

Геномный анализ метаболизма углеводов у бактерий рода *Sphaerochaeta*

Трошина О.Ю., Щербакова В.А.

ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, г.Пушино;
oltro676@yandex.ru

Бактерии рода *Sphaerochaeta* семейства *Spirochetaceae* являются облигатным компонентом разнообразных анаэробных микробных сообществ. Их нуклеотидные последовательности обнаружены в том числе в кишечном тракте животных [1]. Таксономически описаны пять видов сферохет *S. associata* GLS2^T, *S. globosa* Buddy^T, *S. pleomorpha* Grapes^T, *S. coccoides* SPN1^T и *S. halotolerans* 4-11^T [2-5]. Для всех получены геномные последовательности. Несмотря на широкое распространение сферохет их биология и метаболические свойства изучены недостаточно.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании углеводного метаболического потенциала бактерий рода *Sphaerochaeta* на основании анализа их геномов, а также геномов родственных представителей семейства *Spirochaetaceae*. Сравнительный анализ показал повышенное содержание и разнообразие генов транспорта и катаболизма углеводов. Плотность генов транспортных систем на 1 Mb геномов *S. coccoides*, *S. globosa*, *S. associata* и *S. pleomorpha* составляет 0.14, 0.16, 0.16 и 0.18 соответственно по сравнению с 0.11 в среднем для других представителей семейства *Spirochaetaceae*. Наиболее представлены гены первичных АВС-транспортных систем мелибиозы/стахиозы/раффинозы, рибозы, множественных сахаров, алдуронатов и TRAP-системы С4 дикарбоксилатов. У всех исследованных сферохет есть АВС-системы для транспорта дигалактуронатов, метилгалактозидов, рамнозы и у всех за исключением *S. pleomorpha* есть транспортная система для олигогалактуронидов. Другие типы переносчиков, такие как фосфотрансферазная система переноса сахаров и вторичные транспортёры типа MFS имеют незначительную представленность в геномах изученных бактерий.

Геномы сферохет содержат умеренный по разнообразию набор гликозид-активных ферментов. Белки разных классов гликозид-гидролаз GH2, GH3, GH4, GH13, GH31, GH43, GH57, GH105 и карбоксиэстераза CE9 наиболее представлены в геномах *Sphaerochaeta*. Также у всех присутствуют GH1, 20, 28, 36, 63, 77 и CE8. В исследованных *Sphaerochaeta* не обнаружен ген, кодирующий мурамидазу/пептидогликан-трансгликолазу семейства GH23. Анализ спектра гликозил-активных белков указывает на способность этих бактерий использовать только моно- и олигомерные углеводы, в частности галактозиды, глюкозиды, ксилоолигосахариды. Анализ CAZy ферментов сферохет указывает на способность этих бактерий к расщеплению компонентов пектина, таких как гомогалактуронан и рамногалактуронан I. В геномах всех сферохет присутствуют гены гомологичные полигалактуроназе (GH28), а также карбоксиэстеразы семейств CE8 и CE12. В геномах *S. associata*, *S. globosa* и *S. coccoides* есть гены, кодирующие вероятную ненасыщенную глюкуронил-гидролазу (хондроитин дисахарид гидролазу (GH88) и гены предполагаемых гепариназ (PL12, PL33). Наличие генов для GH88, а также генов, кодирующих белки семейств PL12, PL33, создаёт возможность использования этими бактериями гликозаминогликанов.

Геномный анализ бактерий рода *Sphaerochaeta* показал наличие у них генов для широкого спектра активных АТФ-зависимых транспортных систем (АВС-переносчики) для моно- и олигосахаридов. При этом в геномах исследованных бактерий закодирован умеренный по разнообразию набор ферментов деградации углеводов, среди которых наиболее представлены α - и β -галактозидазы, α -глюкозидазы, α - и β -ксилозидазы, глюкуронидазы, действующие на олигомерные субстраты. Таким образом, в многокомпонентных микробных сообществах сферохеты сотрудничают с другими микроорганизмами, первичными бродильщиками, и активно конкурируют с микрофлорой рассеяния за продукты разложения растительной и микробной биомассы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-04-00831).

Литература

1. Dewhirst, Floyd & Klein, Erin & Thompson, Emily & Blanton, Jessica & Chen, Tsute & Milella, Lisa & Buckley, Catherine & Davis, Ian & Bennett, Marie-Lousie & Marshall-Jones, Zoe. (2012) The Canine Oral Microbiome. PloS one. 7. e36067. 10.1371/journal.pone.0036067.
2. Bidzhieva SKh, Sokolova DSh, Tourova TP, Nazina TN. (2018) Bacteria of the genus *Sphaerochaeta* from low-temperature heavy oil reservoirs (Russia). Microbiology (Moscow) 87:745–753.
3. Dröge S, Frohlich J, Radek R & Helmut Konig (2006) *Spirochaeta coccoides* sp. nov., a Novel Coccoid Spirochete from the Hindgut of the Termite *Neotermes castaneus*. Appl Env Microbiol 72: 392–397.
4. Ritalahti KM, Justicia-Leon SD, Cusick KD, Ramos-Hernandez N, Rubin M, Dornbush J & Loffler FE (2012) Isolation of *Sphaerochaeta* (gen. nov.), free-living, spherical spirochetes, and characterization of *Sphaerochaeta pleomorpha* (sp. nov.) and *Sphaerochaeta globosa* (sp. nov.). Int J Syst Evol Microbiol 62: 210-216.
5. Troshina O, Oshurkova V, Suzina N, Machulin A, Ariskina E, Vinokurova N, Kopitsyn D, Novikov A & Shcherbakova V (2015) *Sphaerochaeta associata* sp. nov., a spherical spirochaete isolated from cultures of *Methanosarcina mazei* JL01. Int J Syst Evol Microbiol doi: 10.1099/ijsem.0.000575).