

Один из ферментов цианобактерий складывается в самоподобные пространственные структуры.

Цитратсинтаза *Synechococcus elongatus*, складывающаяся в над молекулярный фрактал. (Иллюстрация MPI f. Terrestrial Microbiology) Открыть в полном размере < >

Фракталами называют объекты со свойством самоподобия: объект в целом имеет ту же форму, что и его часть, а часть – ту же форму, что ещё более мелкая часть, и так далее, и так далее. Вообще говоря, фракталы изначально – математические структуры, и математики описывают их как множества с особыми свойствами, и изобразить наглядно эти множества даже не всегда возможно. Но когда разглядываешь нарисованные фракталы, о математике не задумываешься – они сами по себе весьма эффектно выглядят. Фрактальные элементы используют в изобразительных искусствах с давних времён, когда ещё ни о какой фрактальной математике и речи не шло.

Есть ли фракталы в природе? Есть – это снежинки, морские звёзды, кочаны капусты романеско и др. Только фракталами их можно называть с оговорками, а лучше говорить о квазифракталах: фрактальные мотивы повторяются в природных объектах не полностью и не точно. Собственно, на определённом малом масштабе фрактальность исчезает – что у снежинок, что у капусты; никакого самоподобия части и целого там уже нет. На молекулярном уровне никто никаких фракталов никогда не видел. Но теперь тут тоже нужны оговорки: только что в Nature вышла статья с описанием фрактальной структуры, которую образует цитратсинтаза цианобактерии *Synechococcus elongatus*.

Цитратсинтаза – очень распространённый фермент в живом мире, она катализирует одну из реакций цикла Кребса. Естественно, у разных живых организмов цитратсинтазы будут со своими особенностями. Когда сотрудники Института наземной микробиологии Общества Макса Планка и их коллеги из Университета Марбурга посмотрели на фермент от *S. elongatus* в электронный микроскоп, они увидели, что молекулы фермента сложились в треугольник Серпинского. Так называют один из фракталов, складывающийся, как можно догадаться, из множества равносторонних треугольников и треугольничков.

Треугольник Серпинского. (Иллюстрация: Wikipedia)

Множество белков способны самоорганизовываться в надмолекулярные структуры, но

обычно, когда одна молекула белка взаимодействует с другой молекулой того же самого белка, они взаимодействуют одинаковым образом. В случае с цианобактериальной цитратсинтазой её молекулы взаимодействуют друг с другом немного по-разному в зависимости от положения в пространственной структуре; эти особенности во взаимодействиях заставляют структуру расти по-фрактальному. На молекулярном уровне, повторим, такого пока ещё не видели.

Любопытно, что самой цианобактерии ни жарко, ни холодно оттого, что её фермент склонен строить фракталы. Бактерий модифицировали так, чтобы их цитратсинтаза не могла складываться во фракталы – такие модифицированные бактерии росли так же хорошо, как и бактерии без модификаций. Смоделировав эволюцию фрактального белка, исследователи показали, что это свойство могло возникнуть в результате очень небольшого числа мутаций, а потом могло очень легко исчезнуть с новыми мутационными изменениями. Судя по строению разных цитратсинтаз, они становились фракталообразующими у нескольких линий цианобактерий, но сохранилось это свойство только у одного вида. При всей математической сложности такой структуры, с молекулярно-биологической точки зрения она оказалась довольно простой: фрактальные свойства фермента цитратсинтазы появлялись без особой нужды, просто потому, что фермент их мог легко приобрести, ничего не потеряв. Правда, не каждый белок способен на такие эволюционные кульбиты.

Автор: Кирилл Стасевич

Статьи по теме:

#молекулярная биология #белки #структуры биомолекул #бактерии

Стремясь описать предмет, человек большую часть своей истории упрощал мир вокруг себя, представляя вместо реальных объектов абстрактные модели — гладкие линии, правильные геометрические фигуры. Но мир устроен сложнее...

Количество ассоциаций, которые мы видим в тесте Роршаха, зависят от фрактальной размерности его пятен.

Фотосинтезирующие бактерии снабжают сердце кислородом после ишемического приступа.

В австралийских окаменелостях нашли следы бактерий возрастом более 1,7 млрд лет с мембранными установками для фотосинтеза.

Древние микробы создали кислородную атмосферу только после того, как земной день стал длиннее.