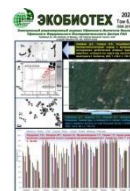




ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>


ВЫЯВЛЕНИЕ ШТАММОВ-ДЕСТРУКТОРОВ АБК И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН И РОСТ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Рябова А.С.*, Кузьмина Л.Ю., Мартыненко Е.В., Четвериков С.П., Мильман П.Ю., Высоцкая Л.Б.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

*E-mail: alenarya@rambler.ru

Перспективным подходом для регуляции содержания абсцизовой кислоты (АБК) в растениях и в почве для смягчения биотического и абиотического стресса является применение бактерий, способных к деградации этого фитогормона. Тестирование микроорганизмов из коллекции Уфимского Института биологии выявило 12 штаммов, которые в течение 2-недельного роста на минимальной минеральной среде с гормоном снижали его содержание на 20–70%. Четыре штамма АБК-метаболизирующих бактерий *Pseudomonas plecoglossicida* 2.4-D, *Pseudomonas* sp. IB Ta 10m, *Pseudomonas* sp. IB K11-1, *Arthrobacter* sp. IB Ta Ж5 наряду с повышением всхожести семян растений пшеницы увеличивали массу проростков, активировали накопление массы корней и их удлинение. Следовательно, выявленные бактериальные штаммы могут рассматриваться как перспективные для изучения их в качестве природных модуляторов содержания АБК в почве и растениях.

Ключевые слова: скрининг ♦ АБК-метаболизирующие бактерии ♦ *Pseudomonas* ♦ *Rugamonas* ♦ *Arthrobacter*

IDENTIFICATION OF ABA-DESTRUCTOR STRAINS AND THEIR INFLUENCE ON SEED GERMINATION AND GROWTH OF WHEAT SEEDLINGS

Ryabova A.S.*, Kuzmina L.Yu., Martynenko E.V., Chetverikov S.P., Milman P.Yu., Vysotskaya L.B.

Ufa Institute of Biology Ufa Federal Research Centre RAS, Ufa, Russia

*E-mail: alenarya@rambler.ru

A promising approach for regulating abscisic acid (ABA) content in plants and soil to mitigate biotic and abiotic stress is the use of bacteria capable of degrading this phytohormone. Testing of microorganisms from the collection of the Ufa Institute of Biology revealed 13 strains, which during 2 weeks of growth on a minimal mineral medium with a hormone reduced its content by 20–70%. Four strains of ABA-metabolizing bacteria *Pseudomonas plecoglossicida* 2.4-D, *Pseudomonas* sp. IB Ta 10m, *Pseudomonas* sp. IB K11-1, *Arthrobacter* sp. IB Ta Ж5, along with increasing the germination of wheat plant seeds, increased the mass of seedlings, activated the accumulation of root mass and their elongation. Consequently, the identified bacterial strains can be considered promising for studying them as natural modulators of ABA content in soil and plants.

Keywords: screening ♦ ABA-metabolizing bacteria ♦ *Pseudomonas* ♦ *Rugamonas* ♦ *Arthrobacter*

Поступила в редакцию: 03.11.2023

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-190-199](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-190-199)

EDN: JYCAIA



ВВЕДЕНИЕ

Фитогормон абсцизовая кислота (АБК) играет важную роль в адаптации растений к условиям окружающей среды. Абсцизовая кислота необходима растениям для перехода в состояние покоя, поддержания водного баланса в условиях засухи, созревания семян [Zeevaart et al., 1988; Chen et al., 2020].

Выделение АБК из корней в почву с ее последующим накоплением приводит к подавлению прорастания семян, ингибированию роста растений зачастую еще до того, как они начинают испытывать стресс. Поэтому все более актуальной в растениеводстве становится задача модуляции этого гормона как в почве, так и в растении, направленная на поддержание оптимального роста и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

В последние десятилетия было показано, что биологическая трансформация абсцизовой кислоты микроорганизмами является важной частью растительно-микробного взаимодействия. Были выделены бактерии, способные использовать АБК в качестве единственного источника углерода, хотя сам механизм остается до конца не выясненным [Belimov et al., 2014; Gogoleva et al., 2019]. Изучение метаболизма меченных дейтерием молекул АБК показало распад молекул на три практически идентифицированных продукта, роль которых пока не ясна [Ермекалиев и др., 2021]. Практический интерес представляет информация о том, что инокуляция прикорневой зоны этими бактериями приводила к снижению содержания АБК в растениях и влияла на их рост. Продолжение поиска бактерий, способных разрушать АБК, и естественным образом корректировать ее содержание в почве и растениях, смягчая биотический и абиотический стресс, может быть перспективным направлением при создании препаратов для сельского хозяйства с рост регулирующей активностью [Mahmud et al., 2021].

