

ОЦЕНКА ПАТОГЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕРРАЦИЙ ИЗ КРИОГЕННЫХ МЕСТООБИТАНИЙ

А.Е. Гончаров^{1,3,4}, А.П. Соломенный², А.Л. Панин^{5,6}, С.Е. Григорьев⁷,
М.Ю. Чепрасов⁷, Я.А. Ахременко⁷, В.В. Колоджиева³, Н.Е. Гончаров^{3,5},
Л.А. Краева^{5,8}

¹ ФГБНУ Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия

² Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия

³ ФГБОУ ВО Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

⁴ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁵ ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Санкт-Петербург, Россия

⁶ ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства, Санкт-Петербург, Россия

⁷ ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

⁸ ФГБВОУ ВО Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

Резюме. Условно-патогенные бактерии рода *Serratia* широко распространены в природе, однако данный род также включает в себя виды, связанные со вспышками внутрибольничных инфекций. Серрации обнаруживаются в экстремальных местообитаниях, однако патогенный потенциал полиэкстремофильных представителей рода *Serratia* практически не изучен. Задачей настоящего исследования являлся сравнительный анализ геномов двух штаммов серраций из полярных регионов, сфокусированный на изучении генетических факторов вирулентности и адаптации к криогенным условиям существования. Штамм *Serratia liquefaciens* 72 выделен в ходе 56-й Российской Антарктической экспедиции из образца гуано колонии пингвинов Адели (*Pygoscelis adeliae*) на острове Токарева (архипелаг Хасуэлл, Восточная Антарктида). Штамм *Serratia fonticola* 51 выделен при микробиологическом исследовании материала ископаемого лося (*Alces alces*), мерзлая туша которого обнаружена на полуострове Буор-Хая вблизи побережья моря Лаптевых (Республика Саха (Якутия), РФ). Проведенное полногеномное секвенирование позволило выявить в геномах изучаемых штаммов структуры, свидетельствующие об их успешной адаптации к низким температурам. Установлено, что в обоих геномах присутствуют гены, кодирующие основные белки-шапероны холодового шока, филогенетически близкие соответствующим генам гипобаротолерантного штамма *Serratia liquefaciens* ATCC 27592. Кроме того, оба штамма имеют кластеры генов *tfABCD*, определяющих способность к адгезии бактериальных клеток к эпителиальным тканям, и генами RTX-токсинов — адгезинов, продукты которых являются важнейшими факторами биопленкообразования у патогенных грамотрицательных бактерий. Экспериментальные исследования под-

Адрес для переписки:

Гончаров Артемий Евгеньевич
197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, 12,
ФГБНУ Институт экспериментальной медицины.
Тел.: 8 (812) 234-05-42.
E-mail: phage1@yandex.ru

Contacts:

Artemiy E. Goncharov
197376, Russian Federation, St. Petersburg,
Academic Pavlov str., 12, Institute of Experimental Medicine.
Phone: +7 (812) 234-05-42.
E-mail: phage1@yandex.ru

Для цитирования:

Гончаров А.Е., Соломенный А.П., Панин А.Л., Григорьев С.Е.,
Чепрасов М.Ю., Ахременко Я.А., Колоджиева В.В., Гончаров Н.Е.,
Краева Л.А. Оценка патогенного потенциала серраций из криогенных
местообитаний // Инфекция и иммунитет. 2021. Т. 11, № 3. С. 585–590.
doi: 10.15789/2220-7619-ASS-1593

Citation:

Goncharov A.E., Solomenny A.P., Panin A.L., Grigorjev S.E., Cheprasov M.Yu.,
Akhremenko Ya.A., Kolodzhieva V.V., Goncharov N.E., Kraeva L.A. Assessing
Serratia spp. pathogenic potential from cryogenic habitats // Russian
Journal of Infection and Immunity = Infektsiya i immunitet, 2021, vol. 11, no. 3,
pp. 585–590. doi: 10.15789/2220-7619-ASS-1593

Исследование выполнено в рамках тем государственного задания: НИОКТР АААА-А18-118052990083-4; НИОКТР АААА-А19-119112290008-4.

