



## ВЛИЯНИЕ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА РОСТ И СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ ТОМАТА

<sup>1,2</sup>Масленникова Д.Р.\*, <sup>1,2</sup>Чубукова О.В., <sup>1,2</sup>Вершинина З.Р., <sup>2</sup>Емелина А.А.,  
<sup>2</sup>Насырова К.Р., <sup>1,2</sup>Хакимова Л.Р., <sup>1,2</sup>Михайлова Е.В.

<sup>1</sup>Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Россия, 450054, Уфа, пр. Октября 71, лит. 1Е.

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кафедра «Школа молекулярных технологий», Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

\*E-mail: [dishaoil@mail.ru](mailto:dishaoil@mail.ru)

### Резюме

Анализировали сухую биомассу растений и содержание пигментов в листьях томата сорта Грунтовый Грибовский 1180 через 30 дней после инокуляции ростостимулирующими штаммами бактерий *Pseudomonas* sp. 2.4.1 и *Stenotrophomonas* sp. 2.13. Выявлено, что штамм *Pseudomonas* sp. 2.4.1 стимулировал накопление биомассы растений эффективнее чем *Stenotrophomonas* sp. 2.13, что положительно коррелировало с повышением содержания хлорофилла и каротиноидов в листьях томата. Таким образом, содержание пигментов в растениях может служить маркером эффективности ассоциативных симбиозов между растениями томата и различными микроорганизмами.

**Ключевые слова:** *Lycopersicon esculentum*, биомасса, хлорофилл, каротиноиды, ассоциативный симбиоз

**Цитирование:** Масленникова Д.Р., Чубукова О.В., Вершинина З.Р., Емелина А.А., Насырова К.Р., Хакимова Л.Р., Михайлова Е.В. Влияние ростостимулирующих бактерий на рост и содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений томата // *Biomics*. 2021. Т.13(3). С.274-279. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-18

© Авторы

## EFFECT OF PGPR BACTERIA ON GROWTH AND CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN THE LEAVES OF TOMATO PLANTS

<sup>1,2</sup>Maslennikova D.R.\*, <sup>1,2</sup>Chubukova O.V., <sup>1,2</sup>Vershinina Z.R., <sup>2</sup>Emelina A.A.,  
<sup>2</sup>Nasyrova K.R., <sup>1,2</sup>Khakimova L.R., <sup>1,2</sup>Mikhaylova E.V.

<sup>1</sup>Institute of Biochemistry and Genetics - Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Russia, 450054, Ufa, Prospekt Oktyabrya, 71, lit. 1E

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technological University" (USPTU), Department of molecular technologies, Russia, 450064, Ufa, Kosmonavtov st. 1

\*E-mail: [dishaoil@mail.ru](mailto:dishaoil@mail.ru)

### Resume

The dry biomass of plants and the content of pigments in the leaves of tomato cultivar Gruntovy Gribovskiy 1180 were analyzed 30 days after inoculation with growth-stimulating bacterial strains *Pseudomonas* sp. 2.4.1 and *Stenotrophomonas* sp. 2.13. It was revealed that the *Pseudomonas* sp. 2.4.1 strain stimulated the

accumulation of plant biomass more efficiently than *Stenotrophomonas* sp. 2.13, which positively correlated with an increase in the content of chlorophyll and carotenoids in tomato leaves. Thus, the content of pigments in plants can serve as a marker of the effectiveness of associative symbiosis between tomato plants and various microorganisms.