Целью данной работы являлся скрининг бактерий на способность использовать АБК в качестве единственного источника углерода и энергии, а также изучение влияния выявленных штаммов-деструкторов АБК на всхожесть семян и рост проростков пшеницы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Бактериальные штаммы

В качестве объектов исследования были выбраны штаммы и изоляты бактерий из коллекции Уфимского института биологии УФИЦ РАН и Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ). В работе использовали грамположительные бактерии родов *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Dietzia* и грамотрицательные бактерии – *Pedobacter*, *Pseudomonas*, *Janthinobacterium*, *Rugamonas*, *Serratia*. Изоляты бактерий из коллекций микроорганизмов были выделены из разных источников: почвы сельскохозяйственного назначения (43), природные поверхностные и подземные воды (21), грунт и минеральные образования пещер (29), и техногенно-загрязненные почвы (7).

Получение бактериальных суспензий

Бактериальные суспензии, применяемые в работе для инокуляции минеральных сред с АБК и обработки семян пшеницы, получали, выращивая штаммы на средах: Кинг Б [King et al., 1954] – род *Pseudomonas*; R2A (Himedia, Индия) - *Janthinobacterium*, *Rugamonas*, мясо пептонный бульон (МПБ) – *Arthrobacter*, *Dietzia*, *Serratia*; K1G [Кузьмина и др., 2015] – *Bacillus*, *Paenibacillus*.

Культивирование бактерий осуществляли в 50–100 мл питательной среды в колбах Эрленмейера на шейкере-инкубаторе Innova 40R (США) при 25 °С и 160 об/мин в течение 1-3 суток, до стационарной фазы роста, в зависимости от штамма микроорганизмов. Бактериальные клетки отделяли от супернатанта на центрифугах Eppendorf MiniSpin plus (Германия) или Sigma 2-16PK (Wiegand Int. GmbH, Германия) при скорости 8000 об/мин. Полученную микробную биомассу разбавляли в соответствующей стерильной минеральной среде до оптической плотности 0,05-0,1 (титр вносимой суспензии 10⁵ КОЕ/мл) при длине волны 600 нм (СФ-56, ЛЮМО-Спектр, Россия). Во всех опытах для инокуляции минеральных сред с АБК использовали 20 мкл бактериальной суспензии. Для получения препаратов для обработки семян растений пшеницы бактериальную биомассу разводили в стерильной водопроводной воде.

Культивирование бактерий на минеральных средах с АБК

Способность бактериальных штаммов использовать абсцизовую кислоту в качестве единственного источника углерода и энергии изучали при их культивировании в жидких минеральных средах Ventosa в модификации Lu [Ventosa et al., 1982; Lu et al., 2020] и минерально-солевой среде (MCM) [Belimov et al., 2014]. Среда Ventosa - Lu (г/л): NaCl 0.5; KCl 0.2; MgSO₄•7H₂O 0.2; KNO₃ 0.5; (NH₄)₂HPO₄ 0.5; KH₂PO₄ 0.5. Среда MCM (г/л): NH₄NO₃ 0.3, KH₂PO₄ 0.4, K₂HPO₄ 2.0, MgSO₄ • 7H₂O 0.2, CaCl₂ 0.1. Среда MCM (мкм/л): FeSO₄ 12; H₃BO₃ 2; MnSO₄ 1; ZnSO₄ 3; NaCl 6; Na₂MoO₄ 0.06; CoCl₂ 0.06; CuCl₂ 0.06; NiCl₂ 0.06. Абсцизовую кислоту (Servicebio, Китай) добавляли в стерильные питательные среды в концентрации 0.25 мг/мл.

Первоначальный скрининг бактерий на способность к деградации АБК проводили в лунках полистироловых планшетов (Corning Inc., США) [Турская и др., 2017; Инчагова и др., 2019; Полюдова и др., 2019; Aktuganov et al., 2022]. В лунки вносили по 200 мкл одной из вышеперечисленных сред, содержащей АБК и инокулят. Культивирование проводили статично при температуре 25°C в течение 7 суток. По оптической плотности оценивали способность штаммов использовать АБК для роста.

Дальнейшие исследования были направлены на количественную оценку способности предварительно отобранных штаммов разрушать АБК в процессе поддержания роста. Инкубацию 5 мл питательной среды MCM с АБК и соответствующим инокулятом проводили в пробирках в условиях аэрации на шейкере-инкубаторе при 120 об/мин в течение 14 суток. Пробы культуральной жидкости отбирали для определения в них остаточного содержания АБК.

Вегетационные опыты.

Для оценки влияния способных к деградации АБК бактериальных штаммов на рост растений определяли всхожесть семян и рост проростков твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf., сорт Башкирская 27). Семена стерилизовали, замачивая их в растворе 96% этанола: 3% H₂O₂ (1:1, v/v) в течение 5 минут, и затем многократно промывали дистиллированной водой.

