

БИОХИМИЯ BIOCHEMISTRY

DOI: 10.29413/ABS.2019-4.5.2

Образование индолилуксусной кислоты энтеробактериями, патогенными для человека*

Турская А.Л.¹, Беловежец Л.А.², Путилина Т.Е.¹, Быбин В.А.¹, Духанина А.В.³, Маркова Ю.А.¹

¹ ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН (664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132, Россия);

² ФГБУН Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН (664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1, Россия); ³ ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (664003, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 16, Россия)

Автор, ответственный за переписку: Турская Анна Леонидовна, e-mail: turskaya-anna@mail.ru

Резюме

Обоснование. В настоящее время особый интерес приобретает проблема колонизации растений бактериями, патогенными для человека. Среди бактерий, способных к полигостальности, особый интерес представляют виды семейства *Enterobacteriaceae*, которое включает в себя как фитопатогенные, так и патогенные для человека микроорганизмы. Показано, что фрукты и овощи, загрязненные такими патогенами, способны быть причиной кишечных инфекций человека. Являясь одним из путей коммуникации в системе «растение – микроорганизм», возможно, именно синтез индолилуксусной кислоты (ИУК) *Enterobacteriaceae* обуславливает скорость роста бактерий, способствуя более быстрой колонизации растения.

Цель: сравнительное изучение синтеза ИУК разными видами энтеробактерий.

Методы. В изучении использовались 8 видов энтеробактерий, 7 из которых изолированы от больных людей, а также фитопатоген *Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum*. Работа выполнялась с применением микробиологических и спектрофотометрических методов исследования.

Результаты. Изучена способность синтеза ИУК условно-патогенными микроорганизмами, относящимися к семейству *Enterobacteriaceae*. Выяснено, что большинство изученных штаммов синтезируют ИУК. Проведены исследования по влиянию на синтез ИУК введения в питательную среду триптофана и обогащения её глюкозой, а также варьирования температурного режима культивирования бактерий.

Ключевые слова: *Enterobacteriaceae*, индолилуксусная кислота, растительно-микробные взаимодействия

Для цитирования: Турская А.Л., Беловежец Л.А., Путилина Т.Е., Быбин В.А., Духанина А.В., Маркова Ю.А. Образование индолилуксусной кислоты энтеробактериями, патогенными для человека. *Acta biomedica scientifica*. 2019; 4(5): 14-18. doi: 10.29413/ABS.2019-4.5.2

Formation of Indoleacetic Acid by Enterbacteria Pathogenic for Human*

Turskaya A.L.¹, Belovezhets L.A.², Putilina T.E.¹, Bybin V.A.¹, Dukhanina A.V.³, Markova Yu.A.¹

¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS (Lermontov str. 132, Irkutsk 664033, Russian Federation);

² A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS (Favorsky str. 1, Irkutsk 664033, Russian Federation); ³ Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems (Timiryazev str. 16, Irkutsk 664003, Russian Federation)

Corresponding author: Anna L. Turskaya, e-mail: turskaya-anna@mail.ru

Abstract

Background. At present, the problem of plant colonization by bacteria pathogenic for human is of particular interest. Among the bacteria capable of polyhostality, species of the *Enterobacteriaceae* family, which includes both phytopathogenic and human pathogens, are of particular interest. Fruits and vegetables contaminated with such pathogens have been shown to be able to cause human intestinal infections. Being one of the ways of communication in the plant-microorganism system, it is possible that the synthesis of indole acetic acid (IAA) by *Enterobacteriaceae* determines the growth rate of bacteria, contributing to more rapid colonization of the plant.

Aim: comparative study of the synthesis of IAA by different types of enterobacteria.

Methods. Eight types of enterobacteria were used in the study, seven of which were isolated from sick people, as well as the phytopathogen *Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum*. The work was performed using microbiological and spectrophotometric research methods.

Results. The ability of the synthesis of IAA by opportunistic microorganisms belonging to the *Enterobacteriaceae* family was studied. We found that the majority of the studied strains synthesize IAA. Studies on the effect on the synthesis of

* Статья подготовлена на основании доклада, представленного на Всероссийской научной конференции с международным участием «Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания» (4–7 июня 2019 г., Иркутск).

