

4
НОМЕР

БОИЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

<http://www.elmag.uran.ru>

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН

Оренбургская область
Урочище Петровские сосны
Вельмовский П.В.



2023

УЧРЕДИТЕЛЬ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОРЕНБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

© Е.А. Селиванова, О.А. Тынников, 2023

УДК 582.251.6

Е.А. Селиванова¹, О.А. Тынников¹

ХАРАКТЕРИСТИКА БАКТЕРИЙ-АССОЦИАНТОВ ИЗ ЛАБОРАТОРНЫХ КУЛЬТУР ГАЛОФИЛЬНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

¹ Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН), Оренбург, Россия

Цель. Анализ морфологических, физиологических, биохимических и молекулярно-генетических особенностей новых штаммов умеренно галофильных бактерий, выделенных из лабораторных культур микроводорослей *Dunaliella viridis* и *Asteromonas gracilis*.

Материалы и методы. Из культур галофильных микроводорослей *A. gracilis* Т6 и *D. viridis* R5, длительно поддерживаемых в лабораторных условиях, с помощью бактериологического метода выделены чистые культуры бактерий-ассоциантов. Культивирование проводили на мясо-пептонном агаре с 10%-ным содержанием NaCl. У выделенных бактериальных культур оценивали тинкториальные, морфологические и биохимические особенности. Идентификацию проводили на основе анализа последовательности гена 16S рРНК. У выделенных бактериальных культур проводили количественное определение уровня каталазной активности.

Результаты. Из культуры галофильной микроводоросли *D. viridis* R5 выделены два штамма бактерий рода *Halomonas*, один из которых – умеренно галофильный *Halomonas* sp.1, по своим характеристикам наиболее близкий к виду *H. halophila*, другой – галотолерантный штамм *Halomonas* sp.2, наиболее сходный с *H. tabrizica*. Из культуры *A. gracilis* Т6 выделен галотолерантный штамм *H. janggokensis*. Отмечено, что численность бактерий-ассоциантов в стационарную фазу роста микроводорослей достигает 10^7 КОЕ/мл. Уровень каталазной активности выделенных штаммов был невысоким и составлял $0,88 \pm 0,08$ - $1,38 \pm 0,10$ мкМ/мин·ОД для ассоциантов *D. viridis* R5 (*Halomonas* spp.) и $3,49 \pm 0,05$ мкМ/мин·ОД для ассоцианта *A. gracilis* Т6 (*H. janggokensis*).

Заключение. В статье описываются морфологические, молекулярно-генетические, физиологические и биохимические особенности новых штаммов рода *Halomonas*, длительно сохраняющихся в ассоциации с галофильными микроводорослями. Показано наличие каталазной активности, которая является одним из механизмов сохранения бактерий в культурах микроводорослей. Таким образом, полученные данные расширяют представления об экологии рода *Halomonas* и составе прокариот в ассоциациях с галофильными микроводорослями.

Ключевые слова: *Asteromonas gracilis*, *Dunaliella viridis*, галофильные бактерии, род *Halomonas*, каталазная активность.

Е.А. Selivanova, O.A. Tynnikov¹

CHARACTERISTICS OF THE BACTERIA ASSOCIATED WITH LABORATORY CULTURES OF HALOPHILIC MICROALGAE

¹ Orenburg Federal Research Center, UB RAS (Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, UB RAS), Orenburg, Russia

Aim. Analysis of morphological, physiological, biochemical and molecular genetic characteristics of new strains of moderately halophilic bacteria isolated from laboratory cultures of microalgae *Dunaliella viridis* and *Asteromonas gracilis*.

Materials and methods. The pure cultures of associated bacteria were isolated from halophilic microalgae *A. gracilis* T6 and *D. viridis* R5 cultures, maintained in laboratory conditions

for a long time, using the cultural method. Cultivation was carried out on meat-peptone agar with 10% NaCl content. Tinctorial, morphological and biochemical characteristics of the isolated bacterial cultures were assessed. Identification was based on analysis of the 16S rRNA gene sequence. A level of catalase activity in the isolated bacterial cultures was quantified.