В стерильные стеклянные чашки Петри (диаметр 9 см × высота 2 см) с бумажными фильтрами (белая лента) раскладывали по 20 семян, затем вносили по 6 мл бактериальной суспензии с численностью клеток от 1.9×10⁶ до 7.6×10⁷ КОЕ/мл. В контрольные чашки вносили равный объем стерильной водопроводной воды. Для поддержания влажности ежедневно стерильной водопроводной водой смачивали фильтры. Через 4 суток определяли количество проросших семян, измеряли показатели роста проростков, а также изучали численность клеток микроорганизмов, колонизирующих корневую систему проростков пшеницы. Для получения корневых смывов в стерильных условиях корни растений отделяли, взвешивали, растирали пестиком в ступке, переносили во флаконы со стерильной водопроводной водой в соотношении 1:10 и перемешивали на шейкере в течение 20 мин. Далее из полученной суспензии производили микробиологический посев. Численность клеток в смывах с корней определяли методом разведения и посевом на соответствующие вышеперечисленные твердые питательные среды. Посевы микроорганизмов культивировали при 25°C в течение 5 суток.

Определение АБК в культуральной жидкости.

АБК экстрагировали из супернатанта после центрифугирования культуральной жидкости при помощи диэтилового эфира по модифицированной схеме с уменьшением объема [Kudoyarova et al., 2017]. Иммуноферментный анализ (ИФА) проводили по протоколу, описанному ранее [Vysotskaya et al., 2009; Kudoyarova et al., 2014].

Статистический анализ.

Для анализа полученных данных прибегали к помощи программ и функций, встроенных в Microsoft Excel 2020. Для определения достоверных различий между средними значениями ($p \leq 0.05$) применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с использованием тестов Дункан.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поиск бактериальных штаммов, способных разрушать абсцизовую кислоту, предполагал скрининг более 100 представителей, относящихся к разным родам, среди которых грамположительные бактерии – *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Dietzia* и грамотрицательные – *Pedobacter*, *Pseudomonas*, *Janthinobacterium*, *Rugamonas*, *Serratia* из коллекций микроорганизмов УИБ УФИЦ РАН и ВКМ. Основное внимание было уделено микроорганизмам, выделенным из почв сельскохозяйственного назначения, как перспективным по данным литературы [Belimov et al., 2014]; техногенно-загрязненным почвам, из которых выделены рост регулирующие бактерии, повышающие устойчивость растений к неблагоприятным загрязняющим почву факторам [Bakaeva et al., 2020]; а также микроорганизмам, выделенным из грунта и минеральных образований пещер и природных вод. В соответствии с большим объемом исследований нами был выбран метод культивирования бактерий на минеральной среде с добавлением АБК в качестве единственного источника углерода и энергии в полистироловых планшетах, поскольку этот подход позволял тестировать одновременно большое количество штаммов при низких расходах среды [Aktuganov et al., 2022]. По повышению показателя оптической плотности по сравнению с контрольными смесями, не содержащими бактериальный инокулят или АБК, делали вывод о способности бактерий расти на абсцизовой кислоте. В результате мы обнаружили, что 14 бактериальных культур из 107 протестированных проявляли признаки роста в присутствии абсцизовой кислоты, как единственного источника углерода (табл. 1).

Таблица 1. Происхождение бактериальных штаммов, отобранных по результатам предварительного тестирования в планшетах, проявивших признаки роста в присутствии АБК как единственного источника углерода и энергии

Штамм	Обозначения	Место выделения
<i>Arthrobacter</i> sp. IB Та Ж5	Та Ж5	пещера Таврида, Крым
<i>Arthrobacter</i> sp. IB Та 113	Та 113	пещера Таврида, Крым
<i>Dietzia</i> sp. MX5	MX5	шлак металлургического завода, Республика Башкортостан (РБ)
<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> 2.4-D	2.4-D	грунт с территории Химпрома, РБ
<i>Pseudomonas</i> sp. IB K11-1	K11-1	грунт, пещера Киндерлинская, РБ
<i>Pseudomonas</i> sp. IB K11-2	K11-2	грунт, пещера Киндерлинская, РБ
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та 10м	Та 10м	пещера Таврида, Крым
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та E1-1	Та E1-1	пещера Таврида, Крым
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та E1-2	Та E1-2	пещера Таврида, Крым
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та E2	Та E2	пещера Таврида, Крым
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та 2М-1	Та 2М-1	пещера Таврида, Крым
<i>Rugamonas</i> sp. IB St A16-3-1	St A16-3-1	родник Антон, РБ
<i>Rugamonas</i> sp. IB St A16-3-3	St A16-3-3	родник Антон, РБ
<i>Rugamonas</i> sp. IB St A16-3-4	St A16-3-4	родник Антон, РБ

Следует отметить, что среди бактерий рода *Bacillus* не были обнаружены штаммы способные к росту на АБК, а среди *Pseudomonas* выявлено 10 штаммов, которые проявляли такие признаки. Так в течение 7 суток оптическая плотность культуральной среды штаммов *P. plecoglossicida* 2.4-D (KY593189.1) и *Pseudomonas* sp. K11-1 увеличивалась на 35–60%.

