113>

© Shelikhova E.V., Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P., Kalmykova G.V., Nersesyan S.M., Akulova N.I., Dubovskiy I.M.

## Введение/Introduction

Одна из ключевых задач современного растениеводства — повышение урожайности сельскохозяйственных культур [1]. Для получения качественной продукции картофелеводства используют усовершенствованные технологии возделывания, семенной материал высокого качества, минеральные удобрения и защитные мероприятия [2].

На рост и развитие растения влияют полезные микроорганизмы ризо- и филлосферы, синтезирующие метаболиты с гормональными и сигнальными функциями. Бактерии, стимулирующие рост растений (Plant Growth Promoting Bacteria, PGPB), представлены *Azospirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas* и др. Известно, что бактерия *Bacillus thuringiensis* (*B. thuringiensis*), входящая в группу PGPB, продуцирует различные биологически активные вещества. Например, ауксин (АУ) активирует корневую систему и побеги [3], гиббереллин контролирует прорастание и развитие генеративных органов растения, сидерофоры оказывают прямое влияние на стимулирование роста [4, 5].

Использование синтетических удобрений и пестицидов наносит ущерб окружающей среде и здоровью человека [6, 7]. Нерациональное применение удобрений оказывает отрицательное влияние на микробиоценоз почвы, подавляя численность одних и, наоборот, стимулируя численность других микроорганизмов [8]. Происходит глубокая минерализация органического вещества, что способствует снижению численности аммонифицирующих и целлюлозоразрушающих бактерий, накоплению токсичных соединений в почве и разрушению биогеоценозов [9, 10].

Контроль микробиологических показателей почвы особенно важен, так как мероприятия для повышения продуктивности возделываемых культур должны опираться не на увеличение доз минеральных удобрений, а на регулирование биологических и агрохимических свойств почвы [11].

Применение штаммов различных подвидов *B. thuringiensis* оказывает положительное влияние на почвенное микробное сообщество: стимулирует развитие бактерий-аммонификаторов, увеличивает численность азотфиксирующих бактерий и бактерий, усваивающих минеральный азот [12].

По некоторым данным, инсектицидный белок *B. thuringiensis* может влиять на разнообразие микробного сообщества в различных почвах [13]. Бактерия *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* известна как агент регуляции численности таких вредителей, как капустная моль [14], черная и малая совка [15, 16] и комары [17]. В США разработан препарат XenTari на основе спор и белков *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* ABTS-1857 для борьбы с личинками чешуекрылых насекомых, которые являются вредителями различных фруктовых, овощных, масличных и декоративных культур [18]. Было показано, что обработка сои хитиназой *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* повышала всхожесть семян на 50–75% [19].

Таким образом, изучение воздействия *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* на морфометрические показатели и влияние на урожайность картофеля, а также развитие ризосферных микроорганизмов является актуальным вопросом в части развития современных биологических

препаратов для стимулирования роста растений и улучшения их здоровья.

*Цель работы* — оценка действия препарата, содержащего *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* на рост, урожайность, а также состав почвенной микробиоты картофеля.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевые и лабораторные опыты были проведены в 2021–2022 году на базе УПХ «Сад мичуринцев» и лаборатории биологической защиты растений и биотехнологии Новосибирского государственного аграрного университета (г. Новосибирск, Россия).

Материалом для исследования служили: средне-ранний картофель сорта Тулеевский (оригинатор — Кемеровский НИИСХ — филиал СФНЦА РАН, г. Кемерово, Россия), спорокристаллическая смесь бактерии *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*, депонирован в Биоресурсном центре «Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов» (БРЦ ВКПМ) НИЦ «Курчатовский институт» — ГосНИИгенетика под регистрационным номером ВКПМ В-14026.

В качестве эталона применяли биопрепарат «Бактофит СП» (*Bacillus subtilis* ИПМ 215, ООО ПО «Сиббиофарм», Россия).

Закладка полевого опыта была проведена согласно методике Б.А. Доспехова<sup>1</sup>.

Предшественником являлся пар. Густота посадки — 40,8 тыс/га, схема посадки — 0,7 × 0,35 м. Общая площадь посадки — 70 м<sup>2</sup>, учетная — 60 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная.

Агротехнические мероприятия включали в себя вспашку в сентябре — начале октября (2020 г.), весной (2021 г.), в культивацию (15–20 см).

Посадка картофеля была выполнена вручную. Дата начала полевого опыта — 18.05.2021. Уход за посадками проводился внесением удобрения «Кемира картофельная» (АО «Фертика», Россия) — 30–40 г/м<sup>2</sup> почвы. Прополка, окучивание. Уборка — вручную.