Results. Two bacterial strains of the genus *Halomonas* were isolated from the halophilic microalga culture *D. viridis* R5. One of those was the moderately halophilic *Halomonas* sp.1, most similar to the species *H. halophila*; another strain was the halotolerant strain *Halomonas* sp.2, most similar to *H. tabrizica*. A halotolerant strain of *H. janggokensis* was isolated from the culture of *A. gracilis* T6. The number of associated bacteria was noted to reach 10^7 CFU/mL in the stationary phase of microalga growth. The level of catalase activity of the isolated strains was not high and accounted $0,88 \pm 0,08$ - $1,38 \pm 0,10$ $\mu\text{mol}/\text{min} \cdot \text{OD}$ for the associates of *D. viridis* R5 (*Halomonas* spp.) and $3,49 \pm 0,05$ $\mu\text{mol}/\text{min} \cdot \text{OD}$ for the associate of *A. gracilis* T6 (*H. janggokensis*).

Conclusion. The article describes the morphological, molecular genetics, physiological and biochemical features of the new strains of genus *Halomonas*, which had been persisted for a long time in association with halophilic microalgae. Catalase activity in the strains was shown, which underlies bacterial persistence in microalgae cultures. Thus, the data obtained expand the knowledge on *Halomonas* ecology and the composition of prokaryotes in associations with halophilic microalgae.

Key words: *Asteromonas gracilis*, *Dunaliella viridis*, halophilic bacteria, *Halomonas*, catalase activity.

Введение

Ассоциации микроводорослей с прокариотами активно изучаются в пресноводных и морских экосистемах, а также некоторых экстремальных местообитаниях [17]. Известно, что бактериальные ассоцианты способны как усиливать, так и подавлять рост и развитие микроводорослей, влияя на такие процессы как «цветение» воды [10]. Даже длительно культивируемые в лаборатории культуры микроводорослей сохраняют симбиотические отношения с бактериями [21], поэтому используются в качестве удобной модели для исследования трофических взаимоотношений в сообществах микроорганизмов [14], стимуляции роста водорослей [11], а также оценки взаимного подавления [19] и конкуренции за питательные вещества [15].

В гипергалинных Соль-Илецких водоемах с соленостью более 100 г/л важными первичными продуцентами являются зеленые микроводоросли, среди которых наиболее часто встречаются представители родов *Dunaliella* и *Asteromonas* [4, 5]. Известно, что эти виды микроводорослей в качестве осмопротекторов синтезируют и накапливают в больших количествах глицерин, который в свою очередь может быть использован прокариотами в качестве источника углерода [8]. Присутствие бактерий и архей ранее было показано в культурах галофильных водорослей рода *Dunaliella* [2, 9]. Так, изуче-

ние ассоциантов *Dunaliella salina* позволило описать новый вид *Halomonas socia* [9]. Ранее состав прокариот в культурах галофильных микроводорослей, выделенных из Соль-Илецких озер, был определен методом метабаркодинга гена 16S рРНК [22], что позволило определить наличие узкого спектра ассоциантов, представленных археями рода *Halorubrum* и бактериями рода *Halomonas*.

Цель настоящего исследования – анализ морфологических, физиологических и молекулярно-генетических особенностей новых штаммов умеренно-галофильных бактерий, выделенных из лабораторных культур микроводорослей *Dunaliella viridis* и *Asteromonas gracilis*.

Материалы и методы

Для исследования использовали длительно поддерживаемые в лабораторных условиях альгологически чистые культуры галофильных микроводорослей: *A. gracilis*, выделенная из озера Тузлучное в 2009 г., и *D. viridis*, выделенная из озера Развал. Культивирование проводили на среде ОПС следующего состава: NaCl – 116,0 г/л; MgSO₄×7H₂O – 50,0 г/л; KNO₃ – 2,5 г/л; K₂HPO₄ – 0,2 г/л; NaHCO₃ – 1,0 г/л в плоскодонных колбах объемом 250 мл в условиях искусственной непрерывной инсоляции (5000 лк) при температуре 25°C.

