

THIOMARGARITA MAGNIFICA

**Зубаерова Г.И., студентка 2 курса факультета ветеринарной
медицины и биотехнологий, nucsik@mail.ru**

**Научный руководитель – Пульчеровская Л.П., к.б.н., доцент
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ**

Ключевые слова: геном, клетки-гиганты, транскрипция и трансляция, мембранные ДНК-содержащие органеллы, геном, нуклеотиды, секретины VI типа, полиплоидизации, рибосомы

*В статье представлены сведения по особенностям строения, биологии бактерий относящихся к группе сероокисляющих гамма-протеобактерий вида — *Thiomargarita magnifica*.*

Ученые исследовали подводную биоту в Карибском море. На затонувших палых листьях мангровых деревьев были замечены обрастания из очень тоненьких, но различимых невооруженным глазом белых ниточек длиной до 20 мм.

Размеры клеток оказались рекордными для бактерий в целом как группы. Каждая такая клетка, имеющая вытянутую форму, одним своим концом закреплена на субстрате. Средний размер клеток вдоль длинной оси составил примерно 1 см. Поперечное сечение этих клеток — окружность диаметром до 150 мкм. В центральной части клетки находится огромная вакуоль (75–85% от общего объема). Клетка покрыта двумя липидными мембранами, в пространстве между которыми размещается клеточная стенка, построенная из пептидогликанов. в цитоплазме обнаруживается большое количество гранул, которые отражают свет и придают бактерии белый цвет. Анализ показал, что эти гранулы состоят из молекулярной серы. На нити присутствуют разделенные промежутками сужения, которые становятся все более глубокими по мере приближения к верхнему концу бактерии. Однако внутреннее пространство вакуоли и цитоплазмы даже в этих местах остается непрерывным. Полное смыкание мембраны происходит с некоторой периодичностью лишь в области самого

верхнего такого пояса — именно так от гигантской прикрепленной клетки отпочковывается маленькая дочерняя клетка, которая пассивно перемещается в воде до тех пор, пока не прикрепится к подходящему субстрату, после чего сможет расти и со временем начать производить дочерние клетки. в подводной части среди сплетений корней деревьев формируется очень специфическая среда обитания [1]. Сплетения корней препятствуют активному течению, так что вода здесь застаивается. Мертвая органика разлагается бактериями гниения, и в результате их жизнедеятельности накапливаются неорганические соединения серы и азота в высокой концентрации. Концентрация кислорода, напротив, снижена.

В цитоплазме клетки огромное количество компактных структур [2], содержащих ДНК. Анализ изображений с электронного микроскопа неожиданно показал, что каждая такая структура отделена от окружающей цитоплазмы липидной мембраной. в сущности, это мембранные ДНК-содержащие органеллы, каковых ранее не наблюдали. Внутри этих органелл при использовании электронной микроскопии кроме геномной ДНК выявляются также и множественные рибосомы.

Секвенирование и сборка генома бактерий были проведены для нескольких отдельных клеток. Размер генома оказался равен 12 миллионам пар нуклеотидов. Этот геном вмещает около 11 000 отдельных генов, что больше, чем у всех прочих родственных бактерий и чем у подавляющего большинства изученных бактерий. Среди всех генов необычно высокую долю (около 25%) составляют гены синтеза вторичных метаболитов — так называют синтезируемые клеткой вещества, которые нужны не столько для непосредственного контроля роста и размножения бактерии [3], сколько для адаптации к переменам условий среды и для вытеснения потенциальных конкурентов в зоне непосредственной близости. Агрессивность по отношению к возможным нежелательным соседям подтверждается также наличием большой группы генов, отвечающих за работу системы секреции VI типа. Эта система секреции — оружие, которое некоторые бактерии могут использовать, чтобы вводить токсины в клетки других бактерий, оказавшихся в роли нежеланных соседей [4]. Механизм введения токсина похож на тот, что работает в шприце. Видимо, неспроста

ученые не нашли у никаких симбионтов, хотя гигантским клеткам в целом формирование симбиозов весьма свойственно.

Все гигантские бактерии размножаются почкованием. Эта особенность согласуется с тем фактом, что в геномах бактерий оказались утрачены многие гены, задействованные в делении большинства обычных бактерий. с другой стороны, гены, отвечающие за рост клетки в длину, оказались дублированы.

Были выявлены дубликации и преобразования, а также утраты и в группах генов, обслуживающих метаболизм бактерий, в том числе, связанных с хемосинтезом. Огромное количество генов, выявленных в геноме [5], входят в состав разнообразных систем токсин-антитоксин, функциональная роль которых для нашей пока не ясна.

Как уже можно было понять из предшествующего рассказа, геном в клетках представлен большим числом копий. Ведь по всему объему и по всей периферии клетки постоянно должны происходить множественные биохимические реакции. Диффузии молекул явно было бы недостаточно для своевременного попадания всех необходимых белков в нужные части огромной клетки. Так что полиплоидность для клеток-гигантов — единственно возможное решение.

Одной из особенностей генома оказалось присутствие большого количества «эгоистичных элементов» в виде интронов I и II групп, транспозонов, генов сайт-специфических рекомбиназ. Это не характерно для большинства бактерий, но, вместе с тем, это общая черта всех полиплоидных бактерий-гигантов. Полиплоидность, вероятнее всего, как раз и служит непосредственной причиной этого явления — функционирование множественных копий генома в единичной клетке приводит к снижению эффективности отсеивающего отбора, который у большинства обычных гаплоидных бактерий [6] строго ограничивает распространение таких элементов. Вышеупомянутые системы «токсин-антитоксин» вполне могли распространиться по этой же причине. Вместе с тем это не исключает возможности, что по крайней мере некоторые из таких «эгоистичных элементов» генома в конечном итоге «одомашнились» и выполняют важные для бактерии адаптивные функции.