твердили способность *Serratia liquefaciens* 72 и *Serratia fonticola* 51 к активному биопленкообразованию в широком диапазоне температур (от 6° до 37°C). Полученные результаты свидетельствуют о том, что изученные представители рода *Serratia*, выделенные в Арктике и Антарктике, в целом обладают сходными чертами адаптации к условиям полярного климата, включая способность к продукции фимбрий, активной адгезии и биопленкообразованию при низких температурах. Выявленные генетические факторы адаптации могут также выполнять функции факторов патогенности, что позволяет экстремотолерантным штаммам сerratий проявлять черты возбудителей оппортунистических и нозокомиальных инфекций, а также передаваться с охлажденными продуктами питания. Широкое применение пищевых технологий, включающих охлаждение и вакуумирование пищевой продукции, потенциально способно создать новую экологическую нишу, благоприятную для селекции психро- и гипобаротолерантных возбудителей пищевых токсикоинфекций. Полученные результаты позволяют поставить вопрос о необходимости дальнейших исследований по мониторингу генетического разнообразия популяций психрофильных гипобаротолерантных микроорганизмов, обладающих патогенным и эпидемическим потенциалом.

Ключевые слова: сerratии, биопленки, экстремальные местообитания, психротолерантные бактерии, холодовые адаптации, вирулентность, микробиологический мониторинг.

ASSESSING *SERRATIA* spp. PATHOGENIC POTENTIAL FROM CRYOGENIC HABITATS

Goncharov A.E.^{a,c,d}, Solomenny A.P.^b, Panin A.L.^{e,f}, Grigorjev S.E.^g, Cheprasov M.Yu.^g, Akhremenko Ya.A.^g, Kolodzhieva V.V.^c, Goncharov N.E.^{c,e}, Kraeva L.A.^{e,h}

^a Institute of Experimental Medicine, St. Petersburg, Russian Federation

^b Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Russian Academy of Sciences Ural Branch, Perm, Russian Federation

^c North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation

^d St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

^e St. Petersburg Pasteur Institute, St. Petersburg, Russian Federation

^f All-Russian Research Veterinary Institute of Poultry Science, St. Petersburg, Russian Federation

^g M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

^h Military Medical Academy named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The genus *Serratia* are opportunistic bacteria widely spread in natural environment. At the same time, this bacterial genus consists of the species associated with outbreaks of nosocomial infections. *Serratia* species are found in extreme habitats, but pathogenic potential of polyextremophilic strains in this genus remains unexplored. The aim of this study was to compare the genomes of two *Serratia* strains isolated in polar regions, primarily examining genetic factors of virulence and adaptation to cryogenic environment. During the 56th Russian Antarctic Expedition the *Serratia liquefaciens* 72 strain was isolated from a guano sample of the Adelie Penguin (*Pygoscelis adeliae*) colony on Tokarev Island (Haswell Archipelago, East Antarctica). The *Serratia fonticola* 51 strain was isolated from the frozen carcass of moose (*Alces alces*) fossils found on the Buor-Khaya Peninsula near the Laptev Sea coast (Yakutia Region, Russia). The whole-genome sequencing of such strains allowed to reveal genetic structures evidencing about their successful adaptation to low temperatures. Thus, it was found that both genomes contain genes encoding the main cold shock proteins, phylogenetically close to the corresponding genes in the hypobarotolerant *Serratia liquefaciens* strain ATCC 27592. Furthermore, both strains bear a cluster of *tefABCD* genes determining the bacterial adhesion to epithelial tissues, and the genes for RTX toxins — adhesins, crucial factors of biofilm formation in pathogenic Gram-negative bacteria. Experimental studies confirmed the ability of *Serratia liquefaciens* 72 and *Serratia fonticola* 51 to actively form biofilms in a wide temperature range (from 6°C to 37°C). The results obtained indicate that the examined genus *Serratia* strains isolated in Arctica and Antarctica exert overall similar adaptation strategies to polar climate, including the ability to produce pili, show active adhesion, and biofilm formation under low temperatures. Genetic adaptive factors may also act as pathogenicity factors allowing extremotolerant *Serratia* strains to exert traits of opportunistic and nosocomial pathogens and spread via chilled food-borne transmission. The wide use of food technologies, such as cooling and vacuum sealing, can potentially create a new ecological niche favourable for selection of psychrotolerant and hypobarotolerant pathogens. The data obtained allow to raise a question about necessity of further studies to monitor genetic diversity among psychrophilic hypobarotolerant microbial populations possessing pathogenic and epidemic potential.