Чистые культуры бактерий получали с помощью высева 0,1 мл культуры микроводорослей, находящейся в стационарной фазе роста, на мясопептонный агар с 10%-ным содержанием соли. Морфологию и число колоний оценивали через 3-5 суток после инкубации в термостате при 25°C. У выделенных бактериальных культур оценивали морфологию клеток и подвижность с помощью иммерсионной и фазово-контрастной микроскопии Аxiосkоре А1 (Carl Zeiss, Германия). Для уточнения результатов окраски по Граму использовали КОН-тест (реакция Греггера) [13]. Качественное определение каталазы осуществляли, добавляя бактериальную массу к 3% раствору H₂O₂. Для обнаружения бактериальной цитохромоксидазы использовали ОК-СИтест (Lachema, Чехия). Продукцию кислоты из различных углеводов оценивали по Лейфсону [18]. Выделение ДНК из чистых культур проводили фенол-хлороформным методом. Секвенирование гена 16S рРНК проводили с помощью праймеров 16SF190: ATTAGCTAGTAGGTGGGGTAA и 16SR1100: TTAGTAGCGATTCCGACTTCA (НПО «СИНТОЛ», Москва). Сборка последовательности гена 16S рРНК осуществлялась с помощью программы MEGA11. Поиск гомологичных последовательностей проводился с использо-

ванием базы данных NCBI GeneBank при помощи алгоритма BLAST. Количественное определение уровня каталазной активности бактерий проводили по методу О.В. Бухарина с соавт. [1]. Все эксперименты проводили в трех и более повторностях.

Результаты и обсуждение

Фенотипическая характеристика

Для оценки состава бактериальных ассоциаций были использованы длительно поддерживаемые в лабораторных условиях культуры галофильных зеленых микроводорослей: штамм *A. gracilis* Т6, выделенный из гипергалинного озера Тузлучное [4], таксономическое положение которого было уточнено на основе анализа фрагмента последовательности гена 18S (KT013274.1), и штамм *Dunaliella viridis* R5, выделенный из гипергалинного озера Развал, идентификация которого была проведена ранее на основе анализа фрагмента ITS1-5,8S-ITS2 [6].

При высеве на мясо-пептонный агар с 10%-ным содержанием соли *D. viridis* R5 наблюдался рост двух типов колоний (Dun 1/5 и Dun 2/7), *A. gracilis* – одного типа колоний (Ast.). Характеристика тинкториальных, морфологических, физиологических и биохимических свойств выделенных штаммов приведена в таблице 1.

Молекулярно-генетический анализ последовательности гена 16S рРНК

В результате проведенного сравнения полученных последовательностей гена 16S рРНК с нуклеотидными последовательностями в международной базе данных GenBank NCBI был продемонстрирован высокий процент сходства штамма Dun 1/5 с двумя близкородственными видами *Halomonas halophila* (CP129121) и *Halomonas salina* (NR042050), на основании чего он был идентифицирован как *Halomonas* sp. 1 (таблица 2). Наиболее близкими для штамма Dun 2/7 (*Halomonas* sp. 2) оказались нуклеотидные последовательности, принадлежащие *Halomonas fontilapidosi* (NR044519) и *Halomonas tabrizica* (NR178334). Для штамма Ast. ближайшим гомологом оказался *Halomonas janggokensis* (OR880269).

Ростовые и физиологические характеристики

Учитывая роль каталазы в сохранении бактерий в ассоциациях с пресноводными микроводорослями [2], способными продуцировать перекись водорода во внешнюю среду [25], у выделенных штаммов была оценена выраженность данного признака.