Микроскопические размеры клеток бактерий и архей объясняют наличием нескольких ограничений: 1) отсутствие активного

внутриклеточного транспорта и, как следствие, зависимость от химической диффузии [7], которая эффективна только на расстояниях в пределах нескольких микрометров; 2) ограничения по количеству рибосом, которые клетка способна произвести в единицу времени и которые необходимы для синтеза достаточного количества строительных белков, поддерживающих рост и самообновление клетки определенного размера; 3) ограничения по количеству АТФ, который клетка способна произвести за определенное время и которого должно быть достаточно для энергообеспечения всех внутриклеточных процессов.

Ввиду того, что площадь мембран, которые служат местом формирования большей части АТФ, с увеличением линейного размера клетки возрастает медленнее [8], чем объем клетки, в котором протекают энергозатратные процессы, энергоэффективность по мере увеличения клетки снижается. Все эти схемы предполагают, что с увеличением размера метаболические потребности бактериальной клетки [9] растут быстрее, чем способность клетки поддерживать их, что устанавливает критический предел роста. Ученые предполагают, что преодоление вышеобозначенных ограничений стало возможным благодаря полиплоидизации, а также благодаря формированию системы дополнительных мембран во внутреннем пространстве клетки, наличие которых позволило решить вопросы энергоснабжения, структурирования цитоплазмы и эффективной транспортировки некоторых метаболитов в каждом отдельном участке гигантской клетки. с решением этой же задачи в принципе мог быть связан также и эволюционный тренд на увеличение клетки в длину. в сущности, речь идет о компартментализации, которая в целом более характерна для группы эукариот и считается их наиважнейшей эволюционной инновацией.

Бактерии похоже, являют собой пример конвергенции, отражая способность природы неоднократно находить схожие эволюционные решения [10], иногда связанные даже с усложнением структурно-функциональной организации.

Библиографический список:

1. Ляшенко Е.А. Биоконтроль сальмонелл с использованием коммерческого бактериофага в мясе (тушек) кроликов/ Ляшенко Е.А., Пульчеровская Л.П., Ляшенко П.М., Куликова Е.С./ в сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения П.А. Столыпина. Ульяновск, 2022. С. 272-275.

2. Пульчеровская Л.П. Ветеринарно-санитарная экспертиза коровьего молока с целью выявления колиформных бактерий/ Пульчеровская Л.П., Ковалева Е.Н. в сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения П.А. Столыпина. Ульяновск, 2022. С. 282-296.

3. Пульчеровская Л.П. Антибактериальные препараты при лечении инфекционного отита у мелких домашних животных/ Пульчеровская Л.П. в сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы XI Международной научно-практической конференции. Ульяновск, 2021. С. 234-239.

4. Ефрейторова Е.О. Фагоиндикация бактерий рода *Serratia*/ Ефрейторова Е.О., Пульчеровская Л.П., Васильев Д.А., Золотухин С.Н., Павлова И.Б., Юдина Т.Г. в книге: Бактериофаги: теоретические и практические аспекты применения в медицине, ветеринарии и пищевой промышленности. Материалы Третьей научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 67-68.

5. Ефрейторова Е.О. Распространенность бактерий вида *S. marcescens* в объектах окружающей среды и пищевых продуктах/ Ефрейторова Е.О., Пульчеровская Л.П., Васильев Д.А., Золотухин С.Н. в сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы VII Международной научно-практической конференции. 2016. С. 204-211.

6. Пульчеровская Л.П. Мониторинг объектов окружающей среды на наличие бактерий рода *Citrobacter* и их фагов/ Пульчеровская Л.П., Васильев Д.А., Золотухин С.Н., Ефрейторова Е.О. в сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы

и пути их решения. Материалы VII Международной научно-практической конференции. 2016. С. 253-260. 38

7. Мерчина С.В. Качественные показатели речной рыбы при поражении описторхозом/ Мерчина С.В., Пульчеровская Л.П., Ахметова В.В., Лаишевцев А.И. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 3 (77). С. 298-306.

8. Акимов Н.В. Бактерии, без которых человеку не выжить/ Акимов Н.В., Пульчеровская Л.П., Дежаткина С.В., Любин Н.А. в сборнике: СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ - 2017. IX Международная студенческая электронная научная конференция. 2017.

9. Efreitorova E.O. Indication of *Citrobacter* bacterias in the environment using bacteriophages in the phage titer increase reaction/Efreitorova E.O., Pulcherovskaya L.P. Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. № 10 (58). С. 190-193.

10. Пульчеровская Л.П Индикация бактерий рода *Citobacter* с помощью реакции нарастания титра фага (РНФ)/ Пульчеровская Л.П., Золотухин С.Н., Васильев Д.А. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 1 (21). С. 60-64.

THIOMARGARITA MAGNIFICA

Zubaerova G.I.

Keywords: *genome, giant clones, transcription and translation, membrane DNA-containing organelles, genome, nucleotides, type VI secretions, polyploidizations, ribosomes*

The article presents information on the features of the structure and biology of bacteria belonging to the group of sulfur-oxidizing gamma—proteobacteria of the species - Thiomargarita magnifica.