

Задача 10.

Нанобактерии (12 баллов)

1. (1 балл) Бактерия самостоятельно производит из поступающих извне веществ весь необходимый строительный материал (производит обмен веществ и энергии с окружающей средой), и содержит инструментарий для самовоспроизводства и сборки всех необходимых инструментов. Вирус неспособен самостоятельно «размножить» свою наследственную информацию и «построить» необходимые белки, и использует для этого готовые инструменты живых клеток. Поэтому вирус устроен значительно проще бактерии – может состоять из молекулы ДНК/РНК и всего нескольких белков, необходимых для создания защитной оболочки-капсида и встраивания в работу клетки хозяина.

Для жизнедеятельности бактерии, как минимум, необходимы следующие самые крупные структуры: ДНК для хранения наследственной информации, рибосома (>15 нм) для синтеза белков, 20 транспортных РНК для доставки 20 канонических аминокислот в рибосому (каждая примерно по 5 нм), клеточная мембрана в виде липидного бислоя для поддержания гомеостаза (толщиной не меньше 5 нм), а также набор необходимых белков-ферментов (размеры порядка 2-10 нм).

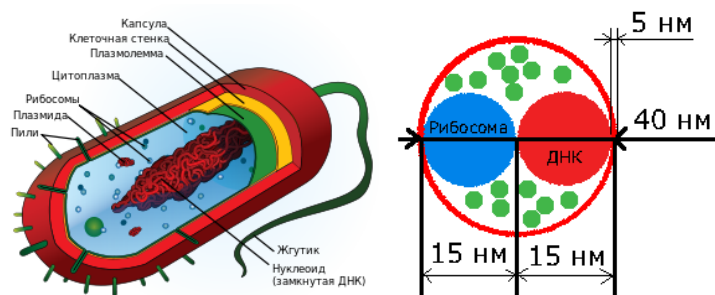


Рис. 1. а) Строение типичной клетки прокариот; б) оценка минимального размера бактерии.

2. (2 балла) Оценим размер такой бактерии, считая, что наибольшими линейными размерами обладают молекула ДНК и рибосома (считаем, что остальные компоненты помещаются в оставшемся пространстве): $D = 2 \cdot 5 + 15 + 15 = 40$ нм.

Можно оценить размер нанобактерии исходя из минимального объема, занимаемого необходимыми для жизнедеятельности клеточными компонентами:

$$V_{\text{нанобактерии}} = V_{\text{РНК}} + 20V_{\text{тРНК}} + V_{\text{ДНК}} = \frac{4\pi}{3} (7,5^3 + 20 \cdot 2,5^3 + 7,5^3) = \frac{4\pi}{3} \cdot 1156,25 \text{ нм}^3, \text{ то есть, диаметр}$$

внутренней полости не может быть менее $2\sqrt[3]{1156,25} = 21$ нм, а размер всей бактерии – $21 + 10 = 31$ нм.

3. (3 балла) Уменьшение размеров бактерии приведет к возникновению ряда трудностей. Например, сильное уменьшение площади поверхности (пропорционально квадрату радиуса) неизбежно вызовет уменьшение потока необходимых для жизни бактерии веществ, замедление синтеза белков (одна рибосома вместо сотен) и НК. Практически полное отсутствие свободного внутриклеточного пространства также замедлит и сильно затруднит все процессы, включая считывание информации с ДНК. Ограничение количества энергии, вероятно, сделает невозможным активный транспорт веществ, что еще сильнее затормозит все процессы. Поэтому быстро размножаться такая бактерия точно не сможет. Уменьшение как размеров генома, так и количества ферментов, приведет к невозможности

синтеза многих необходимых веществ, а, значит, практически неизбежна роль неспособного жить вне клеток паразита (вряд ли симбионта) (почти как вирус). Поэтому искать такую нанобактерию надо будет в клетках растений или животных.

4. (2 балла) В случае нанобактерии жгутик будет неэффективен, поскольку он требует энергии, которой при уменьшении размеров и так будет нехватка. Кроме того, при размерах меньше 100 нм сложно будет противостоять броуновскому движению.

Эндоцитоз нехарактерен для бактерий. К тому же, для него требуется, чтобы часть внешнего липидного бислоя отделилась в виде пузырька. Но липидный бислой нанобактерии будет иметь очень маленький радиус кривизны (большее натяжение), что сделает практически невозможным образование и отделение от него пузырька. При этом размер пузырька (должен быть значительно больше минимально возможного размера – удвоенной толщины стенок $5 \times 2 = 10$ нм) будет сравним с размером нанобактерии, и внутри клетки для него просто не найдется места.

5. (2 балла) Размеры капсидов вирусов, геном которых состоит из двуцепочечной ДНК и содержит ~150 000 пар оснований, дают приблизительную оценку размера ДНК такой бактерии в плотноупакованном виде.

Например, для сравнения можно использовать бактериофаг Т4 имеющий двуцепочечную ДНК, состоящую из примерно 170 тысяч пар оснований (диаметр капсида около 90 нм) или вирусы герпеса с ~120 000 – 170 000 пар оснований (диаметр внутренней полости капсида примерно 75 нм). Это дает оценку диаметра упакованной ДНК около 80 нм, и минимальные размеры нанобактерии порядка 100 нм.

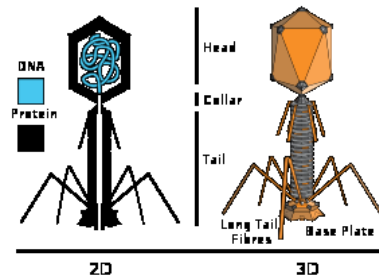


Рис. 2. Бактериофаг Т4

6. (2 балла) Нанобактерии – это органно-минеральные структуры, результат совместной кристаллизации солей кальция (карбонат, фосфат) и белков (преимущественно, альбумина и ферутина-А) из питательной среды, используемой для роста обычных бактерий.