**Key words:** *Lycopersicon esculentum*, biomass, chlorophyll, carotenoids, associative symbiosis

**Citation:** Maslennikova D.R., Chubukova O.V., Vershinina Z.R., Emelina A.A., Nasyrova K.R., Khakimova L.R., Mikhaylova E.V. Effect of PGPR bacteria on growth and content of photosynthetic pigments in the leaves of tomato plants. *Biomcs*. 2021. V.13(3). P.274-279. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-18

## © Authors

### Введение

С каждым годом все больше видов микроорганизмов находят свое применение в сельском хозяйстве. Связано это с тем, что разнообразные бактерии и грибы способны улучшать физико-химические свойства почвы, способствовать росту и развитию растений, защищать от фитопатогенов, а также повышать продуктивность сельскохозяйственных культур [Lobo et al., 2019]. Так, одной из стратегий экологического земледелия и растениеводства является применение бактерий, которые способны ускорять рост растений – это так называемые ростостимулирующие ризобактерии PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria). Их применение является одним из технологических приемов повышения урожая культурных растений. К PGPR относятся микроорганизмы родов *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Azospirillum*, *Rhizobium* и др. [Dutta, Podile, 2010; Иванчина, Гарипова (Ivanchina, Garipova), 2012]. PGPR бактерии способны оказывать ряд положительных эффектов на растения за счет различных процессов, в том числе благодаря способностям к фиксации молекулярного азота атмосферы и мобилизации труднорастворимых фосфатов, синтезу веществ гормональной природы (ауксинов, гибберелинов, цитокининов), витаминов и веществ с антифунгальной активностью, а также способности обезвреживать экопеллютанты [Morgun et al., 2009; Vejan et al., 2016].

Образование метаболитов фитогормональной природы является одним из важнейших свойств ризобактерий, которое непосредственно отражается на стимуляции роста растений. Так, введение в ризосферу пшеницы разных штаммов *Bacillus*, различающихся по синтезу цитокининов, показало, что биомасса растений и содержание фитогормонов в тканях этой сельскохозяйственной культуры в присутствии бактерий, неспособных к синтезу цитокининов, не отличались от контрольных значений. При этом, инокуляция бактериями - продуцентами цитокининов приводила к значительному росту растений, и уровень хлорофилла

в их листьях был сопоставим с уровнем, который вызывает обработка 6-бензиламинопурином [Архипова и др. (Arkhipova et al.), 2006]. Аналогичные результаты были получены после инокуляции семян пшеницы эндофитным штаммом *B. subtilis* - наблюдалась стимуляция роста растений и повышение содержания суммы хлорофиллов и каротиноидов в их листьях [Смирнова и др. (Smirnova et al.), 2018].

Томат (*Lycopersicon esculentum* L.) является популярной и распространенной сельскохозяйственной культурой, как в Российской Федерации, так и во всем мире. В связи с этим, в рамках разработки стратегии экологически безопасного повышения урожайности этой культуры, актуален поиск новых эффективных бактерий-микросимбионтов. Достаточно много работ, показывающих, что перспективными в качестве PGPR для томатов могут являться представители родов *Pseudomonas* и *Stenotrophomonas* [Вершинина и др. (Vershinina et al.), 2019; Naque et al., 2020].

Несомненно, одним из показателей эффективности ассоциативного симбиоза томатов с бактериями являются физиолого-биохимические параметры растений, такие как биомасса и состояние фотосинтетического аппарата растений томата, а именно содержание основных пигментов фотосинтеза. В связи с этим, цель данной работы состояла в оценке влияния штаммов *Pseudomonas* sp. 2.4.1 и *Stenotrophomonas* sp. 2.13 на сухую биомассу проростков томата и пигментный состав листьев этих растений.

### Материалы и методы

В качестве объекта использовали штаммы граммотрицательных почвенных бактерий из коллекции клубеньковых и ризосферных бактерий “Симбионт” ИБГ УФИЦ РАН *Pseudomonas* sp. 2.4.1 и *Stenotrophomonas* sp. 2.13, выделенные из клубеньков дикорастущих бобовых растений Южного Урала.

Для инокуляции растений бактерии наращивали при 28°C на шейкере (150 об/мин) в течение двух суток в среде LB (масс. % в водном растворе: бактотриптон 1%, дрожжевой экстракт

0.5%, NaCl 0.5%) до концентрации  $10^8$  КОЕ/мл. Суспензию бактерий разбавляли до  $10^5$  КОЕ/мл стерильной жидкой средой LB.