IAA, the introduction into the nutrient medium of tryptophan and its enrichment with glucose, as well as the variation of the temperature regime of the cultivation of bacteria were carried out.

Key words: Enterobacteriaceae, indoleacetic acid, plant-microbial interactions

For citation: Turskaya A.L., Belovezhets L.A., Putilina T.E., Bybin V.A., Dukhanina A.V., Markova Yu.A. Formation of Indoleacetic Acid by Enterobacteria Pathogenic for Human. *Acta biomedica scientifica*. 2019; 4(5): 14-18. doi: 10.29413/ABS.2019-4.5.2

Многочисленными исследованиями показано, что широкий ряд видов прокариот способен колонизировать как растительные, так и животные организмы, что связывают с явлением полигостальности [1, 2, 3, 4]. Колонизируя представителей разных царств живых организмов, бактерии устанавливают с ними ассоциативные либо антагонистические взаимодействия. Для создания таких взаимоотношений микроорганизм должен обладать набором метаболитов, облегчающих размножение и выживание в соответствующих хозяевах.

Одним из метаболитов, способствующих взаимодействию бактерий с растительным организмом, может быть бактериальная индолилуксусная кислота (ИУК). ИУК является одной из главных форм фитогормона ауксина. Её бактериальный синтез изучен достаточно хорошо. Показано, что ИУК синтезируется как фитопатогенными, так и симбиотическими бактериями, так называемыми PGPR-штаммами (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) [5]. В то же время имеются сведения о синтезе этого соединения свободноживущими микроорганизмами [6].

Среди бактерий, способных к колонизации растительных тканей, особый интерес представляют виды семейства Enterobacteriaceae, которое включает в себя как фитопатогенные, так и патогенные для человека микроорганизмы. Фрукты и овощи, загрязнённые такими патогенами, часто становятся причиной кишечных инфекций человека [7]. Являясь одним из путей коммуникации в системе «растение – микроорганизм», возможно, именно синтез ИУК энтеробактериями будет способствовать их колонизации в растительных тканях.

Целью представленных исследований было сравнительное изучение синтеза ИУК разными видами энтеробактерий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящих исследованиях использовались следующие виды энтеробактерий – *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Proteus mirabilis*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Shigella sonnei*, *Shigella flexneri*, *Pectobacterium carotovorum*. Все виды, за исключением последнего, были изолированы от больных людей, находящихся на стационарном лечении в инфекционной больнице г. Иркутска. *Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum*, штамм В-1247, был получен из Всероссийской коллекции микроорганизмов г. Пушкино.

Бактерии культивировали при температурах 4°, 24° и 37 °С в забуференном физиологическом растворе (ЗФР) с добавлением 200 мг/мл триптофана как предшественника синтеза ИУК [8, 9], а также в ЗФР с триптофаном и разными концентрациями глюкозы (1 и 5 г/л). Через 3 суток культивирования бактериальную суспензию центрифугировали 30 мин при 3000 об/мин. 1 мл супернатанта смешивали с 1 мл реактива Сальковского [10]. Развитие розовой окраски показывает наличие ИУК. Оптическую плотность измеряли при 530 нм с помощью спектрофотометра SpecordS-100 (BioRad, США). Концентрацию ИУК определяли с помощью калибровочной кривой. Стати-

стическую значимость различий между вариантами экспериментов проводили с помощью критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ЗФР при добавлении 200 мг/л триптофана и культивировании при 24 °С наиболее высокие концентрации ИУК (334 ± 19 мкг/мл) продуцировал *E. aerogenes*. Достаточно большое количество ИУК было обнаружено в супернатанте *C. freundii* (141 ± 12 мкг/мл) и *P. mirabilis* (184 ± 13 мкг/мл) (рис. 1).