Лесная тяжелосуглинистая на бескарбонатном тяжелом суглинке почва характеризовалась следующими агрохимическими показателями: обеспеченность гумусом пахотного слоя — 5,6%, реакция среды по pH — около 6,3, обеспеченность нитратным азотом — 6 мг/кг, фосфором — 181 мг/кг (по Ю.И. Чирикову), калием — выше среднего (205 мг/кг почвы).

Перед посадкой клубни картофеля были обработаны согласно схеме опыта:

- контроль (обработка водой);
- *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* (титр 2,7 × 10<sup>6</sup> КОЕ/мл);
- «Бактофит СП» (3 г/т).

В период вегетации оценено влияние штамма *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* на морфометрические показатели картофеля — массу одного растения, длину корней, количество стеблей, общее количество столонов. Подсчет биологической урожайности проведен путем взвешивания клубней, собранных с делянки, с последующим пересчетом на 1 га.

Численность микроорганизмов в почве определяли методом серийных разведений<sup>2</sup>. Почвенные образцы были взяты из прикорневых зон растений каждого варианта. Повторность микробиологических учетов — пятикратная. Учет численности почвенных

<sup>1</sup> Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс. 2014; 350.

<sup>2</sup> Сэги Й., Куренной И.Ф. Методы почвенной микробиологии (под ред. и с предисл. акад. ВАСХНИЛ Г.С. Муромцева). М.: Колос. 1983; 294.

микроорганизмов проводили на 6-ю неделю учета после посадки (10.07.2021 г.).

Для определения дрожжей была использована питательная среда Ганзена, целлюлозолитических бактерий — Гетчинсона; для бактерий, усваивающих минеральный азот, среда — крахмало-аммиачный агар (КАА), усваивающих органический азот — мясоептонный агар (МПА). Численность азотфиксирующих бактерий фиксировали на среде Эшби, сапротрофные грибы — на среде Чапека. Производители компонентов сред: ООО «Диам» (Россия), HiMedia Laboratories Pvt. Limited (США), ФБУН ГНЦ ПМБ (Россия)<sup>3</sup>, Angel Yeasters Co., Ltd (Китай).

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных компьютерных программ GraphPad PRISM 8<sup>4</sup> и SNEDECOR для Windows<sup>5</sup> (США).

По данным метеослужбы (табл. 1), весенний период характеризовался высоким температурным режимом и обильной влажностью по сравнению с нормой.

Количество осадков в июне было превышено на 17 мм (при среднем значении 54,9 мм), температура — немного ниже по сравнению со средним показателем. В июле осадков выпало всего 37% от нормы, а температура достигала 19,7 °С, вследствие чего численность гидрофильных почвенных микроорганизмов снизилась. Средняя температура в августе была ниже нормы, количество осадков — в пределах нормы.

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Обработка клубней картофеля спорокристаллической суспензией штамма *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* способствовала повышению биомассы растений в 1,4 раза уже на 4-ю неделю учета (через месяц после посадки) по сравнению с контролем.

Отмечена статистически достоверная разница ( $p < 0,05$ ) при обработке клубней суспензией *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* на 10-ю неделю учета: биомасса растений была больше в 1,4 раза, длина корней — в 1,2 раза, количество столонов — в 2,3 раза больше по сравнению с контролем (табл. 2).

Отмечена тенденция к увеличению длины корней относительно контроля на 4-ю и 10-ю недели учетов на 22% и 16% соответственно. В варианте с предпосадочной обработкой клубней картофеля биопрепаратом «Бактофит» на 10-ю неделю отмечено увеличение количества стеблей в 1,4 раза по сравнению с контролем (рис. 1).

Ростостимулирующее действие *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* может быть связано с влиянием на уровень фитогормонов, содержащихся в тканях растения: гетероауксин (p-индолилуксусная кислота — ИУК), цитокинин (ЦК), АУ, аскорбиновая кислота (АИ). ИУК регулирует процессы в тканях растения, способствует удлинению корней [20], ЦК и АУ контролируют такие ростостимулирующие процессы, как элонгация клеточных стенок, дифференцировка тканей и процесс фотосинтеза. АИ активирует растительные ферменты, благодаря которым происходит сопротивляемость организма к неблагоприятным факторам внешней среды [21, 22].