Семена томата сорта Грунтовый Грибовский 1180 стерилизовали в течение 2 мин в 70% спирте и затем 15 минут в 1% растворе гипохлорита натрия с добавлением нескольких капель Tween-20. Семена проращивались на фильтровальной бумаге, смоченной стерильной водой, в пластиковых емкостях Magenta (США) в течение 2 недель при 28°C, затем инокулировались штаммами бактерий в течение 10 мин и высаживались в стерильный универсальный грунт TERRA VITA «Агрохимзем» (Россия). В качестве контроля высаживали необработанные бактериями семена. После 1 месяца культивирования корни инокулированных и контрольных растений отмывали от почвы, растения делили на 2 части — корни и стебель с листьями — и высушивали в сушильном шкафу до постоянного веса, а затем взвешивали. Каждый вариант опыта содержал не менее 15 растений.

Экстракцию и определение содержания пигментов в растительных тканях проводили согласно

[Jerey, Humphrey, 1975]. Для этого листья растений (0,05 г) гомогенизировали в 90% этаноле (10 мл) с добавлением  $\text{CaCO}_3$  и фильтровали. Оптическую плотность отфильтрованных экстрактов измеряли с помощью спектрофотометра SmartSpec™ Plus spectrophotometer, (Bio-Rad, USA) при 663 (Хл а), 646 (Хл b) и 470 нм (Кар).

В таблицах представлены данные средних арифметических трех–четырёх независимых опытов, каждый из которых проведен в трех биологических повторах, и стандартные ошибки. Полученные результаты обрабатывали статистически с помощью дисперсионного анализа ANOVA, используя SPSS 13.0 для Windows (SPSS Inc., Chicago, IL USA). Достоверные различия между средними рассчитывали с помощью LSD-теста при  $p < 0.05$ .

### Результаты и их обсуждение

Инокуляция корней томата в течение 30 дней штаммами *Pseudomonas* sp. 2.4.1 и *Stenotrophomonas* sp. 2.13 стимулировала рост этих растений (таблица 1).

Таблица 1

Влияние 30 дневного присутствия *Stenotrophomonas* sp. и *Pseudomonas* sp. в ризосфере на сухую биомассу корней и листьев растений томата

Table 1 - The effect of the 30-day presence of *Stenotrophomonas* sp. and *Pseudomonas* sp. in the rhizosphere on dry biomass of the roots and leaves of the tomato plants

Вариант / Variant	Воздушно-сухая биомасса, мг / Dry biomass, mg	
	корней одного растения roots of one plant	листьев одного растения leaves of one plant
Контроль / Control	1,8 ± 0.072	5,1 ± 0.20
<i>Stenotrophomonas</i> sp.	1,98 ± 0.077	5,5 ± 0.22
<i>Pseudomonas</i> sp.	2,52 ± 0.10	6,37 ± 0.26

Представлены средние значения и их стандартные ошибки.

Data are mean values and standard deviations.

Присутствие *Stenotrophomonas* sp. 2.13 приводило к накоплению сухой биомассы корней и листьев на 107-110% больше относительно контроля; достоверных визуальных отличий между этими вариантами опыта не наблюдалось (рис. 1А, В). Наиболее выраженный ростостимулирующий эффект на томаты оказывало присутствие бактерий *Pseudomonas* sp. 2.4.1. Сухая биомасса корней растений, инокулированных данным штаммом, была на 140%, а наземной части - на 125-130% больше по сравнению с необработанными контрольными растениями. Визуально эти растения выгодно отличались и характеризовались более пышной листвой по сравнению с контрольными или выращенными в присутствии *Stenotrophomonas* sp. 2.13 (рис. 1Б).

Интересным является факт того, что присутствие *Pseudomonas* sp. 2.4.1 в ризосфере приводило к ускорению роста и накоплению сухой биомассы листьев томата. Рост является интегральным показателем физиологического состояния, который позволяет оценить эффективность различных воздействий на продуктивность растений. Способность бактерий стимулировать рост корней зачастую обусловлена выработкой различных ауксинов, которые могут также способствовать развитию побегов, стимулируя деление и рост клеток растений [Sraeren et al., 2007]. В ряде работ показано увеличение сухой биомассы листьев растений, инокулированных цитокининпродуцирующими штаммами бактерий [Моргун и др. (Morgun et al.), 2009].