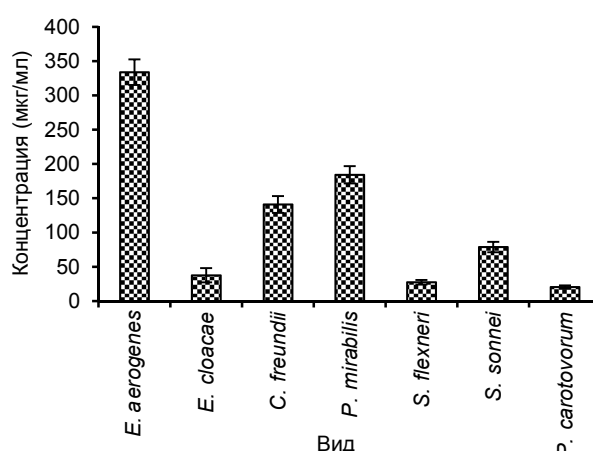


Рис. 1. Количество ИУК (мкг/мл) в супернатанте разных видов энтеробактерий (24 °С).

Fig. 1. The amount of IAA (μg/ml) in the supernatant of different types of enterobacteria (24 °C).

Даже в отсутствие триптофана, который, как известно, является предшественником ИУК, в ЗФР наблюдали высокое содержание ИУК в супернатанте *E. aerogenes* (14 ± 5 мкг/мл) и *P. mirabilis* (139 ± 2 мкг/мл). Внесение триптофана способствовало возрастанию её количества у *E. aerogenes*, *C. freundii*, *P. mirabilis* и *S. sonnei* (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительное количество ИУК (мкг/мл) в супернатанте разных видов энтеробактерий в зависимости от добавления триптофана (200 мг/л), 24 °С

Table 1

Comparative amount of IAA (μg/ml) in the supernatant of different types of enterobacteria depending on the addition of tryptophan (200 mg/l), 24 °C

Вид	ЗФР	ЗФР с триптофаном
<i>E. aerogenes</i>	148 ± 5	334 ± 19
<i>E. cloacae</i>	42 ± 5	38 ± 10
<i>K. pneumoniae</i>	0	0
<i>C. freundii</i>	69 ± 6	141 ± 12
<i>P. mirabilis</i>	139 ± 2	184 ± 13
<i>S. sonnei</i>	25 ± 6	27 ± 3
<i>S. flexneri</i>	35 ± 6	79 ± 8
<i>P. carotovorum</i>	17 ± 5	20 ± 2

Таким образом, виды энтеробактерий *E. aerogenes*, *C. freundii* и *P. mirabilis* являются активными продуцентами ИУК. Штамм *K. pneumoniae* не образовывал данный метаболит.

Известно, что синтез метаболитов бактериями зависит от условий культивирования – в первую очередь, от температуры и состава среды. Поэтому на следующем этапе исследований было изучено влияние температуры на синтез ИУК в ЗФР с добавлением 200 мг триптофана. Использовали температуры 4, 24 и 37 °C (рис. 2).

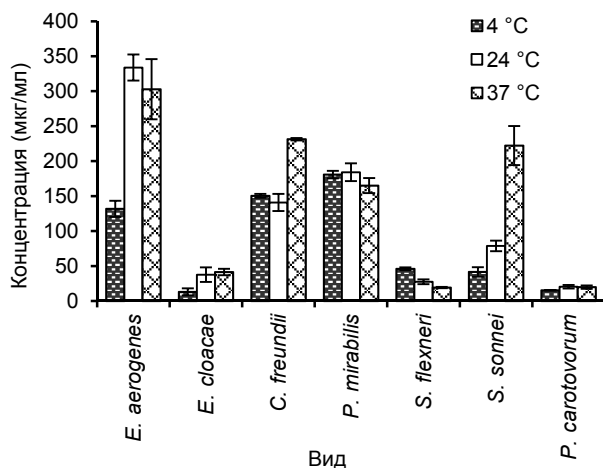


Рис. 2. Количество ИУК (мкг/мл) в супернатанте разных видов энтеробактерий в зависимости от температуры культивирования.

Fig. 2. The amount of IAA (µg/ml) in the supernatant of different types of enterobacteria depending on the cultivation temperature.