Key words: *Serratia*, biofilms, extreme environment, psychrotolerant bacteria, cold adaptation, virulence, microbiological monitoring.

Введение

К числу возбудителей инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, способных вызывать внутрибольничные вспышки, относятся серрации, в частности *Serratia marcescens* [7]. Данные бактерии обуславливают не менее 2% всех инфекций, являясь частой причиной инфекций кровотока, менингитов, эндокардитов, инфекций мочевыводящих путей у иммунокомпрометированных лиц и новорожденных [14]. В то же время представители рода *Serratia* известны как естественные обитатели воды и почвы, среди них имеются также обитатели ризосферы (*S. marcescens*, *S. plymuthica*) симбионты беспозвоночных (*S. nematodiphila*, *S. symbiotica*, *S. proteamaculans*), энтомопатогены (некоторые штаммы *S. liquefaciens*) и фитопатогены (*S. marcescens*). Разнообразие экологических ниш, занимаемых данной таксономической группой, делает ее уникальной моделью для изучения генетических изменений, происходящих в процессе адаптации убиквитарного микроорганизма к специфическим средам обитания (организму человека и внешней среде медицинских учреждений).

Серрации, как и другие энтеробактерии, выделяют и в природных экстремальных биотопах. В Чилийских Андах, где дневной диапазон температур составляет от 0°C до 30°C, выделена *S. ureilytica*, штамм Lg 5/4, в популяции которой впервые для серраций описаны дормантные клеточные формы [9]. В то же время молекулярно-генетические исследования экстремотолерантных штаммов крайне ограничены [12], их патогенный и эпидемический потенциал неясен.

Материалы и методы

В работе обсуждаются особенности строения и функционирования геномов двух штаммов серраций, выделенных нами в криогенных условиях.

Штамм *Serratia liquefaciens* 72 выделен в 2011 г. в ходе 56-й Российской Антарктической экспедиции из образца гуано колонии пингвинов Адели (*Pygoscelis adeliae*), обнаруженной на острове Токарева (архипелаг Хасуэлл, Восточная Антарктида, 66°51'00.0"S 93°00'00.0"E) [2].

Штамм *Serratia fonticola* 51 выделен в марте 2014 г. при микробиологическом исследовании материала из пищеварительного тракта ископаемого животного — так называемого «Омолойского лося» (*Alces alces*). Данная пале-

онтологическая находка была сделана в 2010 г. оленеводами общины «Омолой» на полуострове Буор-Хая вблизи побережья моря Лаптевых (Республика Саха (Якутия), РФ) в точке с координатами 71°53'57.30"N, 132°36'56.69"E. Благодаря залеганию туши животного в толще многолетней мерзлоты прекрасно сохранились мягкие ткани и внутренние органы.

Датирование радиоуглеродным методом свидетельствует об отнесении ископаемых остатков Омолойского лося к периоду голоценового оптимума (абсолютный возраст находки составил 8,865±40 ВР (GrA-52436), калиброванный — 10,010±106 cal ВР) [1].

Секвенирование геномов обоих штаммов проведено на приборе Ion Torrent PGM по стандартному протоколу, предлагаемому производителем (Life Technologies, США), до достижения 120-кратного покрытия генома.