Группы бактерий, обитающих в ризосфере, могут упростить доступ к питательным веществам для растений благодаря разложению органических остатков, трансформации соединений таких элементов, как азот,

Таблица 1. Гидротермические характеристики вегетационного периода за 2021 год (по ГМС «Огурцово»)

Table 1. Hydrothermal characteristics of the growing season for 2021 (according to HMS «Ogurtsovo»)

Месяц	Температура, °С					Осадки, мм				
	I	II	III	средняя	норма	I	II	III	сумма	норма
Май	11,5	14,9	16,3	14,2	10,9	4	13	8	25	36,8
Июнь	16,7	17,3	14,6	16,2	16,9	22	2	48	72	54,9
Июль	20,4	18,8	20	19,7	20,0	18	4	0,3	22,3	60,3
Август	19,8	16,8	17,7	18,1	16,2	24	37	6	67	67

Таблица 2. Влияние микробных агентов на морфометрические показатели картофеля

Table 2. The influence of microbial agents on the morphometric parameters of potatoes

Вариант опыта	Неделя учета	Масса одного растения, г	Длина корней, см	Количество стеблей, шт.	Общее количество столонов, шт.
Контроль	4-я	153,0	12,7	4,7	22,7
	6-я	314,7	16,0	5,0	21,7
	10-я	831,3	20,3	5,3	22,3
Бактофит	4-я	114,3	14,0	4,0	32,0
	6-я	457,3	19,3*	4,3	36,0*
	10-я	892,3	22,0	7,3*	39,3*
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i>	4-я	210,7	16,3*	5,0	23,0
	6-я	512,3	17,7	4,7	36,3*
	10-я	1162,3*	24,0*	6,7	50,7*
HCP <sub>05</sub> (среднее)		206,4	2,03	1,8	11,1

Примечание: \* достоверно при  $p < 0,05$ .

Рис. 1. Учет растений картофеля на 4-ю и 6-ю неделю: 1 — контроль, 2 — *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*, 3 — «Бактофит». Фото автора

Fig. 1. Accounting for potatoes on the 4th and 6th weeks: 1 — control, 2 — *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*, 3 — «Baktofit». Photo by the author



фосфор и другие. Таким образом, почвенные микроорганизмы активно влияют на здоровье растений [23].

Микробиологический анализ почвы, проведенный через полтора месяца после посадки (6-я неделя), показал, что предпосадочная обработка клубней

<sup>3</sup> <https://www.obolensk.org/>

<sup>4</sup> <https://www.graphpad.com/guides/prism/8/user-guide/new-organization.htm>

<sup>5</sup> <https://odssoft.narod.ru/pages/product.html>

*B. thuringiensis* subsp. *aizawai* положительно влияла на почвенную микрофлору (табл. 3, рис. 2).

В частности, бактерии подавляли численность сапротрофных грибов (*Mucor spp.*, *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.*, *Alternaria spp.* и др.), количество микромицетов снизилось по сравнению с контролем и эталоном на 21% и 27% соответственно. Численность аммонификаторов, участвующих в усвоении органического азота, увеличивалась с применением бактерии *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* в 8 раз (по сравнению с контролем). Многократно возросло количество азотфиксирующих бактерий — почти в 30 раз.

Количество целлюлозолитических бактерий было выше в варианте с обработкой *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* — в 1,3 раза (по сравнению с контролем), что положительно сказалось на развитии молодых растений. В том числе происходило активное разложение пожнивных остатков, создавалось больше доступных форм питательных веществ [24]. Однако в варианте с обработкой *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* наблюдается снижение численности бактерий, усваивающих минеральный азот, в четыре раза по сравнению с контролем. Вероятно, это связано с изменением сообщества микробиоценоза в сторону бактерий, усваивающих органический азот.

Дрожжи являются незаменимым компонентом микробного сообщества почвы. Их преимущества заключаются в способности гидролиза доступных растительных полимеров, формировании активных дрожжевых азотфиксирующих ассоциаций. Дрожжи обладают стимуляцией роста семенного материала [25]. Группа почвенных дрожжей с применением *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* возросла в 17 раз по сравнению с контролем.

Подобные исследования подтверждают изменение почвенной микрофлоры под действием *B. thuringiensis*, при этом демонстрировалось ростостимулирующее действие на опытные растения [26].

При применении препарата «Бактофит» происходило снижение численности большинства групп микроорганизмов (бактерий, усваивающих минеральный азот, азотфиксирующих бактерий, дрожжей) и увеличение численности почвенных сапротрофов. Вероятно, такое угнетение почвенной микробиоты вызвано антагонистическими и антибиотическими свойствами штамма ИПМ-215 микробной культуры *Bacillus subtilis*, входящей в состав препарата [27].

Вероятно, вследствие увеличения группы азотфиксирующих бактерий в варианте с обработкой *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* наблюдается достоверное увеличение урожайности картофеля — на 13% ( $p = 0,015$ ) и 24% ( $p = 0,011$ ) по сравнению с контролем и эталоном (рис. 3).