Предварительное тестирование не позволяло сравнить потенциальную способность штаммов к использованию АБК для накопления биомассы из-за существенных недостатков метода: небольшие объемы культуральной жидкости и отсутствие активной аэрации, которые не способствовали продолжительному культивированию и точному определению остаточного содержания АБК в конце инкубации.

Следовательно, необходимо было перейти к культивированию отобранных штаммов при постоянной аэрации в больших объемах культуральной жидкости, что позволяло сделать анализ необходимых показателей: оптическая плотность для подтверждения валидации предварительного отбора, содержание АБК и изменение численности бактерий. По полученным данным, мы действительно убедились в том, что метод измерения оптической плотности для подтверждения роста бактерий в минеральной питательной среде с АБК подходит для предварительного скрининга, поскольку и в новых условиях обнаруженное накопление бактериальных клеток в процессе инкубации культуральной жидкости в течение двух недель сопровождалось увеличением оптической плотности по сравнению с показателем контрольной, не содержащей АБК, культуральной среды (табл. 2).

Таблица 2. Численность бактерий (КОЕ/мл) и оптическая плотность культуральной жидкости при 600 нм (% от контроля, среда без добавления АБК) через 14 суток культивирования различных штаммов микроорганизмов на минимальной минеральной среде с добавлением АБК (250 мг/Л)

Штаммы	Титр, КОЕ/мл		Оптическая плотность, % от контроля
	После инокуляции	Через 14 суток	
<i>Arthrobacter</i> sp. IB Та Ж5	2.0×10^4	1.5×10^7	129
<i>Arthrobacter</i> sp. IB Та 113	3.4×10^3	8.1×10^6	131
<i>Dietzia</i> sp. MX 5	2.6×10^4	3.3×10^6	125
<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> 2.4-D	4.4×10^4	8.8×10^6	128
<i>Pseudomonas</i> sp. IB K11-1	4.7×10^4	1.1×10^7	132
<i>Pseudomonas</i> sp. IB K11-2	1.9×10^4	6.2×10^6	180
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та 10м	2.1×10^4	5.0×10^6	138
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та 2М-1	4.4×10^4	5.7×10^6	135
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та E1-1	1.5×10^4	2.4×10^6	139
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та E1-2	1.1×10^4	5.1×10^6	168
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Та E2	1.4×10^4	4.9×10^6	129
<i>Rugamonas</i> sp. IB St A16-3-1	4.4×10^4	2.9×10^6	138
<i>Rugamonas</i> sp. IB St A16-3-3	6.6×10^4	2.9×10^6	135
<i>Rugamonas</i> sp. IB St A16-3-4	2.8×10^4	2.4×10^6	143

Анализ данных количественного определения содержания абсцизовой кислоты, полученных с применением иммуноферментного анализа, через две недели инкубации бактериальных клеток отобранных штаммов на среде, содержащей минеральные соли и АБК, приведены на рисунке 1.

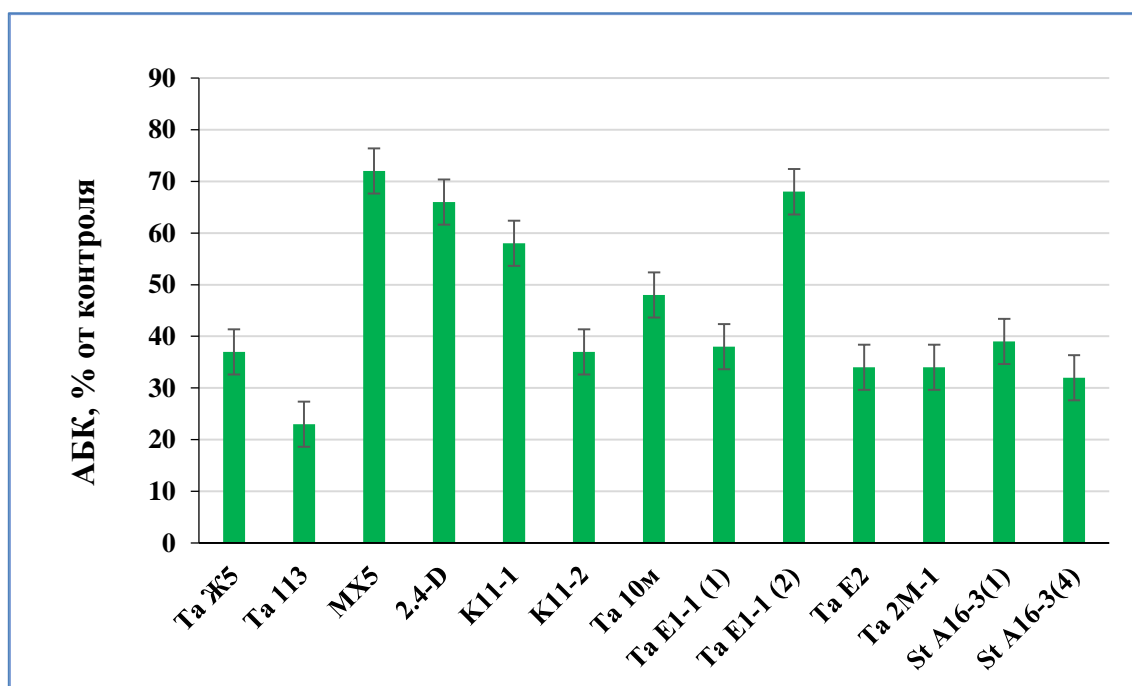


Рис. 1. Снижение содержания абсцизовой кислоты (% от контроля) через 14 суток культивирования различных штаммов (обозначение штаммов приведены в таблице 1) на минимальной минеральной среде с добавлением АБК (250 мг/Л).