Таблица 1. Фенотипическая характеристика выделенных штаммов бактерий-ассоциантов галофильных микроводорослей

	Штамм Dun 1/5	Штамм Dun 2/7	Штамм Ast.
Цвет колоний	бежевые	светло-бежевые	бежевые
Численность при высеве	1.5×10^5 КОЕ/мл	1.5×10^5 КОЕ/мл	$1,4 \times 10^7$ КОЕ/мл
Морфология	Грамотрицательные палочки 0,7×2,0 Чаше одиночные, неравномерно окрашенные	Грамотрицательные коккопалочки и палочки 0,7×1.4 мкм. Чаше одиночные, иногда в скоплениях, неравномерно окрашенные	Грамотрицательные палочки, 0,7×1,8-2,0 мкм. Одиночные, очень редко есть длинные нити.
Тест Грегерсена (с КОН)	Грамотрицательные	Грамотрицательные	Грамотрицательные
каталаза	+	+/-	+
оксидаза	+	+	-
Образование кислоты из сахаров:			
глюкоза	+	+	+
ксилоза	+	-	+/-
маннит	-	+	+
лактоза	-	-	-
фруктоза	+	+	+
рамноза	+	-	-
мальтоза	-	+/-	+
сахароза	-	+/-	+
отношение к кислороду	строгие аэробы	факультативные анаэробы	строгие аэробы
рост в присутствии 10 г/л NaCl	+	+	+
рост на МПА без NaCl	-	+	+/-

Каталазная активность оказалась довольно стабильным свойством, характеризующим штаммы (Таблица 3). Наиболее высокими значениями отличался штамм *H. janggokensis*, выделенный из культуры *A. gracilis*. У *Halomonas* spp., выделенных из *D. viridis* R5, каталазная активность оказалась ниже. Не было выявлено достоверной разницы в значениях каталазной активности при росте на средах с 10%-ным содержанием NaCl и без добавления NaCl. Полученные значения были сопоставимы с уровнями (0,69-6,5 мкМ/мин×ОД), полученными для бактерий-ассоциантов пресноводных микроводорослей *Scenedesmus obliquus*, *Chlorococcum infusionum*, *Coelastrum microporum*, *Chlamydomonas reinhardtii* [3], хотя в целом их можно охарактеризовать как низкие и средние.

Таблица 2. Сравнение нуклеотидных последовательностей выделенных штаммов бактерий-ассоциантов с данными базы NCBI

Номер штамма	Название штамма (номер в GeneBank)	Источник выделения	Длина фрагмента	Ближайший гомолог (типовой штамм)	Сходство (покрытие)	Источник выделения	Ссылка
Штамм Dun 1/5	<i>Halomonas</i> sp. 1 (OR880267)	Культура микродоросли <i>D. viridis</i> R5	1001	<i>Halomonas halophila</i> CCM 3662 (CP129121)	99.70% (100%)	Засоленные почвы, Аликанте Испания	[7]
				<i>Halomonas salina</i> F8-11 (NR042050)	99.70% (100%)	Засоленные почвы, соленые пруды, озера, море	[24]
Штамм Dun 2/7	<i>Halomonas</i> sp. 2 (OR880268)	Культура микродоросли <i>D. viridis</i> R5	1013	<i>Halomonas fontilapidosi</i> 5CR (NR044519)	99.31% (100%)	Соленое озеро Фуэнте-де-Пьедра, Малага, Испания	[12]
				<i>Halomonas tabrizica</i> TBZ21 (NR178334)	99.31% (100%)	Озеро Урмия, Иран	[23]
Штамм Ast.	<i>Halomonas janggokensis</i> (OR880269)	культура микродоросли <i>A. gracilis</i> T6	990	<i>Halomonas janggokensis</i> M24' (NR042489)	100% (100%)	Пруд для выпаривания соли, остров Анмёндо, Южная Корея	[16]

Таблица 3. Уровень каталазной активности бактерий-ассоциантов, выделенных из культур галофильных микродорослей