Подобная тенденция была отмечена в других исследованиях. Например, в работе Лукина и Марчук [28] показан ростостимулирующий эффект

Таблица 3. Влияние *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* на почвенную микрофлору

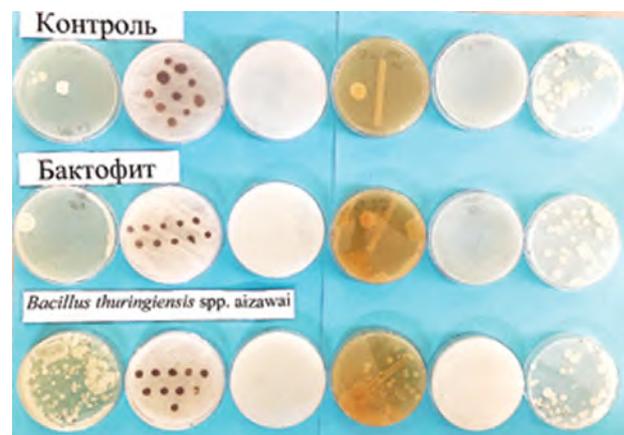
Table 3. Effect of *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* on soil microflora

Численность микроорганизмов, $\times 10^5$ КОЕ / 1 г абсолютно сухой почвы	Контроль	«Бактофит»	<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i>
Сапротрофные почвенные грибы	0,44	0,48	0,35
Бактерии, усваивающие органический азот	0,62	0,7	5,2*
Бактерии, усваивающие минеральный азот	1,12	0,04	0,26
Целлюлозолитические бактерии	1,56	2,02*	2,02*
Азотфиксирующие бактерии	0,17	0,04	5,06*
Дрожжи	0,58	0,17	9,69

Примечание: \* достоверно при  $p < 0,05$ .

Рис. 2 Результаты микробиологического посева почвы на средах. Слева направо: Ганзена, Гетчинсона, КАА, МПА, Эшби, Чапека). Фото автора

Fig. 2. The results of microbiological seeding of soil on media. From left to right: Hansen, Getchinson, KAA, MPA, Ashby, Chapek). Photo by the author

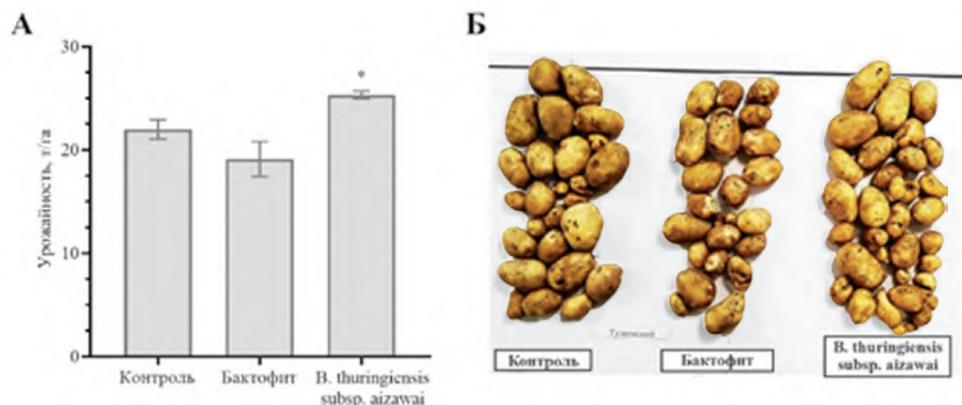


азотфиксирующих микроорганизмов на картофеле и кукурузе. Показано, что при обработке данными бактериями оказано положительное влияние на полевую всхожесть культур и способствуют увеличению урожайности. Под действием микробных агентов улучшается микробиологический состав почвы. Это позволило получить более качественный урожай по сравнению с контрольным вариантом [29].

Таким образом, отмечено положительное влияние обработки клубней *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* на рост и продуктивность картофеля и его почвенную микрофлору.

Рис. 3. Влияние *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* на урожайность картофеля (\* $p < 0,05$  по сравнению с вариантами «контроль» и «Бактофит», Unpaired t test) (А) и урожайность картофеля под действием микробных агентов. Фото автора (Б)

Fig 3. Effect of *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* on the yield (\* $p < 0,05$  compared with "control" and "Bactofit" Unpaired t test) (A) and potato yield under the action of microbial agents. Photo by the author (B)



## Выводы/Conclusion

1. Применение спорокристаллической суспензии бактерии *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* увеличивало морфометрические показатели картофеля в вегетационный период: биомассу растений — в 1,4 раза, длину корней — в 1,2 раза, количество стеблей — в 1,3 раза, столонов — в 2,3 раза (по сравнению с контролем).