В качестве контроля служила питательная среда без микроорганизмов, n=9.

В результате исследований выявлены бактериальные штаммы, рост которых сопровождался снижением содержания АБК в культуральной среде более чем на 50%. При этом среди них были в основном представители *Pseudomonas* за исключением *Dietzia* sp. MX5. Для 9 бактериальных штаммов, относящихся как к *Pseudomonas*, так и *Rugamonas* и *Arthrobacter*, снижение содержания АБК составляло 30–40% от ее начальной концентрации. Обращает на себя внимание, что среди обнаруженных нами деструкторов АБК подавляющее количество - представители рода *Pseudomonas*. Но это согласуется с данными о том, что производство многих современных рост регулирующих биопрепаратов, используемых в сельском хозяйстве для защиты урожая, зачастую связано с бактериями данного рода и их метаболитами [Maksimov et al., 2010], а также есть сведения о перспективности некоторых штаммов для очистки почвы от загрязнений [Четвериков и др., 2017; Vakaeva et al., 2020]. Что касается сведений о бактериях АБК-деструкторах, то такие сведения крайне скудны, идентифицированные нашими коллегами штаммы принадлежат к родам *Novosphingobium* и *Rhodococcus* [Belimov et al., 2014].

Из таблицы 2 и рисунка 1 видно, что увеличение численности бактериальных клеток в минеральной культуральной среде с АБК после культивирования в течение двух недель не коррелирует с показателями по остаточному содержанию гормона. Это очевидно, поскольку, прежде всего, разные бактериальные культуры имеют специфику роста даже на одинаковых субстратах [Verhille et al., 1999; Kageyama et al., 2008; Gharibzahedi et al., 2014]. Поэтому в данном случае может быть полезным анализ динамики содержания АБК и количества клеток в культуральной жидкости в процессе культивирования каждого отдельного штамма. Более того механизмы использования АБК бактериями в качестве единственного субстрата для роста только начали изучаться [Ермеккалиев др., 2021]. Для выявления путей метаболизма абсцизовой кислоты в процессе ее микробной трансформации, несмотря на некоторый прогресс в этой области [Yuzikhin et al., 2021], еще предстоит приложить немало усилий.

Наша задача состояла в том, чтобы оценить влияние отобранных нами способных к разрушению АБК бактериальных штаммов на рост растений. Для этого были поставлены модельные опыты по проращиванию семян пшеницы.

Обработка семян суспензией бактериальных клеток АБК-положительных штаммов выявила их разное влияние на прорастание семян (табл. 3). В основном, хоть и в разной степени, влияние бактерий было позитивным, но два штамма *Pseudomonas* sp. IB K11-2 и *Arthrobacter* sp. IB Ta 113 подавляли всхожесть семян.

Таблица 3. Влияние бактериализации разными штаммами семян пшеницы Башкирская 27 на их прорастание. В таблице представлены средние значения и их стандартные ошибки, разными буквами обозначены достоверно отличающиеся значения (ANOVA, Дункан-тест)

Штамм	%
Контроль без бактерий	85±4c
<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> 2.4-D	99±4d
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Ta E2	96±3d
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Ta 10m	96±3d
<i>Arthrobacter</i> sp. IB Ta Ж5	95±2d
<i>Rugamonas</i> sp. IB St A16-3-1	95±3d
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Ta E1-1	95±2d
<i>Dietzia</i> sp. MX5	93±2dc
<i>Pseudomonas</i> sp. IB K11-1	92±3dc
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Ta E1-2	84±2c
<i>Pseudomonas</i> sp. IB K11-2	47±3b
<i>Arthrobacter</i> sp. IB Ta 113	35±2a

При этом все штаммы успешно колонизировали корневую систему проростков (рис. 2). В зависимости от штамма бактерий численность клеток составляла от 5.4×10^6 до 4.8×10^8 КОЕ/г корня.

