

## ДЕТАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В ФОТОСИСТЕМЕ 2 И ТИЛАКОИДНОЙ МЕМБРАНЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НА ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ ДО ДЕСЯТКОВ СЕКУНД

Беляева Н.Е., Булычев А.А., Ризниченко Г.Ю.

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

При включении постоянного света световая индукция фотосинтезирующего образца предшествует достижению стационарного состояния. Для тилакоидных мембран (ТМ) образцов (листья, водоросли) после темновой адаптации (~10 мин) 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 ( $pH_L / pH_S$ ). Модель ФС2 [1,2] включила описание реакций переноса электрона от водо-окисляющего комплекса в пул хинонов ( $PQH_2/PQ$ ) и аналитические зависимости для индуцируемых светом изменений  $\Delta\Psi(t)$ ,  $pH_L(t)$ ,  $pH_S(t)$ , обеспечив [1-3] количественное описание флуоресценции Хл *a*. В итоге, модель ФС2 фитировали [1,3] по световой индукции флуоресценции (ИФ) листа гороха *in vivo* и с ионофорами на стадиях нарастания ОЛР ( $t < 1$  с) до спада PS ( $t < 2$  с).

Детальный анализ световой индукции на расширенной до 30 с шкале времени провели в работе [4], применив «модель тилакоида» (модель ТМ). Метаболиты модели ТМ включили редокс кофакторы реакционных центров (РЦ) ФС2, ФС1 и цитохромного комплекса  $b_6/f$ , пулы подвижных переносчиков (пластоцианин, ферредоксин (Fd), NADP(H)), протоны люмена / стромы  $H_S^+ / H_L^+$ , противоионы  $K^+$ ,  $Cl^-$ . Модель ТМ [3,4] фитирована ( $t < 20$  с) по измерениям на листе быстрых и медленных ОЛРPSMT фаз ИФ и ОАВСD поглощения  $A_{810}$  хлорофилла P700 ФС1, что обеспечило расчет динамики световой энергизации ТМ при физиологических диапазонах  $\Delta\Psi(t)$ ,  $pH_{L/S}(t)$  с учетом потоков зарядов в реакциях АТФ-азы, буферных групп, и пассивных утечек  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ .

Модель ТМ [4] включила результаты идентификации блока ФС2 для  $t < 2$  с [3] с учетом параметров диссипативных потерь в РЦ ФС2. Моделируя протолитические реакции стромы/люмена в сайтах ФС2 и  $b_6/f$ , анализировали динамику пула хинонов как медиатора линейного и циклического потоков электронов (ЛПЭ и ЦПЭ). Процессы ЛПЭ ( $H_2O \rightarrow Q_A \rightarrow PQ/PQH_2 \rightarrow P700 \rightarrow Fd \rightarrow NADP$ ) обеспечивают координацию ФС2 и ФС1. ЦПЭ имитировали как ветвление оттока от Fd с возвратом электронов на донорную сторону ФС1. Для описания активации NADP редуктазы (ЛПЭ  $Fd \rightarrow NADP$ ) образца темновой адаптации задавали экспоненту с насыщением на интервале  $t \approx 20-50$  с, упростив подбор параметров для имитации кинетических сигналов на медленных стадиях световой индукции, когда важно сопоставить влияние процессов энергетического тушения и переходов состояний  $1 \leftrightarrow 2$  в антенных комплексах.

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

- [1] Belyaeva N, Bulychev A, Riznichenko G, Rubin A. // Biophysics 56, 3, 2011, 464-477
- [2] Belyaeva N, Schmitt FJ, Paschenko V, Riznichenko G, Rubin A. Photosynth Res 2015. 125:123-140.
- [3] Н. Беляева и др., в сборнике X Конференция БФФХ – 2015, Севастополь, с. 64-69
- [4] N Belyaeva, A Bulychev, G Riznichenko, A Rubin. Photosynth Res 2016, 130:491-515