2. Исследуемый штамм бактерии *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* активно подавлял почвенные грибы-сапротрофы на 21% и 27%, соответственно, по сравнению с контролем и эталоном. Отмечено положительное

влияние на численность бактерий, усваивающих органический азот (в 8 раз выше контроля), целлюлозо-разрушающих бактерий (в 1,3 раза выше контроля) и дрожжей с применением бактерий *B. thuringiensis* subsp. *Aizawai*. Однако численность бактерий, усваивающих минеральный азот, была ниже, чем в контрольном варианте.

3. Изучаемый штамм бактерий *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* повысил урожайность, соответственно, на 13% и на 24% по сравнению с контролем и эталоном.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании

рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear

the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-16-20031) и Правительства Новосибирской области (№ р-4).

## FUNDING

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 22-16-20031) and the Government of the Novosibirsk Region (grant No. p-4).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2020; 55(3): 421–438. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.3.421rus>
2. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Звягинцев П.С., Манохина А.А. Внедрение достижений союзной программы «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура» в отрасль картофелеводства. *Картофельводство. Сборник научных трудов*. Минск: Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству. 2016; 24: 415–420. <https://elibrary.ru/zbottn>
3. Batista B.D. et al. The auxin-producing *Bacillus thuringiensis* RZ2MS9 promotes the growth and modifies the root architecture of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Micro-Tom). *Archives of Microbiology*. 2021; 203(7): 3869–3882. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02361-z>
4. Azizoglu U. *Bacillus thuringiensis* as a Biofertilizer and Biostimulator: A Mini-Review of the Little-Known Plant Growth-Promoting Properties of *Bt*. *Current Microbiology*. 2019; 76(11): 1379–1385. <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01705-9>
5. Кудоярова Г.Р., Курдиш И.К., Мелентьев А.И. Образование фитогормонов почвенными и ризосферными бактериями как фактор стимуляции роста растений. *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2011; (3–4): 5–15. <https://elibrary.ru/owfvuh>
6. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Nasrulhaq Boyce A. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability — A Review. *Molecules*. 2016; 21(5): 573. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
7. Alori E.T., Babalola O.O. Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2213. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02213>
8. Walder F. et al. Soil microbiome signatures are associated with pesticide residues in arable landscapes. *Soil Biology and Biochemistry*. 2022; 174: 108830. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108830>
9. Иванцова Е.А. Влияние пестицидов на микрофлору почвы и полезную биоту. *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки*. 2013; (1): 35–40. <https://elibrary.ru/rtpmbz>
10. Коробова Л.Н., Шинделов А.В. Микробный отклик выщелоченного чернозема на превышение нормы гербицидной нагрузки. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012; (8): 51–54. <https://elibrary.ru/pbogyt>
11. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Спиридонов Ю.Я. Перспективы исследований по улучшению качества и оздоровления почв России. *Достижения науки и техники АПК*. 2016; 30(7): 5–10. <https://elibrary.ru/wjxnpr>

## REFERENCES

1. Pavlyushin V.A., Novikova I.I., Boikova I.V. Microbiological control in phytosanitary optimization technologies for agroecosystems: research and practice (review). *Agricultural Biology*. 2020; 55(3): 421–438. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.3.421eng>
2. Starovoitov V.I., Starovoitova O.A., Zvyagintsev P.S., Manokhina A.A. Implementation of allied program achievements “Innovative development of production of potatoes and topinambur” in potato growing industry. *Potato-growing. Proceedings*. Minsk: Research and Practical Center of National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing. 2016; 24: 415–420 (In Russian). <https://elibrary.ru/zbottn>
3. Batista B.D. et al. The auxin-producing *Bacillus thuringiensis* RZ2MS9 promotes the growth and modifies the root architecture of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Micro-Tom). *Archives of Microbiology*. 2021; 203(7): 3869–3882. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02361-z>
4. Azizoglu U. *Bacillus thuringiensis* as a Biofertilizer and Biostimulator: A Mini-Review of the Little-Known Plant Growth-Promoting Properties of *Bt*. *Current Microbiology*. 2019; 76(11): 1379–1385. <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01705-9>
5. Kudoyarova G.R., Kurdish I.K., Melentev A.I. Production of phytohormones by soil and rhizosphere bacteria as a factor of plant growth stimulation. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2011; (3–4): 5–15 (In Russian). <https://elibrary.ru/owfvuh>
6. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Nasrulhaq Boyce A. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability — A Review. *Molecules*. 2016; 21(5): 573. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
7. Alori E.T., Babalola O.O. Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2213. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02213>
8. Walder F. et al. Soil microbiome signatures are associated with pesticide residues in arable landscapes. *Soil Biology and Biochemistry*. 2022; 174: 108830. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108830>
9. Ivantsova E.A. Impacts of pesticides on soil microflora and useful biota. *Bulletin of the Volgograd State University. Series 11; Natural Sciences*. 2013; (1): 35–40 (In Russian). <https://elibrary.ru/rtpmbz>
10. Korobova L.N., Shindelov A.V. Microbial response of leached chernozem to excess herbicide load. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2012; (8): 51–54 (In Russian). <https://elibrary.ru/pbogyt>
11. Sokolov M.S., Glinushkin A.P., Spiridonov Yu.Ya. Prospects for studies on quality improvement and enhancement of soils in Russia. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2016; 30(7): 5–10 (In Russian). <https://elibrary.ru/wjxnpr>