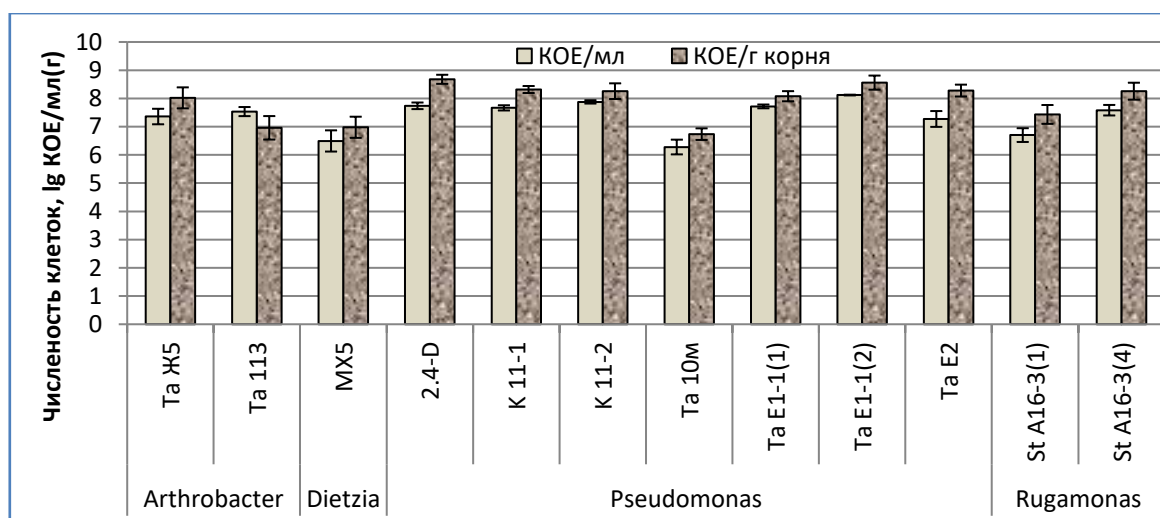


Рис. 2. Численность бактериальных клеток разных штаммов (обозначения в таблице 1), колонизирующих корни 4-суточных проростков пшеницы сорта Башкирская 27. На рисунке представлена начальная плотность вносимой в чашки Петри бактериальной суспензии (КОЕ/мл) и численность бактериальных клеток на г корня. Статистическую обработку проводили, используя критерий Стьюдента на 5% уровне значимости (n=5).

Бактерии по-разному влияли на рост проростков пшеницы (табл. 4). Большинство штаммов активировали рост корней в длину на 6–36%, по меньшей мере, четыре штамма стимулировали массу корней на 12–53%.

Таблица 4. Влияние бактериализации разными штаммами семян пшеницы на морфометрические показатели четырехсуточных проростков. В таблице представлены средние значения и их стандартные ошибки, n=60

Штамм	Масса корней, г	Масса корней, % от контроля	Суммарная длина корней, мм	Суммарная длина корней, % от контроля	Масса побега, г	Длина побега, мм
Контроль без бактерий	0.052±0.003	100	231±13	100	0.040±0.003	44±4
<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> 2.4-D	0.080±0.004	153	286±15	124	0.051±0.003	49±3
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Ta 10m	0.066±0.003	126	320±19	139	0.050±0.003	58±4
<i>Arthrobacter</i> sp. IB Ta Ж5	0.062±0.002	119	286±12	124	0.043±0.002	47±4
<i>Pseudomonas</i> sp. IB K11-1	0.058±0.003	112	300±15	130	0.036±0.002	46±5
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Ta E2	0.054±0.004	104	287±18	124	0.040±0.004	51±6
<i>Rugamonas</i> sp. IB St A16-3-1	0.053±0.001	101	275±17	119	0.045±0.003	56±5
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Ta E1-1	0.049±0.002	94	246±11	106	0.035±0.005	56±3
<i>Dietzia</i> sp. MX5	0.051±0.002	97	171±12	74	0.049±0.004	49±2
<i>Pseudomonas</i> sp. IB Ta E1-2	0.037±0.002	71	186±13	81	0.032±0.003	45±2

При этом максимальное увеличение массы корней проростков пшеницы по сравнению с контролем практически в полтора раза вызывал штамм *P. plecoglossicida* 2.4-D, в то время как *Pseudomonas* sp. IB Ta 10m увеличивал массу на 26%, но одновременно способствовал максимальному удлинению корней. *Pseudomonas* sp. IB Ta E2 и *Rugamonas* sp. IB St A16-3-1 достоверно не влияли на массу корней проростков, но активировали их рост в длину почти на 20%, что приводило к образованию заметно более тонких корней. *Dietzia* sp. MX5 вызывал некоторое снижение суммарной длины корней проростков при неизменной массе корня, а *Pseudomonas* sp. IB Ta E1-2 в большей степени снижал массу корня, а не длину. Такое разнообразие ростовых ответов проростков пшеницы на присутствие разных бактериальных штаммов связано не только со способностью бактерий разрушать АБК, но и с целым комплексом выделяемых во внешнюю среду метаболитов. Так известно, что хорошо охарактеризованные штаммы, способные метаболизировать АБК, выделенные из прикорневой зоны риса *Rhodococcus* sp. P1Y и *Novosphingobium* sp. P6W [Belimov et al., 2014] отличались по спектру синтезируемых веществ, в том числе и гормонов, и по-разному влияли на рост растений. Соответственно, выявление механизмов влияния изученных нами бактериальных штаммов на рост растений, может иметь научный интерес, и стать предметом дальнейшего изучения. На данном этапе исследований нам удалось обнаружить, по меньшей мере, 4 штамма *P. plecoglossicida* 2.4-D, *Pseudomonas* sp. IB Ta 10m, *Pseudomonas* sp. IB K11-