В работе также оценивали биопленкообразующую активность штаммов серраций при температуре 6°C, 22°C, 37°C. Для этого на 3 предметных стекла наносили по 2 капли объемом 100 мкл, содержащих 1×10^5 КОЕ/мл штаммов исследуемых бактерий в бульоне Мюллера–Хинтон. Стекла размещали в чашках Петри, создав условия «влажной камеры», при температурах 6°C, 22°C и 37°C на 48 часов. Далее фиксировали образовавшиеся биопленки 4%-ным раствором параформальдегида в течение 20 минут при 4°C, удаляли фиксирующий раствор и наносили по капле красителя DAPI (1:1000), оставляли на 30 минут, смывали физиологическим раствором и проводили микроскопию с помощью люминесцентного микроскопа Axio Scope A1 (Zeiss, Германия) при увеличении в 400 раз. Регистрацию изображений осуществляли с помощью профессиональной стационарной цифровой фотокамеры AxioCam HRc Rev3.

Результаты

Последовательности геномов обоих штаммов депонированы в GenBank (Acc. № NZ_MQRG00000000.1 (*Serratia liquefaciens* 72) и Acc. № MQRH00000000 (*Serratia fonticola* 51).

При проведении сравнительного генетического анализа особый интерес для нас представляли структуры, свидетельствующие об адаптации изучаемых бактерий к экстремальной среде обитания.

Установлено, что в геномах присутствуют гены, кодирующие основные белки-шапероны холодного шока (*cspC*, *cspE*, *cspG* у *S. liquefaciens* 72 и *cspC*, *cspE*, *cspG*, *cspD* у *S. fonticola* 51). Сравнительный анализ с использованием алго-

ритма BLAST показал, что нуклеотидные последовательности данных генов близки (сходство 99,1–100%) соответствующим генам гипобаротолерантного штамма *S. liquefaciens* ATCC 27592 (GenBank Acc. № CP006252), способного поддерживать рост при 0°C в низком (0,7 килопаскаля, кПа) вакууме, в том числе в условиях моделирования атмосферы Марса [11].

Принципиальным отличием геномов изученных психротолерантных серраций от генома штамма ATCC 27592 является наличие у них кластера генов *tfABCD* (Typhi colonizing factor), который генетически родственен оперону *Coo* высокоадаптированной к паразитированию в организме человека энтеротоксигенной *E. coli* [3]. Экспрессия этих генов детерминирует формирование у клеток так называемых cable-like фимбрий, которые способствуют адгезии бактериальных клеток к эпителиальным тканям, в том числе человеческому эпителию [6]. При инвазии *S. liquefaciens* они могут быть ответственны и за процесс гемагглютинации.

Ассоциация генов *tfABCD* у антарктической серрации с геном, кодирующим тирозиную рекомбиназу, и наличие у нее, как и у штамма ATCC 27592, плазмиды (размером 98 877 пар оснований у *S. liquefaciens* 72 и 44 107 пар оснований у ATCC 27592) свидетельствует в пользу возможности горизонтального генетического переноса между серрациями и близкородственными видами бактерий в природной или клинической среде.

Другие гены, кодирующие регуляторы синтеза манноза-чувствительных гемагглютининов – основных факторов патогенности серраций. Они представлены фимбриями первого типа и практически сходных у обоих психротолерантных штаммов *S. liquefaciens*, которые близки генам цитотоксичного клинического изолята HUMV-21 (Acc. № NZ_CP011303.1). При этом сходство нуклеотидных последовательностей достигает 98–99%. Патоадаптивные мутации в генах фимбрий первого типа *fim* у энтеробактерий известны [4], но, безусловно, необходима детализация того, как эти мутации отражаются на адгезивном фенотипе.

Дополнительным фактором, обеспечивающим адаптацию *S. fonticola* 51 к персистенции в условиях низких температур, является наличие гена нуклеации льда (ice-nucleation protein), ассоциированного с мобильным генетическим элементом (транспозоном), фланкированным IS91-подобными последовательностями.