12. Масленникова В.С. и др. Влияние инокуляции клубней картофеля бактериями рода *Bacillus* на популяцию ризосферных микроорганизмов. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2022; (1): 46–55. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-62-1-46-55>
13. Li Y. *et al.* Environmental Behaviors of *Bacillus thuringiensis* (Bt) Insecticidal Proteins and Their Effects on Microbial Ecology. *Plants*. 2022; 11(9): 1212. <https://doi.org/10.3390/plants11091212>
14. Андреева И.В., Шаталова Е.И., Ходакова А.В. Капустная моль *Plutella xylostella*: эколого-биологические аспекты, вредоносность, контроль численности. *Вестник защиты растений*. 2021; 104(1): 28–39. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14947>
15. Mashtoly T.A., Abolmaaty A., El-Said El-Zemaity M., Hussien M.I., Alm S.R. Enhanced Toxicity of *Bacillus thuringiensis* subspecies *kurstaki* and *aizawai* to Black Cutworm Larvae (Lepidoptera: Noctuidae) with *Bacillus* sp. NFD2 and *Pseudomonas* sp. FNFD1. *Journal of Economic Entomology*. 2011; 104(1): 41–46. <https://doi.org/10.1603/EC10210>
16. Jung S., Kim Y. Synergistic Effect of Entomopathogenic Bacteria (*Xenorhabdus* sp. and *Photorhabdus temperata* ssp. *temperata*) on the Pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai* Against *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology*. 2006; 35(6): 1584–1589. <https://doi.org/10.1093/ee/35.6.1584>
17. Smith G.P. Merrick J.D., Bone E.J., Ellar D.J. Mosquitocidal activity of the Cry/C delta-endotoxin from *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai*. *Applied and Environmental Microbiology*. 1996; 62(2): 680–684. <https://doi.org/10.1128/aem.62.2.680-684.1996>
18. Zhao X., da Silva M.B.R., Van der Linden I., Franco B.D.G.M., Uyttendaele M. Behavior of the Biological Control Agent *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* ABTS-1857 and *Salmonella enterica* on Spinach Plants and Cut Leaves. *Frontiers in Microbiology*. 2021; 12: 626029. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.626029>
19. De la Vega L.M., Barboza-Corona J.E., Aguilar-Uscanga M.G., Ramírez-Lepe M. Purification and characterization of an exochitinase from *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* and its action against phytopathogenic fungi. *Canadian Journal of Microbiology*. 2006; 52(7): 651–657. <https://doi.org/10.1139/w06-019>
20. Patten C.L., Glick B. Role of *Pseudomonas putida* Indoleacetic Acid in Development of the Host Plant Root System. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002; 68(8): 3795–3801. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>
21. Коробов Я.А. Каменек Л.К., Каменек В.М., Усеева Л.Ф. Ростостимулирующее действие дельта-эндотоксина *Bacillus thuringiensis* на ювенильные растения пшеницы. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2017; (2): 152–158. <https://doi.org/10.23648/UMBJ.2017.26.6230>
22. Соколова М.Г., Акимова Г.П., Вайшля О.Б. Влияние на растения фитогормонов, синтезируемых ризосферными бактериями. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2011; 47(3): 302–307. <https://elibrary.ru/nwxdax>
23. Чернов Т.И., Семенов М.В. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор). *Почвоведение*. 2021; (12): 1506–1522. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120029>
24. Смирнова И.Э., Саданов А.К. Агрономически ценные микроорганизмы и их ассоциация для сельского хозяйства. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020; (2): 19–23. <https://elibrary.ru/xaxunv>
25. Абдуллабекова Д.А., Магомедова Е.С., Магомедов Г.Г., Качалкин А.В. Дрожжи как элемент биоразнообразия почвы ампелоценоза в условиях аридного климата. *Аридные экосистемы*. 2021; 27(3): 96–102. <https://elibrary.ru/kiiprr>
26. Jo H. *et al.* Response of Soil Bacterial Community and Pepper Plant Growth to Application of *Bacillus thuringiensis* KNU-07. *Agronomy*. 2020; 10(4): 551. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040551>
27. Курамшина З.М., Хайруллин Р.М., Лукьянцев М.А. Влияние антагонистичного штамма *Bacillus subtilis* 26Д на численность микроорганизмов почвы, прилегающей к семенам пшеницы. *Почвоведение*. 2014; (9): 1102. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14070089>
28. Лукин С.М., Марчук Е.В. Влияние биопрепаратов ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов на урожайность сельскохозяйственных культур. *Достижения науки и техники АПК*. 2011; (8): 18–21. <https://elibrary.ru/obgjsb>
29. Масленникова В.С., Цветкова В.П., Нерсисян С.М., Бедарева Е.В., Дубовский И.М. Влияние бактерий рода *Bacillus* на почвенную микробиоту при предпосадочной обработке картофеля. *Плодородие*. 2022; (1): 50–53. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.13>