В результате попарного сравнения трёх групп были получены следующие результаты. Для видов *E. cloacae*, *P. mirabilis* и *P. carotovorum* не было выявлено значимого влияния температуры на синтез исследуемого метаболита. Остальные виды, за исключением *S. flexneri*, продемонстрировали увеличение синтеза ИУК при возрастании температуры культивирования. Причём для *E. aerogenes* значимый рост количества исследуемого соединения был зафиксирован уже при 24 °C, тогда как для *C. freundii* и *S. sonnei* было показано её увеличение только при 37 °C. *S. flexneri*, напротив, продуцировала большие количества ИУК при 4 °C (рис. 2).

Помимо температурного фактора, немаловажная роль в регуляции биосинтеза ИУК микроорганизмами отводится составу среды [12]. В наших исследованиях мы изучили влияние разных концентраций глюкозы на синтез ИУК, используя ЗФР с 200 мг триптофана, обогащённый глюкозой (1 и 5 г) (рис. 3).

Было показано, что *E. cloacae*, *S. flexneri* и *P. carotovorum* продуцировали ИУК независимо от содержания глюкозы в среде. Для *E. aerogenes*, *C. freundii* и *S. sonnei* было установлено, что добавление в среду культивирования 1 г глюкозы значимо снижало количество синтезируемой ИУК, тогда как при добавлении 5 г количество синтезированного метаболита не отличалось от его содержания в ЗФР без внесения сахара. Количество ИУК, синтезируемого *P. mirabilis* снижалось при внесении сахаров в среду культивирования. Всё изложенное свидетельствует о том, что синтез ИУК не зависит от обогащения голодной среды сахарами.

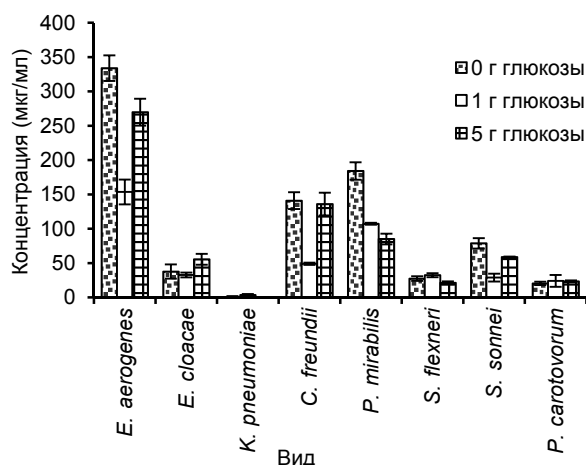


Рис. 3. Количество ИУК (мкг/мл) в супернатанте разных видов энтеробактерий в зависимости от количества глюкозы.

Fig. 3. The amount of IAA (µg/ml) in the supernatant of different types of enterobacteria depending on the amount of glucose.

ОБСУЖДЕНИЕ

Образование растительных гормонов считается одним из главных свойств ризосферных, эпифитных и симбиотических бактерий, стимулирующих и улучшающих рост растений – PGPR-штаммов [5, 13]. При этом увеличивается площадь поверхности корневой системы, что благоприятствует размножению бактерий-колонизаторов [14, 15].

Бактериальный синтез ИУК при отсутствии растения свидетельствует о том, что этот фитогормон может выполнять и иные функции [1, 3]. Известно, например, что ИУК является предшественником синтеза других соединений, например, антракиновой кислоты, которая в свою очередь может быть регулятором экспрессии генов или межклеточным сигналом, аналогичным ацил-гомосеринлактону. Имеются сведения, что образование ИУК можно рассматривать как процесс детоксикации триптофана, который является для прокариот токсическим соединением. Об этом свидетельствует активация синтеза ИУК клетками *A. brasilense*, *E. cloacae*, *P. putida* в условиях стресса (недостаток кислорода и источников углерода, переход в стационарную фазу роста и пр.) [8]. Исследованиями Bianco с соавт. продемонстрировано, что ИУК способна изменять экспрессию генов *E. coli*. Оказалось, что гены, вовлечённые в центральные метаболические пути, такие как цикл трикарбоновых кислот, глиоксилатный шунт и биосинтез аминокислот (лейцина, изолейцина, валина и пролина), активировались ИУК [6].