Штамм бактерий	Каталазная активность (мкМ/мин × ОД)			
	среднее значение	минимальное значение	максимальное значение	число повторностей
<i>Halomonas</i> sp. 1 (штамм Dun 1/5)	1,38±0,10	1,04	1,68	6
<i>Halomonas</i> sp. 2 (штамм Dun 2/7)	0,88±0,08	0,66	1,15	6
<i>H. janggokensis</i> (штамм Ast.)	3,49±0,05	3,28	3,81	12

Заключение

Как и большинство представителей рода *Halomonas*, выделенные штаммы нуждаются в Na⁺ для роста. Известно, что минимальное значение для роста варьирует у разных видов, что является важным диагностическим

критерием [24]. Штамм *Halomonas* sp. 1 не рос на обычном мясо-пептонном агаре, что согласуется с описанием ближайших гомологов *H. halophila* и *H. salina*, для которых нижний предел солености для роста 2 и 3 г/л, соответственно. Морфологические и тинкториальные свойства штамма *Halomonas* sp. 1 были в большей степени сходны с описанием вида *H. halophila*, который также является строго аэробным, умеренно галофильным, каталазо- и оксидазоположительным, окисляет глюкозу, но не окисляет лактозу [24]. У штаммов Dun 2/7 и Ast., идентифицированных как *Halomonas* sp. 2 и *H. janggokensis*, наблюдался слабый рост на мясо-пептонном агаре, что объяснимо, так как минимальное требование к присутствию NaCl (до 1%) может обеспечиваться обычными лабораторными средами [24]. Штамм *Halomonas* sp. 2 по фенотипическим свойствам более сходен с *H. tabrizica* [23], а штамм Ast., идентифицированный как *H. janggokensis*, полностью соответствует характеристикам данного вида [24]. Известно, что *H. janggokensis* может использовать глицерин как источник углерода для роста [16]. В то же время *Asteromonas gracilis*, как и представители рода *Dunaliella*, продуцирует в больших количествах глицерин [20].

Известно, что представители рода *Halomonas* широко распространены в природе, выделяясь из всех типов соленых местообитаний, в том числе воды, осадков гипергалинных водоемов, засоленных почв, прудов для выпаривания соли, вне зависимости от географического расположения и климатических особенностей. Также эти бактерии обнаруживались в ассоциации с морскими животными и объектами аквакультуры [24]. Описан вид бактерий *H. socia* из культуры *Dunaliella salina* [9]. Полученные данные демонстрируют, что зеленые галофильные микроводоросли – это характерный биотоп для представителей рода *Halomonas*, что согласуется с данными метабаркодинга по гену 16S рРНК. Однако механизмы возможных взаимодействия и их значение как для микроводорослей, так и бактерий, предстоит изучить с привлечением не только культуральных, но и «-омиксных» технологий. Таким образом, полученные данные расширяют представления об экологии рода *Halomonas* и составе прокариот в ассоциациях с галофильными микроводорослями.

(Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-10062, <https://rscf.ru/project/23-24-10062/>)

Благодарности

Авторы выражают благодарность к.б.н. М.Е. Игнатенко (Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН) за предоставленную для работы культуру микроводоросли *A. gracilis* Тб.