12. Maslennikova V.S. *et al.* Effect of inoculation of potato tubers with *Bacillus* bacteria on the population of rhizosphere microorganisms. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022; (1): 46–55 (In Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-62-1-46-55>
13. Li Y. *et al.* Environmental Behaviors of *Bacillus thuringiensis* (Bt) Insecticidal Proteins and Their Effects on Microbial Ecology. *Plants*. 2022; 11(9): 1212. <https://doi.org/10.3390/plants11091212>
14. Andreeva I.V., Shatalova E.I., Khodakova A.V. The diamondback moth *Plutella xylostella*: ecological and biological aspects, harmfulness, population control. *Plant Protection News*. 2021; 104(1): 28–39 (In Russian). <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14947>
15. Mashtoly T.A., Abolmaaty A., El-Said El-Zemaity M., Hussien M.I., Alm S.R. Enhanced Toxicity of *Bacillus thuringiensis* subspecies *kurstaki* and *aizawai* to Black Cutworm Larvae (Lepidoptera: Noctuidae) with *Bacillus* sp. NFD2 and *Pseudomonas* sp. FNFD1. *Journal of Economic Entomology*. 2011; 104(1): 41–46. <https://doi.org/10.1603/EC10210>
16. Jung S., Kim Y. Synergistic Effect of Entomopathogenic Bacteria (*Xenorhabdus* sp. and *Photorhabdus temperata* ssp. *temperata*) on the Pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai* Against *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology*. 2006; 35(6): 1584–1589. <https://doi.org/10.1093/ee/35.6.1584>
17. Smith G.P. Merrick J.D., Bone E.J., Ellar D.J. Mosquitocidal activity of the Cry/C delta-endotoxin from *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai*. *Applied and Environmental Microbiology*. 1996; 62(2): 680–684. <https://doi.org/10.1128/aem.62.2.680-684.1996>
18. Zhao X., da Silva M.B.R., Van der Linden I., Franco B.D.G.M., Uyttendaele M. Behavior of the Biological Control Agent *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* ABTS-1857 and *Salmonella enterica* on Spinach Plants and Cut Leaves. *Frontiers in Microbiology*. 2021; 12: 626029. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.626029>
19. De la Vega L.M., Barboza-Corona J.E., Aguilar-Uscanga M.G., Ramírez-Lepe M. Purification and characterization of an exochitinase from *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* and its action against phytopathogenic fungi. *Canadian Journal of Microbiology*. 2006; 52(7): 651–657. <https://doi.org/10.1139/w06-019>
20. Patten C.L., Glick B. Role of *Pseudomonas putida* Indoleacetic Acid in Development of the Host Plant Root System. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002; 68(8): 3795–3801. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>
21. Korobov Ya.A. Kamenek L.K., Kamenek V.M., Useeva L.F. Growth-stimulating effect of delta-endotoxin *Bacillus thuringiensis* on wheat during juvenile phase. *Ulyanovsk Medico-biological Journal*. 2017; (2): 152–158 (In Russian). <https://doi.org/10.23648/UMBJ.2017.26.6230>
22. Sokolova M.G., Akimova G.P., Vaishlya O.B. Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria on plants. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2011; 47(3): 274–278. <https://doi.org/10.1134/S0003683811030148>
23. Chernov T.I., Semenov M.V. Management of Soil Microbial Communities: Opportunities and Prospects (a Review). *Eurasian Soil Science*. 2021; 54(12): 1888–1902. <https://doi.org/10.1134/S1064229321120024>
24. Smirnova I.E., Sadanov A.K. Agriculturally important microorganisms and their association for agriculture. *International journal of applied and fundamental research*. 2020; (2): 19–23 (In Russian). <https://elibrary.ru/xaxunv>
25. Abdullabekova D.A., Magomedova E.S., Magomedov G.G., Kachalkin A.V. Yeasts as an Element of Ampelocenosis Soil Biodiversity in an Arid Climate. *Arid Ecosystems*. 2021; 11(3): 299–303. <https://doi.org/10.1134/S2079096121030021>
26. Jo H. *et al.* Response of Soil Bacterial Community and Pepper Plant Growth to Application of *Bacillus thuringiensis* KNU-07. *Agronomy*. 2020; 10(4): 551. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040551>
27. Kuramshina Z.M., Khayrullin R.M., Lukyantsev M.A. Effect of antagonistic strain *Bacillus subtilis* 26D on the number of soil microorganisms adjacent to wheat seeds. *Pochvovedenie*. 2014; (9): 1102 (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S0032180X14070089>
28. Lukin S.M., Marchuk E.V. Influence of biological preparations of associative nitrogen-fixing microorganisms on productivity of agricultural crops. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2011; (8): 18–21 (In Russian). <https://elibrary.ru/obgjsb>
29. Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P., Nersisyan S.M., Bedareva E.V., Dubovsky I.M. Influence of bacteria of the genus *Bacillus* on soil microbiota in pre-planting treatment of potatoes. *Plodородие*. 2022; (1): 50–53 (In Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.13>