Полиэкстремофильный фенотип изучаемых штаммов серраций в значительной мере определяется также их способностью к био-

пленкообразованию. В составе обоих геномов обнаруживаются гены RTX адгезинов-токсигенов, продукты которых являются важнейшими факторами биопленкообразования у ряда патогенных бактерий, включая *Vibrio cholerae* [13]. В то же время адгезины данного класса являются необходимым элементом выживания в экстремальных условиях у антарктической бактерии *Marinomonas primoryensis*, обеспечивая адгезию к диатомовым водорослям и льду [10].

Изучение продукции биопленок обоими штаммами серраций показало, что и *S. liquefaciens* 72, и *S. fonticola* 51 способны к биопленкообразованию *in vitro* во всех температурных условиях, которые были использованы в настоящем исследовании. Как видно из рисунка (см. III обложку), адгезия жизнеспособных клеток к поверхности тест-объекта активно происходит в том числе и при 6°C.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что представители рода *Serratia*, выделенные в Арктике и Антарктике, в целом обладают сходными чертами адаптации к условиям полярного климата, включая способность к продукции фимбрий, активной адгезии и биопленкообразованию при низких температурах. Выявленные адаптивные характеристики, по-видимому, универсальны, и используются серрациями для освоения экстремальных местообитаний, включая техногенные экосистемы и госпитальную среду.

Человек все чаще будет сталкиваться с различными психротолерантными микроорганизмами при расширении масштабов деятельности в полярных и высокогорных районах. Кроме того, сегодня многие продукты питания поставляются в охлажденном виде и в вакуумной упаковке, что существенно увеличивает сроки хранения и расширяет ассортимент за счет экзотической продукции. Широко пропагандируются методы и аппаратура для вакуумирования продуктов питания в домашних условиях. Однако следует учитывать негативные последствия применения данных пищевых технологий, так как в результате фактически создается новая экологическая ниша, благоприятная для селекции психро- и гипобаротолерантных возбудителей пищевых токсикоинфекций. Роль серраций, в том числе обладающих множественной лекарственной устойчивостью, в качестве возбудителей подобных заболеваний обсуждалась ранее [5].

В связи с вышеуказанными обстоятельствами все большую актуальность приобретает такое научное направление, как механомикробиология, изучающая отклик микробной клетки на действие физических сил, влияние физических факторов на адгезию, биопленкообразование и другие определяющие патогенность процессы [8].

Заключение

Изученные экстремотолерантные штаммы серраций обладают патогенным потенциалом, позволяющим им при определенных условиях выступать в качестве возбудителей оппортунистических и нозокомиальных инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, а также, вероятно, успешно сохраняться в охлажденных продуктах питания.

По нашему мнению, в настоящее время требуются мониторинговые исследования,

направленные на изучение биоразнообразия и оценку распространения психрофильных гипобаротолерантных микроорганизмов, обладающих патогенным и эпидемическим потенциалом, в природных и антропогенных экосистемах.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках тем государственного задания:

- НИОКТР АААА-А18-118052990083-4;
- НИОКТР АААА-А19-119112290008-4.

Авторы признательны руководству Российской Антарктической экспедиции за помощь в организации полевого этапа исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы/References