Исследование выполнено на базе ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарин О.В., Сгибнев А.В., Черкасов С.В., Иванов Ю.Б. Изменение активности каталазы *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P под влиянием метаболитов микроорганизмов, выделенных из разных экотопов. Микробиология. 2002. Т. 71. № 2. С. 183.
2. Вольберг М.М. Взаимодействие популяций микроводорослей и бактерий в модельной системе: Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. Москва, 1988. 24 с.
3. Игнатенко М.Е. Характеристика симбиотических связей микроорганизмов в альгобактериальных сообществах природных водоемов. Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. Оренбург, 2008. 19 с.
4. Немцева Н.В., Игнатенко М.Е. О находке галотолератной водоросли *Asteromonas gracilis* Artari в Оренбургской области. Поволжский экологический журнал. 2012. № 1. С. 99-104.
5. Селиванова Е.А. Симбиотические связи микроорганизмов в планктонных сообществах соленых водоемов. Автореф. дисс. ...канд. мед. наук. Оренбург, 2007. 22 с.
6. Соловченко А.Е., Селиванова Е.А., Чеканов К.А., Сидоров Р.А., Немцева Н.В., Лобачева Е.С. Индукция вторичного каротиногенеза у новых галофильных микроводорослей из рода *Dunaliella* (*Chlorophyceae*). Биохимия. 2015. Т. 80. № 11. С. 1724-1730.
7. Arahal D.R., García M.T., Ludwig W., Schleifer K.H., Ventosa A. Transfer of *Halomonas canadensis* and *Halomonas israelensis* to the genus *Chromohalobacter* as *Chromohalobacter canadensis* comb. nov. and *Chromohalobacter israelensis* comb. nov. International journal of systematic and evolutionary microbiology. 2001. № 4. P. 1443-1448.
8. Borowitzka L.J. The microflora. Hydrobiologia. 1981. № 1. P. 33-46.
9. Cao J., Ma H.Y., Li H.Y., Wang K.R., Ruan K., Bai L.H. *Halomonas socia* sp. nov., isolated from high salt culture of *Dunaliella salina*. Extremophiles. 2013. Vol. 17. № 4. P. 663-668.
10. Fukami K., Nishijima T., Ishida Y. Stimulative and inhibitory effects of bacteria on the growth of microalgae. Hydrobiologia. 1997. № 358. P. 185-191.
11. Gonzalez L.E., Bashan Y. Increased growth of the microalga *Chlorella vulgaris* when co-immobilized and cocultured in alginate beads with the plant-growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. Appl Environ Microbiol. 2000. № 66. P. 1527-1531.
12. Gonzalez-Domenech C.M., Martinez-Checa F., Quesada E., Bejar V. *Halomonas fontilapidosi* sp. nov., a moderately halophilic, denitrifying bacterium. International journal of systematic and evolutionary microbiology. 2009. Vol. 59. № 6. P. 1290-1296.
13. Gregersen T. Rapid method for distinction of Gramnegative from Gram-positive bacteria. Eur J Appl Microbiol Biotechnol. 1978 № 5. P. 123-127.
14. Grossart H.P., Simon M. Interactions of planktonic algae and bacteria: effects on algal growth and organic matter dynamics. Aquatic Microbial Ecology. 2007. № 47. P. 163-176.
15. Joint I., Henriksen P., Fonnes G.A., Bourne D., Thingstad T.F., Riemann B. Competition for inorganic nutrients between phytoplankton and bacterioplankton in nutrient manipulated mesocosms // Aquatic Microbial Ecology. 2002. № 29. P. 145-159.
16. Kim K.K., Jin L., Yang H. C., Lee S.T. *Halomonas gomseomensis* sp. nov., *Halomonas janggokensis* sp. nov., *Halomonas salaria* sp. nov. and *Halomonas denitrificans* sp. nov., moderately halophilic bacteria isolated from saline water. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2007. Vol. 57. № 4. P. 675-681.
17. Krug L., Erlacher A., Markut K., Berg G., Cernava T. The microbiome of alpine snow algae

