

ДИНАМИКА ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ ОТ ПИКОСЕКУНД ДО ДЕСЯТКОВ СЕКУНД В МОДЕЛИ ФОТОСИСТЕМЫ 2 И ТИЛАКОИДНОЙ МЕМБРАНЫ

Беляева Н.Е., Ризниченко Г.Ю.

Биологический факультет Московского государственного университета, 119992,
Москва ГСП-2, Ленинские горы, natalmurav@yandex.ru (495)939-0289

Особенности переноса электрона (ПЭ) в фотосинтетической мембране разных видов фототрофных организмов в разных условиях выращивания (световой режим, стресс) изучены с помощью детального кинетического моделирования на основе фитирования расчетов по измерениям переменной флуоресценции (ФЛ) Хл *a* [1-4]. Число идентифицируемых параметров сокращается в специальных условиях эксперимента. После темновой адаптации (10-15 минут) для тилакоидных мембран образцов (листья, водоросли) характерны отсутствие состояний с разделенными зарядами фотосистем 2 и 1 (ФС2 и ФС1), окисленный пул хинонов, низкие электрический потенциал ($\Delta\Psi$) и разность концентраций протонов люмена / стромы (pH_L / pH_S). Учет минимальной темновой энергизации мембраны упрощает фитирование модели ФС2 по измерениям ФЛ [1-4]. Зависимость излучения ФЛ Хл *a* от динамики ПЭ на кофакторах реакционных центров (РЦ) ФС2 показана в расчетах на мульти шкале времени от пикосекунд до десятков секунд [1-4].

Насыщающий 10 нс импульс вызывает однократный оборот 100% РЦ [1,3]: возбуждение (10 пс - 1 нс) антенн $^1(\text{Chl-P680})^*$, разделение (1-2 нс) зарядов $\text{Phe}^-\text{P680}^+$ на донорной стороне, стабилизацию (микросекунды) закрытых (с Q_A^-) РЦ. Многократные обороты РЦ, имитируемые [2,4] для физиологически высокой интенсивности света $3000 \text{ мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ ведут к накоплению Q_A^- позднее 100 мкс, к ПЭ $Q_A^- \rightarrow Q_B^{(-)}$ на сотнях мкс - миллисекунды и в PQH_2 пул, начиная с 10-ти мс. До ~ 100 мс РЦ ФС2 и ФС1 срабатывают отдельно, и блок модели ФС2 фитировали по ОЛР нарастанию сигнала индукции флуоресценции (ИФ) до $t < 2$ с, задавая $\Delta\Psi(t)$, $pH_L(t)$, $pH_S(t)$, как функции времени [2,4]. PQH_2 пул ($t > \sim 100$ мс) инициирует линейный поток электронов (ЛПЭ): $\text{H}_2\text{O} \rightarrow Q_A^- \rightarrow \text{PQH}_2 \rightarrow \text{P700} \rightarrow \text{ферредоксин (Fd)}$. Для имитации координированной работы ФС2 и ФС1 разрабатывали Модель процессов Тилакоидной Мембраны (МТМ), включающей описание переноса зарядов люмена / стромы, в т. ч., пассивных утечек, АТФазы. На временах десятки секунд необходим учет световой энергизации мембраны при имитации ЛПЭ, циклического ПЭ, регуляции диссипации энергии в антенне и условий оттока электронов от Fd активацией NADP редуктазы. Оперативные расчеты в модели ФС2 [2,4] с анализом результатов на мультишкале времени используются при фитировании МТМ по данным ИФ и поглощения P700.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-04-00326-а.

Литература

1. Belyaeva et al. (2008) *Photosynth Res* 98:105–119
2. Belyaeva N, Bulychev A, Riznichenko G, Rubin A. // *Biophysics* 56, 3, 2011, 464–477
3. Belyaeva N, Schmitt FJ, Paschenko V, et al. (2015). *Photosynth Res*, 125: 123-140.
4. Беляева Н.Е., Конюхов И.В., Ризниченко Г.Ю., Погосян С.И., Рубин А.Б. *Доклады V съезда биофизиков России, Ростов на Дону*. (2015) т1, с.247.