

ОСОБЕННОСТИ СТАДИЙ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ В КОМПОНЕНТАХ МЕМБРАНЫ ТИЛАКОИДА НА ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ ОТ ПИКОСЕКУНД ДО СОТЕН СЕКУНД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНДУКЦИИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ И P700 РЕДОКС ИЗМЕНЕНИЙ С УЧЕТОМ ПЕРЕХОДА СОСТОЯНИЙ ДЛЯ МИКРОВОДОРОСЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ

Беляева Н.Е., Булычев А.А., Ермаченко В.А.¹, Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Биологический ф-т, каф. Биофизики, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, natalmurav@yandex.ru

¹ТОО «Нео-Экологджи», 050060, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Ходжанова, 2/2

Отличия OJPSMT паттернов сигналов индукции флуоресценции (ИФ) для лабораторных культур микроводорослей и цианобактерий особенно выражены на шкале времени от микросекунд до минут [1]. Для образцов фитопланктона неизвестны примеры измерений OJPSMT кинетики ИФ [2]. Однако сигналы длительной световой индукции связаны с более широким кругом процессов в мембранах тилакоидов, чем изучаемые от пикосекунд до 10-20 секунд [2, 3]. При освещении образца после темновой адаптации в состоянии компонент тилакоидной мембраны (ТМ) происходит ряд изменений, ведущих к балансу потоков переноса зарядов в ТМ при данном потоке света. Решения модели тилакоидной мембраны (модель Т-М) дают динамику состояний в переходах темнота - свет, если параметры модели Т-М найдены путем фитирования хода ИФ по данным эксперимента, например, для интервала освещения от микросекунд до 100 секунд [3]. Задание реакций фотосистем 2, 1 (ФС2, ФС1) позволяет изучить переходы «открытые – закрытые реакционные центры» ($Q_A^-Q_B^- \rightarrow Q_A^-Q_B^{-(2)}$), параллельные быстрому окислению ФС1 на временах микро- и миллисекунды для сравнения с результатами анализа одновременно ОЖР фазы нарастания ИФ и редокс переходов P700 [4]. В интервале от микросекунд до 5 мин нами фитированы OJPSMT паттерны ИФ водоросли *Scenedesmus obliquus* и цианобактерии *Synechocystis* sp. PCC 6803 при расчете редокс переходов P700 у *Scenedesmus* и фитировании A_{810} сигнала *Synechocystis*. Решения модели Т-М дали динамику компонент ТМ на стадиях энергизации мембраны тилакоида (рН люмена, рН стромы, электрический потенциал), ведущих к максимуму генерации АТФ при $t \sim 100$ мс. Для $100 \text{ мс} < t < 1 \text{ с}$ ЭТЦ максимально заполнена электронами, включая гемы Цит b_6/f комплекса. Генерация NADPH редокс эквивалента максимальна при $t \sim 1 \text{ с}$, а стационар продукции АТФ и NADPH получен при $t > 50 \text{ с}$. В целом, адаптация системы ТМ к свету приводит к регуляторным изменениям в динамике процессов за счет смены режимов циклического и линейного потоков, усиления диссипации возбужденных состояний, обратимого переноса мобильных антенн между ФС1 и ФС2 (переход состояний $2 \rightarrow 1$). Измерения OJPSMT кинетики могут дать паттерны, характеризующие состояние фитопланктона.

Литература.

1. Parageorgiou et al. 2007. The fast and slow kinetics of chlorophyll *a* fluorescence induction in plants, algae and cyanobacteria: a viewpoint. *Photosynth Res* 94:275–290
2. Хрущев и др. (2021) Выявление токсического воздействия тяжёлых металлов на фитопланктон... Теоретическая и прикладная экология. 2021. 2, 134-141
3. Belyaeva et al. 2022. Dynamics of in vivo membrane processes ... *Biophysics* 67(5):712-729
4. Schansker et al. (2003) Characterization of the 820-nm transmission signal paralleling the chlorophyll *a* fluorescence rise (OJIP) in pea leaves. *Funct Pl Biol*, 2003, 30, 785-79