В наших исследованиях показано, что виды энтеробактерий, выделенные от больных, способны синтезировать фитогормон ИУК. Это свидетельствует о том, что при проникновении в организм растения они могут оказывать влияние на его жизнедеятельность. Из этих видов наиболее активными продуцентами ИУК были виды *E. aerogenes*, *C. freundii* и *P. mirabilis*, причём эти виды образовывали значимые количества метаболита даже в отсутствие триптофана. *K. pneumoniae* в данных условиях культивирования ИУК не образовывала. Оценка вклада температуры культивирования показала, что она увеличивает количество синтезируемого продукта (*E. aerogenes*, *C. freundii*, *S. sonnei*) или не оказывает

влияния на его содержание в супернатанте (*E. cloacae*, *P. mirabilis*, *P. carotovorum*). Отсутствие увеличения количества ИУК при добавлении в среду культивирования глюкозы свидетельствует о том, что этот метаболит, очевидно, формируется в голодной среде. Это можно объяснить тем, что при недостатке углерода или при стрессовых условиях происходит экспрессия ключевого гена биосинтеза ИУК – *ipdC* [16].

Всё изложенное свидетельствует о том, что патогенные и условно-патогенные для человека энтеробактерии, изолированные от больных людей, синтезируют ИУК, которая выполняет функцию фитогормона ауксина. Следовательно, при попадании в организм растения эти виды (в первую очередь *E. aerogenes*, *C. freundii* и *P. mirabilis*) могут оказывать значимое влияние на рост и развитие растительного организма, сопоставимое с таковым эндифитных и разосферных бактерий.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках государственного задания № гос. регистрации АААА-А17-117011810099-8 с использованием коллекций микроорганизмов и оборудования Центров коллективного пользования «Биоресурсный центр» и «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркова Ю.А., Алексеенко А.Л., Крамарский А.В., Савилов Е.Д. Растения как одно из звеньев цепи циркуляции патогенных для человека бактерий в окружающей среде. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2012; 114(7): 11-14.
2. Маркова Ю.А., Духанина А.В., Анганова Е.В., Беловежец Л.А., Савилов Е.Д. Контаминация продуктов питания растительного происхождения патогенными и условно-патогенными энтеробактериями. *Acta biomedica scientifica*. 2012; (5-1): 268-270.
3. Arthursen V, Sessitsch A, Jäderlund L. Persistence and spread of *Salmonella enterica* serovar Weltevreden in soil and on spinach plants. *FEMS Microbiol. Lett.* 2011; 314(1): 67-74. doi: 10.1111/j.1574-6968.2010.02140.x
4. Kirzinger MW, Nadarasah G, Stavrinides J. Insights into cross-kingdom plant pathogenic bacteria. *Genes (Basel)*. 2011; 2(4): 980-997. doi: 10.3390/genes2040980
5. Цавкелова Е.А., Климова С.Ю., Чердынцева Т.А., Нетрусов А.И. Микроорганизмы – продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*. 2006; 42(2): 133-143. doi: 10.1134/S0003683806020013
6. Bianco C, Imperlini E, Calogero R, Senatore B, Pucci P, Defez R. Indole-3-acetic acid regulates the central metabolic pathways in *Escherichia coli*. *Microbiology*. 2006; 152(8): 2421-2431. doi: 10.1099/mic.0.28765-0
7. Tyler HL, Triplett EW. Plants as a habitat for beneficial and/or human pathogenic bacteria. *Annu Rev Phytopathol.* 2008; 46: 53-73. doi: 10.1146/annurev.phyto.011708.103102
8. Кацы Е.И. Молекулярная генетика ассоциативного взаимодействия бактерий и растений. *Состояние и перспективы исследований*. М.: Наука; 2007.
9. Кравченко Л.В., Азарова Т.С., Макарова Н.М., Тихонович И.А. Роль триптофана в корневых экзометаболитах для фитостимулирующей активности ризобактерий. *Микробиология*. 2004; 73(2): 195-198.
10. Celloto VR, Oliveira AJ, Gonçalves JE, Watanabe CS, Matio-li G, Gonçalves RA. Biosynthesis of indole-3-acetic acid by new *Klebsiella oxytoca* free and immobilized cells on inorganic matrices. *Scientific World J.* 2012; 2012: 495970. doi: 10.1100/2012/495970
11. Гланц С. *Медико-биологическая статистика*; пер. Ю.А. Данилова. М.: Практика; 1998.
12. Duca D, Lorv J, Patten CL, Rose D, Glick BR Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2014; 106(1): 85-125. doi: 10.1007/s10482-013-0095-y

