

# КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПУЛА ХИНОНОВ И РЕГУЛЯЦИЯ ЛИНЕЙНОГО / ЦИКЛИЧЕСКОГО ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ. АНАЛИЗ ДАНЫХ ПО ИНДУКЦИИ ФОТОСИНТЕЗА В МОДЕЛИ ТИЛАКОИДА

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

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

В процесс восстановления пула хинонов (PQ) тилакоидной мембраны включены линейный и циклический потоки электронов. В модели тилакоидной мембраны [1] имитировали линейный перенос электронов (ЛПЭ) от донорной стороны фотосистемы 2 (ФС2) в пул PQ/PQH<sub>2</sub> при участии редокс реакций стромального сайта ФС2 и люменального сайта цитохромного комплекса *b<sub>6</sub>f* в сопряжении с переносом протонов: захват H<sub>S</sub><sup>+</sup> из стромы и освобождение H<sub>L</sub><sup>+</sup> в люмен. На последующих стадиях ЛПЭ заполняет пулы ФС1 на донорной (пластоцианин) и акцепторной (ферредоксин, Fd) сторонах ФС1 с конечным оттоком на NADPH. Циклический перенос электронов (ЦПЭ) моделировали как ветвление оттока от Fd пула с возвратом электронов в пул донорной стороны ФС1. Регуляторное влияние энергизации тилакоидной мембраны на перенос зарядов учитывали, имитируя потоки протонов в реакциях АТФ-азы, буферных групп, утечки протонов, ионов калия и хлора и проводя прямой расчет электрической ΔΨ и ΔpH компонент градиента электрохимического потенциала.

В отличие от исходной модели [1] разрабатываемая нами модель тилакоида включила новый блок ФС2, отдельно фитированный [2] по кривой индукции флуоресценции (ИФ) на интервале времени до 2-х секунд, включающий описание диссипативных потерь энергии как в антенне, так и при рекомбинации зарядов,

Полную модель тилакоида фитировали на интервале времени до 20-ти секунд по ИФ, измеренной на листе гороха одновременно с P700<sup>+</sup> редокс сигналом ΔA<sub>810</sub>. Имитация световой индукции образца после темновой адаптации позволила выделить следующие стадии процессов 1) пока PQ пул окислен, ФС1, ФС2 срабатывают раздельно, и ЛПЭ < ЦПЭ; 2) по мере притока восстановления пула PQ/PQH<sub>2</sub> происходит восстановление ФС1, при этом ЛПЭ ~ ЦПЭ; 3) после полного восстановления пула PQ/PQH<sub>2</sub>, ЛПЭ превышает ЦПЭ. Понимание природы корреляции процессов отдельных стадий индукции фотосинтеза [3] важно для дальнейших исследований координированной работы двух фотосистем в образце листа или водоросли и выявления специфики потоков зарядов в компартментах тилакоида.

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

## Литература.

1. Lebedeva G.V., Belyaeva N.E., Demin O.V., Riznichenko G.Yu., Rubin A.B. Kinetic model of primary photosynthetic processes in chloroplasts // *Biophysics* **47**, 2002, 968-980
2. Belyaeva N.E., Bulychev A.A., Riznichenko G.Yu., Rubin A.B. Model of Photosystem II for the Analysis of Fast Fluorescence Rise in Plant Leaves // *Biophysics* **56**, 3, 2011, 464-477
3. Bulychev A.A. Induction Changes in Photosystems I and II in Plant Leaves upon Modulation of Membrane Ion Transport // *Biochemistry (Moscow) Membr and Cell Biol*, Vol.5, No.4, 2011, 335-342