## ОБ АВТОРАХ

**Евгения Владиславовна Шелихова<sup>1, 2, 3</sup>**

аспирант, научный сотрудник  
shelikhova.ev@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1757-8303>

**Владислава Сергеевна Масленникова<sup>1, 3</sup>**

научный сотрудник  
vladislava.maslennikova@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4564-6780>

**Вера Павловна Цветкова<sup>1</sup>**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
vera.cvetkova.23.05@mail.ru

**Галина Васильевна Калмыкова<sup>4</sup>**

кандидат биологических наук, руководитель по научным исследованиям и разработкам  
gvkalmyk@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5933-3262>

**Степан Михайлович Нерсесян<sup>1</sup>**

аспирант  
smnersesyan@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0009-0681-7541>

**Надежда Ивановна Акулова<sup>4</sup>**

главный технолог  
akulova\_ni@ngs.ru

**Иван Михайлович Дубовский<sup>1, 2</sup>**

доктор биологических наук, профессор  
dubovskiy2000@yahoo.com  
<https://orcid.org/0000-0001-9691-3960>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный аграрный университет, ул. Добролюбова, 154, Новосибирск, 630039, Россия

<sup>2</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, ул. Центральная, 2Б, Краснообск, Новосибирский р-н, Новосибирская обл., 630501 Россия

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, ул. Тимакова, 2, Новосибирск, 630060, Россия

<sup>4</sup> ООО «МИКОПРО», Кольцово, 12, Новосибирский р-н, Новосибирская обл., 630559, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

**Evgeniya Vladislavovna Shelikhova<sup>1, 2, 3</sup>**

Postgraduate Student, Researcher  
shelikhova.ev@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1757-8303>

**Vladislava Sergeevna Maslennikova<sup>1, 3</sup>**

Researcher  
vladislava.maslennikova@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4564-6780>

**Vera Pavlovna Tsvetkova<sup>1</sup>**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor  
vera.cvetkova.23.05@mail.ru

**Galina Vasilievna Kalmykova<sup>4</sup>**

Candidate of Biological Sciences, Head of Research and Development  
gvkalmyk@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5933-3262>

**Stepan Mikhailovich Nersesyan<sup>1</sup>**

Graduate Student  
smnersesyan@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0009-0681-7541>

**Nadezhda Ivanovna Akulova<sup>4</sup>**

Chief Technologist  
akulova\_ni@ngs.ru

**Ivan Mikhailovich Dubovskiy<sup>1, 2</sup>**

Doctor of Biological Sciences, Professor  
dubovskiy2000@yahoo.com  
<https://orcid.org/0000-0001-9691-3960>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Agrarian University, 154 Dobrolyubov Str., Novosibirsk, 630039, Russia

<sup>2</sup> Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies, 2B Tsentral'naya Str., Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501 Russia

<sup>3</sup> Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, 2 Timakov Str., Novosibirsk, 630060, Russia

<sup>4</sup> MIKOPRO LLC, 12 Koltsovo, Novosibirsk region, 630559, Russia