Рис. 1. Проростки томатов через месяц после инокуляции бактериями. А – контроль;

Б - *Pseudomonas* sp. 2.4.1; В - *Stenotrophomonas* sp. 2.13

Fig. 1. Tomato seedlings a month after inoculation with

bacteria. А – control; Б - *Pseudomonas* sp. 2.4.1;

В - *Stenotrophomonas* sp. 2.13

Уровень продуктивности растений определяется интенсивностью фотосинтеза, который обеспечивает накопление сухой биомассы растений. В связи с этим, было важно оценить влияние бактерий на состояние фотосинтетического аппарата, а именно содержание основных фотосинтезирующих пигментов - хлорофилла (хлорофилл *a* и *b*) и каротиноидов (Кар). Поскольку содержание пигментов и их состояние в листьях, несомненно, связаны как с продуктивностью, так и с устойчивостью растений к стрессовым воздействиям, исследование пигментного комплекса может оказаться полезным для оценки корреляции роста с присутствием бактерий в ризосфере исследуемых растений.

В ходе работы было обнаружено, что присутствие бактерий *Stenotrophomonas* sp. 2.13 незначительно влияло на содержание пигментов, особенно Кар, их содержание составляло на 107%, для Хл *a* на 120% и Хл *b* на 125% больше контроля (табл. 2).

Таблица 2

Влияние 30 дневного присутствия *Stenotrophomonas* sp. и *Pseudomonas* sp. в ризосфере на содержание пигментов (мг/г сырой массы) в листьях растений томата  
Table 2 - The effect of the 30-day presence of *Stenotrophomonas* sp. and *Pseudomonas* sp. in the rhizosphere for pigment content (mg / g FW) in tomato leaves

Вариант / Variant	Хлорофилл <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i> Chlorophyll <i>b</i>	Каротиноиды Carotenoids
Контроль / Control	1,28 ± 0,051	0,36 ± 0,014	0,39 ± 0,015
<i>Stenotrophomonas</i> sp.	1,54 ± 0,061	0,45 ± 0,018	0,42 ± 0,016
<i>Pseudomonas</i> sp.	1,91 ± 0,076	0,62 ± 0,025	0,55 ± 0,022

В листьях растений томата, корни которых подвергались 30-дневной инокуляции бактериями *Pseudomonas* sp. 2.4.1, содержалось значительно больше пигментов по сравнению с контролем и листьями растений, корни которых были обработаны *Stenotrophomonas* sp. 2.13. Содержание Хл *a* повысилось на 150%, Хл *b* на 172%, Кар на 141% относительно контрольного уровня (табл. 2).

Хорошо известно, что хлорофилл выполняет функцию сбора энергии света и ее трансформацию в энергию химической связи. Хлорофилл *a* поглощает свет в фиолетовой, голубой и красной частях спектра, отражая в основном зелёный цвет, что и придаёт ему характерную окраску [Петрова, Петров (Petrova, Petrov) 2013]. Спектр его поглощения расширяется за счёт хлорофилла *b*, таким образом, выявленное в работе накопление хлорофилла *a* и *b* в растениях, инокулированных *Pseudomonas* sp. 2.4.1,

свидетельствует о том, что в листьях этих томатов фотосинтез протекает на более высоком уровне. Значительное повышение содержания каротиноидов расширяет спектр поглощения сине-зеленого света, способствует повышению эффективности и более стабильному протеканию фотосинтеза. Это в совокупности приводит к увеличению производительности фотосинтеза, что отражается в значительном накоплении биомассы листьев растений томата.