- shows a specific inter-kingdom connectivity and algae-bacteria interactions with supportive capacities. *The ISME Journal*. 2020. № 14. P. 2197-2210.
18. Leifson E. Determination of carbohydrate metabolism of marine bacteria. *J Bacteriol.* 1963. № 85. P. 1183-1184.
 19. Mayali X., Doucette G.J. Microbial community interactions and population dynamics of an algicidal bacterium active against *Karenia brevis* (Dinophyceae). *Harmful Algae*. 2002. № 1. P. 277-293.
 20. Oren A. Glycerol metabolism in hypersaline environments. *Environmental microbiology*. 2017. Vol. 19. №. 3. P. 851-863.
 21. Park Y., Je K.W., Lee K., Jung S.E., Choi T.J. Growth promotion of *Chlorella ellipsoidea* by coinoculation with *Brevundimonas* sp. isolated from the microalga. *Hydrobiologia*. 2008. № 598. P. 219-228.
 22. Selivanova E.A., Khlopko Y.A., Plotnikov A.O. The prokaryotic diversity in cultures of halophilic phototrophic and heterotrophic protists. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Biologia*. 2019. Vol. 64. №. 1. P. 92-92.
 23. Vahed S.Z., Forouhandeh H., Tarhriz V., Chaparzadeh N., Hejazi M.A., Jeon C.O., Lee Y. *Halomonas tabrizica* sp. nov., a novel moderately halophilic bacterium isolated from Urmia Lake in Iran. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2018. № 111. P 1139-1148.
 24. Ventosa A., de la Haba R.R., Arahal D.R., Sanchez-Porro C. *Halomonas*. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. 2015. P. 111.
 25. Zepp R.G., Skurlatov Y.I., Pierce J.T. Algal-induced decay and formation of hydrogen peroxide in water: its possible role in oxidation of anilines by algae. *Photochemistry of environmental aquatic systems*. 1987. P 215-224.

Поступила 04.12.2023 г.

(Контактная информация: Селиванова Елена Александровна – кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН; адрес: 460000 г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; тел.: 8 (3532) 775417; E-mail: selivanova-81@mail.ru)

REFERENCES

1. Bukharin O.V., Sgibnev A.V., Cherkasov S.V., Ivanov Yu.B. The effect of the intra- and extracellular metabolites of microorganisms isolated from various ecotopes on the catalase activity of *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P. *Microbiology*. 2002. V. 71. P. 154 – 157.
2. Volberg M.M. Interaction of populations of microalgae and bacteria in a model system: Abstract. diss. ...cand. biol. sci. Moscow, 1988. 24 p.
3. Ignatenko M.E. Characteristics of symbiotic relationships of microorganisms in algobacterial communities of natural reservoirs: Abstract. diss. ...cand. biol. sci. Orenburg, 2008. 19 p.
4. Nemtseva N.V., Ignatenko M.E. On the discovery of the halotolerant algae *Asteromonas gracilis* Artari in the Orenburg region. *Volga Ecological Journal*. 2012. № 1. P. 99-104.
5. Selivanova E.A. Symbiotic relationships of microorganisms in planktonic communities of salty water bodies: Abstract. diss. ...cand. med. sci. Orenburg, 2007. 22 p.
6. Solovchenko A.E., Selivanova E.A., Chekanov K.A., Sidorov R.A., Nemtseva N.V., Lobakova E.S. Induction of Secondary Carotenogenesis in New Halophile Microalgae from the Genus *Dunaliella* (Chlorophyceae). *Biochemistry (Moscow)*. 2015. V. 80. №. 11. P. 1508-1513.
7. Arahal D.R., García M.T., Ludwig W., Schleifer K.H., & Ventosa A. Transfer of *Halomonas canadensis* and *Halomonas israelensis* to the genus *Chromohalobacter* as *Chromohalobacter canadensis* comb. nov. and *Chromohalobacter israelensis* comb. nov. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 2001. № 4. P. 1443-1448.
8. Borowitzka L.J. The microflora. *Hydrobiologia*. 1981. № 1. P. 33-46.