13. Khare E, Arora NK. Effect of indole-3-acetic acid (IAA) produced by *Pseudomonas aeruginosa* in suppression of charcoal rot disease of chickpea. *Curr Microbiol.* 2010; 61(1): 64-68. doi: 10.1007/s00284-009-9577-6
14. Kim YC, Leveau J, McSpadden Gardener BB, Pierson EA, Pierson LS 3rd, Ryu CM. The multifactorial basis for plant health promotion by plant-associated bacteria. *Appl Environ Microbiol.* 2011; 77(5): 1548-1555. doi: 10.1128/AEM.01867-10
15. Spaepen S, Vanderleyden J, Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial и microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiol Rev.* 2007; 31(4): 425-448. doi: 10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x
16. Ona O, Van Impe J, Prinsen E, Vanderleyden J. Growth and indole-3-acetic acid biosynthesis of *Azospirillum brasilense* Sp245 is environmentally controlled. *FEMS Microbiol Lett.* 2005; 246(1): 125-132. doi:10.1016/j.femsle.2005.03.048

REFERENCES

1. Markova YuA, Alekseenko AL, Kramarsky AV, Savilov ED. Plants as one of the links in the circulation chain of bacteria pathogenic for humans in the environment. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2012; 114(7): 11-14. (In Russ.)
2. Markova YuA, Dukhanina AV, Anganova EV, Belovezhets LA, Savilov ED. Contamination of foods of plant origin by pathogenic and opportunistic enterobacteria. *Acta biomedica scientifica*. 2012; (5): 268-270. (In Russ.)
3. Arthursen V, Sessitsch A, Jäderlund L. Persistence and spread of *Salmonella enterica* serovar Weltevreden in soil and on spinach plants. *FEMS Microbiol. Lett.* 2011; 314(1): 67-74. doi: 10.1111/j.1574-6968.2010.02140.x
4. Kirzinger MW, Nadarasah G, Stavrinides J. Insights into cross-kingdom plant pathogenic bacteria. *Genes (Basel)*. 2011; 2(4): 980-997. doi: 10.3390/genes2040980
5. Tsavkelova EA, Klimova SYu, Cherdynstseva TA, Netrusov AI. Microbial producers of plant growth stimulants and their practical use: A review. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2006; 42(2): 117-126. doi: 10.1134/S0003683806020013
6. Bianco C, Imperlini E, Calogero R, Senatore B, Pucci P, Defez R. Indole-3-acetic acid regulates the central metabolic pathways in *Escherichia coli*. *Microbiology*. 2006; 152(8): 2421-2431. doi: 10.1099/mic.0.28765-0
7. Tyler HL, Triplett EW. Plants as a habitat for beneficial and/or human pathogenic bacteria. *Annu Rev Phytopathol.* 2008; 46: 53-73. doi: 10.1146/annurev.phyto.011708.103102
8. Katsy EI. *Molecular genetics of the associative interactions between bacteria and plants. Current status and prospects of the studies*. Moscow: Nauka; 2007. (In Russ.)
9. Kravchenko LV, Azarova TS, Makarova NM, Tikhonovich IA. The role of tryptophan in root exometabolites for phytostimulating activity of rhizobacteria. *Microbiology*. 2004; 73(2): 195-198. (In Russ.)
10. Celloto VR, Oliveira AJ, Gonçalves JE, Watanabe CS, Matio-li G, Gonçalves RA. Biosynthesis of indole-3-acetic acid by new *Klebsiella oxytoca* free and immobilized cells on inorganic matrices. *Scientific World J.* 2012; 2012: 495970. doi: 10.1100/2012/495970
11. Glantz S. *Primer of biostatistics*. Trans Danilov YuA. Moscow: Praktika; 1998. (In Russ.)
12. Duca D, Lorv J, Patten CL, Rose D, Glick BR Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2014; 106(1): 85-125. doi: 10.1007/s10482-013-0095-y
13. Khare E, Arora NK. Effect of indole-3-acetic acid (IAA) produced by *Pseudomonas aeruginosa* in suppression of charcoal rot disease of chickpea. *Curr Microbiol.* 2010; 61(1): 64-68. doi: 10.1007/s00284-009-9577-6
14. Kim YC, Leveau J, McSpadden Gardener BB, Pierson EA, Pierson LS 3rd, Ryu CM. The multifactorial basis for plant health promotion by plant-associated bacteria. *Appl Environ Microbiol.* 2011; 77(5): 1548-1555. doi: 10.1128/AEM.01867-10
15. Spaepen S, Vanderleyden J, Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial и microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiol Rev.* 2007; 31(4): 425-448. doi: 10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x