1, *Arthrobacter* sp. IB Та Ж5, которые могут быть не только отнесены к АБК-деструкторам, но и которые позитивно влияли на рост проростков пшеницы, стимулируя увеличение массы проростков и активацию роста корней. В связи с этим они могут быть перспективными для изучения их в качестве природных модуляторов содержания АБК в почве и растениях.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23–26–00104.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремкалиев Т.С., Гоголев Н.Е., Гоголев Ю.В., и др. Метаболизм абсцизовой кислоты, содержащей атомы дейтерия в циклогексиновой части молекулы, под действием ризосферных бактерий // Химико-фармацевтический журнал. 2021. Т. 55 (7). С. 60–64. DOI: [10.30906/0023-1134-2021-55-7-60-64](https://doi.org/10.30906/0023-1134-2021-55-7-60-64)
2. Инчагова К.С., Дускаев Г.К., Дерябин Д.Г. Подавление «кворум сенсинга» *Chromobacterium violaceum* при воздействии комбинаций амикацина с активированным углем или малыми молекулами растительного происхождения (пирогаллолом и кумарином) // Микробиология. 2019. Т. 88 (1). С. 72–82. DOI: [10.1134/S0026365619010142](https://doi.org/10.1134/S0026365619010142)
3. Кузьмина Л.Ю., Высоцкая Л.Б., Галимзянова Н.Ф., и др. Новые штаммы фосфатмобилизующих бактерий, продуцирующие ауксин, перспективные для сельско-хозяйственной биотехнологии // Известия УфНИЦ. 2015. № 1. С. 40-52. EDN: TNACIH
4. Турская А.Л., Ульданова А.А., Степанов А.В., и др. Зависимость образования биопленок *Pectobacterium carotovorum* от источника углерода // Микробиология. 2017. Т. 86 (1). С. 47–53. DOI: [10.7868/S0026365617010165](https://doi.org/10.7868/S0026365617010165)
5. Полюдова Т.В., Шагдарова Б.Ц., Коробов В.П., и др. Бактериальная адгезия и образование биопленок в присутствии хитозана и его производных // Микробиология. 2019. Т. 88 (2). С. 129–136. DOI: [10.1134/S0026365619020083](https://doi.org/10.1134/S0026365619020083)
6. Четвериков С.П., Шарипов Д.А., Коршунова Т.Ю., и др. Разложение перфтороктансульфоната штаммом *Pseudomonas plecoglossicida* 2.4-Д // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. Т. 53 (5). С. 477–483. DOI: [10.7868/S0555109917050026](https://doi.org/10.7868/S0555109917050026)
7. Aktuganov G.E., Safina V.R., Galimzianova N.G., et al. Constitutive chitosanase from *Bacillus thuringiensis* B-387 and its potential for preparation of antimicrobial chitooligomers // World J. Microbiol. Biotechnol. 2022. V. 38 (167). P. 1-15. DOI: [10.1007/s11274-022-03359-5](https://doi.org/10.1007/s11274-022-03359-5)
8. Bakaeva M., Kuzina E., Vysotskaya L., et al. Capacity of pseudomonas strains to degrade hydrocarbons, produce auxins and maintain plant growth under normal conditions and in the presence of petroleum contaminants // Plants. 2020. V. 9(3). P. 379. DOI: [10.3390/plants9030379](https://doi.org/10.3390/plants9030379)
9. Belimov A.A., Dodd I.C., Safronova V.I., et al. Abscisic acid metabolizing rhizobacteria decrease ABA concentrations *in planta* and alter plant growth // Plant Physiol. Biochem. 2014. V. 74. P. 84-91. DOI: [10.1016/j.plaphy.2013.10.032](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.10.032)
10. Chen K.Li.G., Bressan R.A., Song C., et al. Abscisic acid dynamics, signaling and functions in plants // J. Integr. Plant. Biol. 2020. V. 62. P. 25–54. DOI: [10.1111/jipb.12899](https://doi.org/10.1111/jipb.12899)
11. Gharibzahedi S. M.T., Razavi S.H., Mousavi S.M. Characterization of bacteria of the genus *Dietzia*: an updated review // Ann. Microbiol. 2014. V. 64. P. 1–11. DOI: [10.1007/s13213-013-0603-3](https://doi.org/10.1007/s13213-013-0603-3)