Таким образом, было обнаружено, что присутствие в течение 30 дней бактерий *Pseudomonas* sp. 2.4.1 в ризосфере томата приводит к значительному накоплению сухой биомассы растений и повышению уровня фотосинтетической активности в листьях, что наблюдается в гораздо меньшей степени в экспериментах со *Stenotrophomonas* sp. 2.13. Полученные результаты показывают перспективность

использования штамма *Pseudomonas* sp. 2.4.1 в качестве биоудобрения для растений томата. Показатели биомассы и содержания пигментов в листьях могут быть в дальнейшем использованы в качестве удобного инструмента для оценки эффективности ассоциативного симбиоза между растениями и микроорганизмами.

Работа была выполнена в рамках госзадания (№ гос. регистрации АААА-А21-121011990120-7) с привлечением приборного парка ЦКП «Биомика» (Отделение биохимических методов исследований и нанобиотехнологии РЦКП «Агидель») и УНУ «КОДИНК».

### Литература

1. Архипова Т.Н., Веселов С.Ю., Мелентьев А.И., Мартыненко Е.В., Кудоярова Г.Р. Сравнение действия штаммов бактерий, различающихся по способности синтезировать цитокинины, на рост и содержание цитокининов в растениях пшеницы // Физиология растений. 2006. Т. 53. (4). С. 567-574.
2. Вершинина З.Р., Хакимова Л.Р., Лавина А.М., Каримова Л.Р., Федяев В.В., Баймиев А.Х., Баймиев Ал.Х. Взаимодействие томатов (*Solanum lycopersicum* L.), трансформированных *RapAI*, с бактериями *Pseudomonas* sp. 102, устойчивыми к высоким концентрациям кадмия, как основа эффективной симбиотической системы для фиторемедиации // Биотехнология. 2019. Т. 35. (2). С. 38-48. doi: 10.21519/0234-2758-2019-35-2-38-48
3. Иванчина Н.В., Гарипова С.Р. Влияние ростостимулирующих бактерий (PGPB) на продуктивность и устойчивость растений // Агрохимия. 2012. № 7. С. 87-95
4. Моргун В.В., Коц С.Я., Кириченко С.Е. Ростостимулирующие ризобактерии и их практическое применение // Физиология и биохимия культурных растений. 2009. Т. 41(3). С. 187-207.
5. Смирнова Ю.В., Курамшина З.М., Гамоненко О.В. Влияние эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* на содержание фотосинтетических пигментов в растениях пшеницы при воздействии никеля // Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн. 2018. № 12(54). <http://universum.com/ru/nature/archive/item/6661>
6. Физиология растений. Фотосинтез: метод. указ. к практическим работам для студентов всех форм обучения направления 280700.62 «Техносферная безопасность» по дисциплине «Экология» / сост. Е.Ю. Петрова; Г.Л.Петров; Тюменский государственный нефтегазовый университет.– Тюмень: Издательский центр БИК ТюмГНГУ 2013. 24 с.
7. Dutta S., Podile A.R. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): the bugs to debug the root zone //

Crit Rev Microbiol. 2010. V. 36(3). P. 232-44. doi: 10.3109/10408411003766806

8. Haque M., Mosharaf M.K., Khatun M., Biswas M., Islam M., Shozib H. B., ... & Siddiquee M. A. Biofilm producing rhizobacteria with multiple plant growth-promoting traits promote growth of tomato under water-deficit stress. *Frontiers in Microbiology*. 2020. V. 11. P. 29-54. doi: org/10.3389/fmicb.2020.542053
9. Jerey S.; Humphrey G. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // *Biochem. Physiol. Pfl.* 1975. V. 167. P. 191-194.
10. Lobo C.B., Juárez Tomás M.S., Viruel E., Ferrero M.A., Lucca M.E. Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural technologies // *Microbiol Res.* 2019. V. 219. P. 12-25. doi: 10.1016/j.micres.2018.10.012
11. Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling // *FEMS Microbiol. Rev.* 2007. V. 31(4). P. 425-448. doi: org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x
12. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Nasrulhaq Boyce A. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability-A review // *Molecules.* 2016. V. 21(5). P. 573. doi: 10.3390/molecules21050573