16. Ona O, Van Impe J, Prinsen E, Vanderleyden J. Growth and indole-3-acetic acid biosynthesis of *Azospirillum brasilense* Sp245 is environmentally controlled. *FEMS Microbiol Lett.* 2005; 246(1): 125-132. doi:10.1016/j.femsle.2005.03.048

Сведения об авторах

Турская Анна Леонидовна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории растительно-микробных взаимодействий, ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, e-mail: turskaya-anna@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5717-6766>

Беловежец Людмила Александровна – кандидат биологических наук, научный сотрудник группы фармацевтической разработки, ФГБУН Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, e-mail: belovezhets@irioch.irk.ru

Путилина Татьяна Егоровна – ведущий инженер лаборатории физико-химических методов исследования, ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, e-mail: putilina@sifibr.irk.ru

Быбин Виктор Александрович – кандидат биологических наук, ведущий инженер лаборатории растительно-микробных взаимодействий, ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, e-mail: godolin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3825-9945>

Духанина Алла Владимировна – кандидат биологических наук, инженер лаборатории эпидемиологически и социально значимых инфекций, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», e-mail: duhanina.alla@yandex.ru

Маркова Юлия Александровна – доктор биологических наук, заведующая лабораторией растительно-микробных взаимодействий, ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, e-mail: juliam06@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7767-4204>

Information about the authors

Anna L. Turskaya – Cand. Sc. (Biol.), Research Officer at the Laboratory of Plant-Microbial Interactions, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, e-mail: turskaya-anna@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5717-6766>

Lyudmila A. Belovezhets – Cand. Sc. (Biol.), Research Officer at the Group of Pharmaceutical Development, A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS, e-mail: belovezhets@irioch.irk.ru

Tatiana E. Putilina – Leading Engineer at the Laboratory of Physicochemical Research Methods, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, e-mail: putilina@sifibr.irk.ru

Viktor A. Bybin – Cand. Sc. (Biol.), Leading Engineer at the Laboratory of Plant-Microbial Interactions, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, e-mail: godolin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3825-9945>

Alla V. Dukhanina – Cand. Sc. (Biol.), Engineer at the Laboratory of Epidemiologically and Socially Significant Infections, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, e-mail: duhanina.alla@yandex.ru

Yulia A. Markova – Dr. Sc. (Biol.), Head of the Laboratory of Plant-Microbial Interactions, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, e-mail: juliam06@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7767-4204>

Статья получена: 24.06.2019. Статья принята: 15.07.2019. Статья опубликована: 26.10.2019.

Received: 24.06.2019. Accepted: 15.07.2019. Published: 26.10.2019.