1. Григорьев С.Е., Чепрасов М.Ю., Савинов Г.Н., Тихонов А.Н., Новгородов Г.П., Федоров С.Е., Боескоров Г.Г., Протопопов А.В., Плотников В.В., Боголюбский И.Н., Протодьяконов К.Е., ван дер Плихт Й. Палеонтологические и археозоологические исследования в бассейне р. Яна // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. Т. 1, № 57. С. 20–35. [Grigorjev S.E., Cheprasov M.Yu., Savinov G.N., Tikhonov A.N., Novgorodov G.P., Fedorov S.E., Boeskorov G.G., Protopopov A.V., Plotnikov V.V., Bogolubsky I.N., Protodiyakonov K.E., Van der Plicht J. Paleontological and archaeozoological researches in the Yana river basin. *Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta = Bulletin of the North-Eastern Federal University*, 2017, vol. 1, no. 57, pp. 20–35. (In Russ.)]
2. Панин А.Л., Сбойчаков В.Б., Белов А.Б., Краева Л.А., Власов Д.Ю., Гончаров А.Е. Природно-техногенная очаговость инфекционных болезней на территории антарктических поселений // Успехи современной биологии. 2016. Т. 136, № 1. С. 53–67. [Panin A.L., Sboichakov V.B., Belov A.B., Kraeva L.A., Vlasov D.Yu., Goncharov A.E. Natural and technogenic focality of infectious diseases in Antarctic settlements. *Uspekhi sovremennoi biologii = Biology Bulletin Reviews*, 2016, vol. 136, no. 1, pp. 53–67. (In Russ.)] doi: 10.1134/S2079086416040034
3. Azriel S., Goren A., Shomer I., Aviv G., Rahav G., Gal-Mor O. The Typhi colonization factor (Tcf) is encoded by multiple non-typhoidal Salmonella serovars but exhibits a varying expression profile and interchanging contribution to intestinal colonization. *Virulence*, 2017, vol. 8, no. 8, pp. 1791–1807. doi: 10.1080/21505594.2017.1380766
4. Bateman S.L., Stapleton A.E., Stamm W.E., Hooton T.M., Seed P.C. The type 1 pili regulator gene fimX and pathogenicity island PAI-X as molecular markers of uropathogenic Escherichia coli. *Microbiology*, 2013, vol. 159, pp. 1606–1617. doi: 10.1099/mic.0.066472-0
5. Bhutani N., Muraleedharan C., Talreja D., Rana S.W., Walia S., Kumar A., Walia S.K. Occurrence of multidrug resistant extended spectrum beta-lactamase-producing bacteria on iceberg lettuce retailed for human consumption. *Biomed. Res. Int.*, 2015, vol. 515: 547547. doi: 10.1155/2015/547547
6. Bravo V., Puhar A., Sansonetti P., Parsot C., Toro C.S. Distinct mutations led to inactivation of type 1 fimbriae expression in Shigella spp. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 3: e0121785. doi: 10.1371/journal.pone.0121785
7. Casolari C., Pecorari M., Della Casa E., Cattani S., Venturelli C., Fabio G., Tagliazucchi S., Serpini G.F., Migaldi M., Marchegiano P., Rumpianesi F., Ferrari F. Serratia marcescens in a neonatal intensive care unit: two long-term multiclonal outbreaks in a 10-year observational study. *New Microbiol.*, 2013, vol. 36, no. 4, pp. 373–383.
8. Dufrene Y.F., Persat A. Mechanomicrobiology: how bacteria sense and respond to forces. *Nat. Rev. Microbiol.*, 2020, vol. 18, pp. 227–240. doi: 10.1038/s41579-019-0314-2
9. Filippidou S., Junier T., Wunderlin T., Kooli W.M., Palmieri I., Al-Dourobi A., Molina V., Lienhard R., Spangenberg J.E., Johnson Sh.L., Chain P.G., Dorador C., Junier P. Adaptive strategies in a poly-extreme environment: differentiation of vegetative cells in Serratia ureilytica and resistance to extreme conditions. *Front. Microbiol.*, vol. 10: 102. doi: 10.3389/fmicb.2019.00102
10. Guo S., Stevens C.A., Vance T.D.R., Olijve L.L.C., Graham L.A., Campbell R.L., Yazdi S.R., Escobedo C., Bar-Dolev M., Yashunsky V., Braslavsky I., Langelaan D.N., Smith S.P., Allingham J.S., Voets I.K., Davies P.L. Structure of a 1.5-MDa adhesin that binds its Antarctic bacterium to diatoms and ice. *Sci. Adv.*, 2017, vol. 3: e1701440. doi: 10.1126/sciadv.1701440
11. Nicholson W.L., Leonard M.T., Fajardo-Cavazos P., Panayotova N., Farmerie W.G., Triplett E.W., Schuerger A.C. Complete genome sequence of Serratia liquefaciens strain ATCC 27592. *Genome Announc.*, 2013, vol. 1, no. 4: e00548-13. doi: 10.1128/genomeA.00548-13
12. Saralov A.I. Adaptivity of archaeal and bacterial extremophiles. *Microbiology*, 2019, vol. 88, pp. 379–401. doi: 10.1134/S0026261719040106