### References

1. Arkhipova T.N., Melent'ev A.I., Martynenko E.V., Kudoyarova G.R., Veselov S.Yu. Comparison of effects of bacterial strains differing in their ability to synthesize cytokinins on growth and cytokinin content in wheat plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2006. V. 53 (4). P. 507-513. doi: 10.1134/S1021443706040121
2. Dutta S., Podile A.R. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): the bugs to debug the root zone // *Crit Rev Microbiol.* 2010. V. 36(3). P. 232-44. doi: 10.3109/10408411003766806
3. Физиология растений. Фотосинтез: метод. указ. к практическим работам для студентов всех форм обучения направления 280700.62 «Техносферная безопасность» по дисциплине «Экология»/сост. Е.Ю. Петрова; Г.Л.Петров; Тюменский государственный нефтегазовый университет.– Тюмень: Издательский центр БИК ТюмГНГУ. 2013. 24 с. [Plant physiology. Photosynthesis: methods for practical work for students of all forms of education in the direction 280700.62 "Technosphere safety" in the discipline "Ecology"] (In Russian).
4. Haque, M., Mosharaf, M. K., Khatun, M., Biswas, M., Islam, M., Shozib, H. B., ... & Siddiquee, M. A. Biofilm producing rhizobacteria with multiple plant growth-promoting traits promote growth of tomato under water-

- deficit stress. *Frontiers in Microbiology*. 2020. V. 11. P. 29-54. doi: [org/10.3389/fmicb.2020.542053](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.542053)
5. Ivanchina N.V., Garipova S.R. Vlijanie roststimulirujushhij bakterij (PGPB) na produktivnost' i ustojchivost' rastenij. *Agroximiya*. 2012. № 7. S. 87–95. [The effect of growth-stimulating bacteria (PGPB) on plant productivity and resistance] (In Russian).
6. Jerey S.; Humphrey G. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // *Biochem. Physiol. Pfl.* 1975. V. 167. P. 191–194.
7. Lobo C.B., Juárez Tomás M.S., Viruel E., Ferrero M.A., Lucca M.E. Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural technologies // *Microbiol Res.* 2019 V. 219. P. 12-25. doi: [10.1016/j.micres.2018.10.012](https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.10.012)
8. Morgun V.V., Koc S.Ja., Kirichenko S.E. Roststimulirujushhie rizobakterii i ih prakticheskoe primenenie. *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*. 2009. V. 41 (3). S. 187-207. [Growth-stimulating rhizobacteria and their practical application] (In Russian).
9. Smirnova Ju.V., Kuramshina Z.M., Gamonenko O.V. Vlijanie jendofitnyh bakterij *Bacillus subtilis* na sodержanie fotosinteticheskij pigmentov v rastenijah pshenicy pri vozdejstvii nikelja. *Universum: Himija i biologija: jelektron. nauchn. zhurn.* 2018. V. 12(54). [Influence of endophytic bacteria *Bacillus subtilis* on the content of photosynthetic pigments in wheat plants exposed to nickel] (In Russian). <http://universum.com/ru/nature/archive/item/6661>
10. Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling // *FEMS Microbiol. Rev.* 2007. V. 31(4). P. 425-448.
11. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Nasrulhaq Boyce A. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability-A review // *Molecules*. 2016. V. 21(5). P. 573. doi: [10.3390/molecules21050573](https://doi.org/10.3390/molecules21050573)
12. Vershinina Z.R., Khakimova L.R., Lavina A.M., Karimova L.R., Fedyayev V.V., Baymiev An.K., Baymiev Al. K. Interaction of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) transformed by *rapA1* gene with *Pseudomonas* sp. 102 bacteria resistant to high cadmium concentrations as a basis for effective symbiotic phytoremediation system. *Biotechnology in Russia*. 2019. V. 2. P. 38-48. doi: [10.21519/0234-2758-2019-35-2-38-48](https://doi.org/10.21519/0234-2758-2019-35-2-38-48)