12. Gogoleva N.E., Nikolaichik J.A., Ismailov T.T., et al. Complete genome sequence of the abscisic acid-utilizing strain *Novosphingobium* sp. // *Biotech.* 2019. V. 9 (94). P. 1-8. DOI: [10.1007/s13205-019-1625-8](https://doi.org/10.1007/s13205-019-1625-8)
13. Kageyama A., K. Morisaki, S. Omura, Y. Takahashi *Arthrobacter oryzae* sp. nov. and *Arthrobacter humicola* sp. Nov // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 2008. V. 58. P. 53–56. DOI: [10.1099/ijs.0.64875-0](https://doi.org/10.1099/ijs.0.64875-0)
14. King E.O., Ward M.K., Raney D.E. Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein // *Journal of Laboratory and Clinical Medicine.* 1954. V. 44. P. 301-307. DOI: [10.5555/uri:pii:002221435490222X](https://doi.org/10.5555/uri:pii:002221435490222X)
15. Kudoyarova G.R., Melentiev A.I., Martynenko E.V., et al. Cytokinin producing bacteria stimulate amino acid deposition by wheat roots // *Plant Physiol. Biochem.* 2014. V. 83. P. 285–291. DOI: [10.1016/j.plaphy.2014.08.015](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.015)
16. Kudoyarova G.R., Vysotskaya L.B., Arkhipova T.N., et al. Effect of auxin producing and phosphate solubilizing bacteria on mobility of soil phosphorus, growth rate, and P acquisition by wheat plants // *Acta Physiol. Plant.* 2017. V. 39. P. 253. DOI: [10.1007/s11738-017-2556-9](https://doi.org/10.1007/s11738-017-2556-9)
17. Lu H., Deng T., Cai Z., et al. *Janthinobacterium violaceinigrum* sp. nov., *Janthinobacterium aquaticum* sp. nov. and *Janthinobacterium rivuli* sp. nov., isolated from a subtropical stream in China // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2020. V. 70 (4). P. 2719–2725. DOI: [10.1099/ijsem.0.004097](https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004097)
18. Mahmud K., Missaoui A., Lee K., et al. Rhizosphere microbiome manipulation for sustainable crop production // *Current Plant Biol.* 2021. V. 27. P. 100210. DOI: [10.1016/j.cpb.2021.100210](https://doi.org/10.1016/j.cpb.2021.100210)
19. Maksimov I. V., Abizgil'dina R. R., Pusenkova L. I. Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Alternative to Chemical Crop Protectors from Pathogens (Review) // *Appl. Biochem. Microbiol.* 2011. V. 4. P. 333–345. DOI: [10.1134/S0003683811040090](https://doi.org/10.1134/S0003683811040090)
20. Ventosa A., Quesada E., Rodriguez-Valera F., et al. Numerical taxonomy of moderately halophilic gram-negative rods // *Journal of General Microbiology.* 1982. V. 128 (9). P. 1959–1968. DOI: [10.1099/00221287-128-9-1959](https://doi.org/10.1099/00221287-128-9-1959)
21. Verhille S.N., Dabboussi B.F., Izard D.H. Leclerc Taxonomic Study of Bacteria Isolated from Natural Mineral Waters: Proposal of *Pseudomonas jessenii* sp. nov. and *Pseudomonas mandelii* sp. nov. System // *Appl. Microbiol.* 1999. V. 22. P. 45-58. DOI: [10.1016/S0723-2020\(99\)80027-7](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(99)80027-7)
22. Vysotskaya L.B., Korobova, A.V., Veselov S.Y., et al. ABA mediation of shoot cytokinin oxidase activity: Assessing its impacts on cytokinin status and biomass allocation of nutrient deprived durum wheat // *Funct. Plant Biol.* 2009. V. 36, P. 66–72. DOI: [10.1071/FP08187](https://doi.org/10.1071/FP08187)
23. Yuzikhin, O.S., Gogoleva, N.E., Shaposhnikov A.I. et al Rhizosphere bacterium *Rhodococcus* sp. PIY metabolizes abscisic acid to form dehydrovomifoliol // *Biomolecules.* 2021. V. 25. P.345. DOI: [10.3390/biom11030345](https://doi.org/10.3390/biom11030345)
24. Zeevaart J.A.D., Creelman R.A. Metabolism and Physiology of Abscisic Acid // *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1988. V. 39. P. 439–473.

Цитировать как

Рябова А.С., Кузьмина Л.Ю., Мартыненко Е.В., Четвериков С.П., Мильман П.Ю., Высоцкая Л.Б. Выявление штаммов-деструкторов АБК и их влияние на всхожесть семян и рост проростков пшеницы // *Экобиотех,* 2023, Т. 6 № 3, С. 190-199. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-190-199](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-190-199), EDN: JYCAIA

Cited as

Ryabova A.S., Kuzmina L.Yu., Martynenko E.V., Chetverikov S.P., Milman P.Yu., Vysotskaya L.B. Identification of ABA-destroyer strains and their influence on seed germination and growth of wheat seedlings. *Ekobiotech.* 2023, V. 6 (3). P. 190-199. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-190-199](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-190-199), EDN: JYCAIA (In Rus.)