13. Satchell K.J. Structure and function of MARTX toxins and other large repetitive RTX proteins. *Ann. Rev. Microbiol.*, 2011, vol. 65, pp. 71–90. doi: 10.1146/annurev-micro-090110-102943
14. Su L.H., Ou J.T., Leu H.S., Chiang P.-Ch., Chiu Yu.-Pi, Chia J.-H., Kuo A.-J., Chiu Ch.-H., Chu Ch., Wu T.-L., Sun Ch.-F., Riley T.V., Chang B.J.; The Infection Control Group. Extended epidemic of nosocomial urinary tract infections caused by *Serratia marcescens*. *J. Clin. Microbiol.*, 2003, vol. 41, no. 10, pp. 4726–4732. doi: 10.1128/jcm.41.10.4726-4732.2003

Авторы:

Гончаров А.Е., д.м.н., доцент, зав. лабораторией функциональной геномики и протеомики микроорганизмов ФГБНУ Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия; профессор кафедры эпидемиологии, паразитологии и дезинфектологии ФГБОУ ВО Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия; доцент кафедры фундаментальных проблем медицины и медицинских технологий ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

Соломенный А.П., к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории водной микробиологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия;

Панин А.Л., научный сотрудник лаборатории медицинской бактериологии ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Санкт-Петербург, Россия; старший научный сотрудник ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства, Санкт-Петербург, Россия;

Григорьев С.Е., к.б.н., зав. лабораторией «Музей мамонта им. П.А. Лазарева» ФГАУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия;

Чепрасов М.Ю., к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории «Музей мамонта им. П.А. Лазарева» ФГАУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия;

Ахременко Я.А., к.м.н., доцент кафедры гистологии и микробиологии Медицинского института ФГАУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия;

Колодзиева В.В., к.м.н., доцент кафедры эпидемиологии, паразитологии и дезинфектологии ФГБОУ ВО Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия;

Гончаров Н.Е., специалист I категории лаборатории медицинской бактериологии ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Санкт-Петербург, Россия; старший лаборант кафедры эпидемиологии, паразитологии и дезинфектологии ФГБОУ ВО Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия;

Краева Л.А., д.м.н., зав. лабораторией медицинской бактериологии ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Санкт-Петербург, Россия; профессор кафедры микробиологии ФГБВОУ ВО Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия.

Authors:

Goncharov A.E., PhD, MD (Medicine), Associate Professor, Head of the Laboratory of Functional Genomics and Proteomics of Microorganisms, Institute of Experimental Medicine, St. Petersburg, Russian Federation; Professor of the Department of Epidemiology, Parasitology and Disinfectology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Fundamental Problems of Medicine and Medical Technologies, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation;

Solomenny A.P., PhD (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Water Microbiology, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Russian Academy of Sciences Ural Branch, Perm, Russian Federation;

Panin A.L., Researcher, Laboratory of Medical Bacteriology, St. Petersburg Pasteur Institute; Senior Researcher of the All-Russian Research Veterinary Institute of Poultry Science, St. Petersburg, Russian Federation;

Grigorjev S.E., PhD (Biology), Head of the Laboratory “P.A. Lazarev Mammoth Museum”, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation;

Cheprasov M.Yu., PhD (Biology), Senior Researcher, Laboratory “P.A. Lazarev Mammoth Museum”, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation;