9. Cao J., Ma H.Y., Li H.Y., Wang K.R., Ruan K., Bai L.H. *Halomonas socia* sp. nov., isolated from high salt culture of *Dunaliella salina*. *Extremophiles*. 2013. Vol. 17. № 4. P. 663-668.
10. Fukami K., Nishijima T., Ishida Y. Stimulative and inhibitory effects of bacteria on the growth of microalgae. *Hydrobiologia*. 1997. № 358. P. 185-191.
11. Gonzalez L.E., Bashan Y. Increased growth of the microalga *Chlorella vulgaris* when co-immobilized and cocultured in alginate beads with the plant-growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *Appl Environ Microbiol*. 2000. № 66. P. 1527-1531.
12. Gonzalez-Domenech C.M., Martinez-Checa F., Quesada E., Bejar V. *Halomonas fontilapidosi* sp. nov., a moderately halophilic, denitrifying bacterium. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 2009. Vol. 59. № 6. P. 1290-1296.
13. Gregersen T. Rapid method for distinction of Gram-negative from Gram-positive bacteria. *Eur J Appl Microbiol Biotechnol*. 1978. № 5. P. 123-127.
14. Grossart H.P., Simon M. Interactions of planktonic algae and bacteria: effects on algal growth and organic matter dynamics. *Aquatic Microbial Ecology*. 2007. № 47. P. 163-176.
15. Joint I., Henriksen P., Fonnes G.A., Bourne D., Thingstad T.F., Riemann B. Competition for inorganic nutrients between phytoplankton and bacterioplankton in nutrient manipulated mesocosms. *Aquatic Microbial Ecology*. 2002. № 29. P. 145-159.
16. Kim K.K., Jin L., Yang H.C., Lee S.T. *Halomonas gomseomensis* sp. nov., *Halomonas janggokensis* sp. nov., *Halomonas salaria* sp. nov. and *Halomonas denitrificans* sp. nov., moderately halophilic bacteria isolated from saline water. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2007. Vol. 57. № 4. P. 675-681.
17. Krug L., Erlacher A., Markut K., Berg G., Cernava T. The microbiome of alpine snow algae shows a specific inter-kingdom connectivity and algae-bacteria interactions with supportive capacities. *The ISME Journal*. 2020. № 14. P. 2197-2210.
18. Leifson E. Determination of carbohydrate metabolism of marine bacteria. *J Bacteriol*. 1963. № 85. P. 1183-1184.
19. Mayali X., Doucette G.J. Microbial community interactions and population dynamics of an algicidal bacterium active against *Karenia brevis* (Dinophyceae). *Harmful Algae*. 2002. № 1. P. 277-293.
20. Oren A. Glycerol metabolism in hypersaline environments. *Environmental microbiology*. 2017. Vol. 19. № 3. P. 851-863.
21. Park Y., Je K.W., Lee K., Jung S.E., Choi T.J. Growth promotion of *Chlorella ellipsoidea* by coinoculation with *Brevundimonas* sp. isolated from the microalga. *Hydrobiologia*. 2008. № 598. P. 219-228.
22. Selivanova E.A., Khlopko Y.A., Plotnikov A.O. The prokaryotic diversity in cultures of halophilic phototrophic and heterotrophic protists. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Biologia*. 2019. Vol. 64. № 1. P. 92-92.
23. Vahed S.Z., Forouhandeh H., Tarhriz V., Chaparzadeh N., Hejazi M.A., Jeon C.O., Lee Y. *Halomonas tabrizica* sp. nov., a novel moderately halophilic bacterium isolated from Urmia Lake in Iran. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2018. № 111. P. 1139-1148.
24. Ventosa A., de la Haba R.R., Arahall D.R., Sanchez-Porro C. *Halomonas*. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. 2015. P. 111.
25. Zepp R.G., Skurlatov Y.I., Pierce J.T. Algal-induced decay and formation of hydrogen peroxide in water: its possible role in oxidation of anilines by algae. *Photochemistry of environmental aquatic systems*. 1987. P. 215-224.

Образец ссылки на статью:

Селиванова Е.А., Тынников О.А. Характеристика бактерий-ассоциантов из лабораторных культур галофильных микроводорослей. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2023. 4. 10 с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2023-4/Articles/SEA-2023-4.pdf>). DOI: 10.24411/2304-9081-2023-14001