

## ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ФБС И ФС2 В ЦИАНОБАКТЕРИЯХ

Зленко Д.В., Ярошевич И.А., Максимов Е.Г.

Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет

В клетках цианобактерий основной светособирающей антенной является фикобилисома (ФБС), крупный ( $\sim$  МДа) водорастворимый комплекс, содержащий фикобилиновые хромофоры. Полудисковидная ФБС модельной цианобактерии *Synechocystis* sp. PCC 6803 состоит из аллофикоцианинового (АФЦ) ядра и шести боковых цилиндров, сложенных фикоцианином. Ядро состоит из трёх цилиндров, по 4 тримера АФЦ в каждом. Два из трёх цилиндров ядра непосредственно контактируют с фотосистемой 2 (ФС2). Помимо обычного АФЦ (АрсА и АрсВ), имеющего максимум спектра флюоресценции  $\sim$  660 нм, ядро содержит также как минимум два минорных компонента, имеющих батохромно смещенный максимум флюоресценции ( $\sim$  680 нм) и называемых терминальными эмиттерами (АрсD и АрсE).

Из-за близости максимумов флюоресценции терминальных эмиттеров и поглощения хлорофилла, их обычно рассматривают как каналы передачи энергии между ФБС и ФС2. Однако, несмотря на значительное расхождение в положении максимумов флюоресценции обычного АФЦ и хлорофилла, интегралы перекрытия для спектров флюоресценции АРС660 и АРС680 и спектра поглощения хлорофилла практически одинаковы и составляют  $J(\lambda)_{660} = 5.92 \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-6} \text{ моль}^{-1}$  и  $J(\lambda)_{680} = 5.74 \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-6} \text{ моль}^{-1}$ . Следовательно, с точки зрения физики процесса различий в скорости переноса энергии между АРС660 и АРС680 и хлорофиллом быть не должно. Более того, наблюдаемая скорость переноса энергии между терминальным фикобилином и ФС2 (характерное время  $\sim$  20 пс [1]) не может быть достигнуто, так как хромофоры ФБС и ФС2 разделены достаточно толстой ( $\sim$  45 Å) белковой прослойкой [2]. Таким образом, согласно уравнениям Фёрстера, даже при оптимальной взаимной ориентации хромофоров, характерное время переноса энергии оказывается примерно на порядок больше. Однако, если учесть множественность возможных путей миграции энергии от каждого из фикобилинов на несколько молекул хлорофилла, то теоретическая оценка скорости совпадает с экспериментальным значением.

Таким образом, аккуратные вычисления показывают, что перенос энергии с ФБС на ФС2 возможен как с хромофоров обычного АФЦ, так и с хромофором терминальных эмиттеров, и перенос этот происходит не на какую-то одну, специальную молекулу хлорофилла, а сразу на несколько, относительно близко ( $\sim$  45–55 нм) расположенных молекул.

### Литература.

1. A.M. Acuna et. al. *Photosynthetica* **56**, 265–274, 2018.
2. D.V. Zlenko et. al. *Photosynthesis Research* **133**, 245–260, 2017.