Akhremenko Ya.A., PhD (Medicine), Associate Professor, Department of Histology and Microbiology of the Medical Institute, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation;

Kolodzieva V.V., PhD (Medicine), Associate Professor, Department of Epidemiology, Parasitology and Disinfectology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation;

Goncharov N.E., Specialist of the 1st Category, Laboratory of Medical Bacteriology, St. Petersburg Pasteur Institute, St. Petersburg, Russian Federation; Head Technician of the Department of Epidemiology, Parasitology and Disinfectology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation;

Kraeva L.A., PhD, MD (Medicine), Head of the Laboratory of Medical Bacteriology, St. Petersburg Pasteur Institute, St. Petersburg, Russian Federation; Professor of the Department of Microbiology, Military Medical Academy named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russian Federation.

Иллюстрация к статье «Оценка патогенного потенциала серраций из криогенных местообитаний» (авторы: А.Е. Гончаров, А.П. Соломенный, А.Л. Панин, С.Е. Григорьев, М.Ю. Чепрасов, Я.А. Ахременко, В.В. Колоджиева, Н.Е. Гончаров, Л.А. Краева) (с. 585–590)

Illustration for the article “Assessing *Serratia* spp. pathogenic potential from cryogenic habitats” (authors: Goncharov A.E., Solomenny A.P., Panin A.L., Grigorjev S.E., Cheprasov M.Yu., Akhremenko Y.A., Kolodzhieva V.V., Goncharov N.E., Kraeva L.A.) (pp. 585–590)

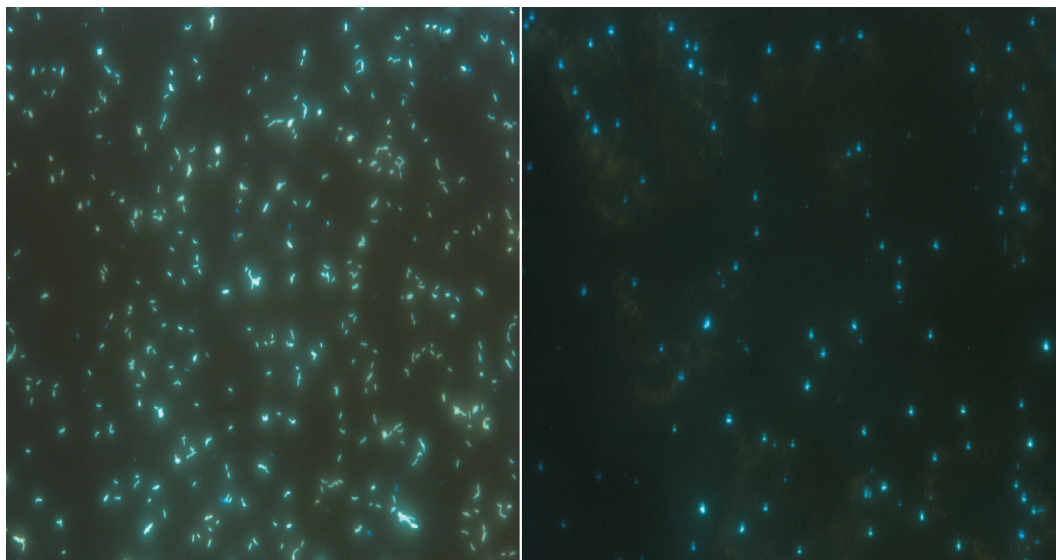


Рисунок. Флуоресцентная микроскопия биопленок, формируемых культурами серраций

Figure. Fluorescent microscopy of biofilms formed by cultures of *Serratia* spp.

Примечания. Слева — штамм *S. liquefaciens* 72, справа — штамм *S. fonticola* 5l. Окраска DAPI, увеличение ×400

Notes. Left: *S. liquefaciens* 72, right: *S. fonticola* 5l. DAPI staining, magnification ×400