

## Литература

1. Chatteraj M.; King B. A.; Bublitz G. U.; Boxer S. G. Ultrafast excited-state dynamics in green fluorescent protein: multiple states and proton transfer // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.- 1996.- Vol. 93.- P. 8362–8367.
2. Crespo-Hernández C. E., Cohen B., Hare P. M., Kohler B. Ultrafast excited-state dynamics in nucleic acids // Chem. Rev.-2004.-Vol.104.- P. 1977–2020.
3. Demchenko A. P. Visualization and sensing of intermolecular interactions with two-color fluorescent probes//FEBS Lett.-2006.-Vol. 580.-P. 2951–2957.
4. Chou P.T., Kasha M. The proton-transfer laser. Gain spectrum and amplification of spontaneous emission of 3- hydroxyflavone //J. Phys. Chem.-1984.- Vol. 88.-P. 4596-4599.
5. Chou H.-C., Hsu C.-H., Cheng Y.-M., Cheng C.-C., Liu H.-W., Pu S.-C., Chou P.-T. Multiple hydrogen bonds tuning guest/host excited-state proton transfer reaction: its application in molecular recognition // J. Am. Chem. Soc. – 2004.- Vol. 126.- P. 1650–1651.
6. Jatkar S.K.K., Mattoo B.H. Absorption and fluorescence spectra of flavonoids // J. Ind. Chem. Soc. -1956.- Vol. 33. - P. 641-646.
7. McMorrow D., Kasha M. Intramolecular excited-state proton transfer in 3-hydroxyflavone. Hydrogen-bonding solvent perturbations // J. Phys. Chem.-1984.-Vol.88.-P. 2235-2243.
8. Kwon O.-H., Zewail A. H. Double proton transfer dynamics of model DNA base pairs in the condensed phase // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. – 2007.- Vol. 104. – P. 8703–8708.
9. Catalán J. On the concerted mechanism of biprotonic transfer in  $C_{2h}$  7-azaindole dimer // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. – 2008.-Vol. 105.- P. E78.

## ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ $CO_2$ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОН-ТРАНСПОРТНОЙ ЦЕПИ

**Гончарик Р.Г., Доманский В.П., Козел Н.В.**

*Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь*

Известно, что в отличие от многих видов одноклеточных водорослей повышение концентрации  $CO_2$  в среде обитания высших растений не приводит к существенному повышению уровня фиксации углерода в хо-

де фотосинтеза. Нами предпринята попытка понять один из возможных механизмов этого ограничения.

В ходе данной работы проводили исследование воздействия повышенных концентраций углекислого газа на показатели кривых индукции флуоресценции хлорофилла. В качестве объектов исследования использовали зеленые листья 7-дневных проростков ячменя *Hordeum vulgare* L., выращенных в режиме 14 часов света (освещенность 4000 люкс) и 10 часов темноты при температуре  $+23\pm 1^\circ\text{C}$  и при относительной влажности воздуха  $64\pm 5\%$ . Растения освещали лампами Philips TL-D36W/765. Для регистрации кривых индукции флуоресценции хлорофилла использовали экспериментальную установку, собранную в ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси». Для интерпретации результатов также проводили регистрацию кривых индукции флуоресценции хлорофилла листьев ячменя, подвергнутых воздействию ингибитора фотосистемы 2 3-(3,4-дихлорфенил)-1,1-диметилмочевины (ДХММ).

В листьях ячменя, инкубированных в растворе ДХММ концентрации 0.1 ммоль/л в течение 3 часов при регистрации индукционных кривых существенно повышается интенсивность флуоресценции на слабом измерительном свете (параметр  $F_0$ ), а после включения актиничного света тушение флуоресценции отсутствует (Рис.1, б). При регистрации кривой индукции флуоресценции хлорофилла листьев ячменя в атмосфере с повышенной концентрацией углекислого газа параметр  $F_0$  изменяется незначительно, в то время как тушение флуоресценции после включения актиничного света существенно замедляется, но не отсутствует полностью, как в случае с ДХММ (Рис.1, а). Таким образом, можно заключить, что в отличие от ДХММ, действие которой состоит в ингибировании переноса электрона от  $Q_a$  на  $Q_b$  и потому проявляется уже на слабом измерительном свете, действие повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  проявляется лишь при интенсивном (актиничном) свете, т. е. когда тилакоидная мембрана является высокоэнергизованной.

Также проводили математическое моделирование световых и темновых реакций фотосинтеза. В программе, реализующей модель электрон-транспортной цепи (ЭТЦ), за основу которой взята модель [1], предусмотрели возможность симуляции реакций ЭТЦ как с миграцией светособирающих комплексов (ССК), так и без нее. На рисунке 2, а представлены смоделированные временные зависимости отношения количества восстановленного пластохинона к общему количеству пластохинона в условиях освещения.

Как видно, действие блокировки миграции ССК на количество восстановленного пластохинона сходно с действием резкого повышения

концентрации углекислого газа на интенсивность флуоресценции при регистрации индукционной кривой (рисунок 2б).

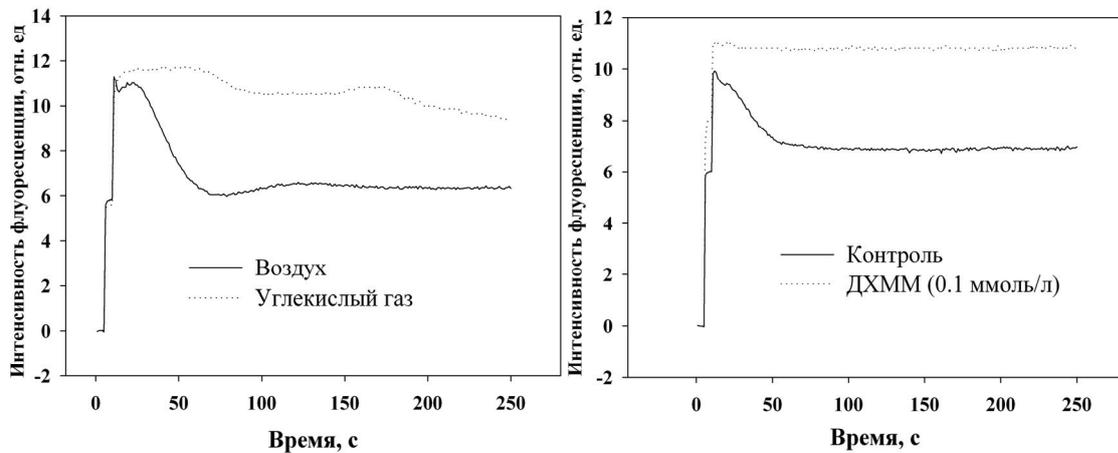


Рисунок 1 – Кривые индукции флуоресценции хлорофилла листьев ячменя, подверженных действию: а – углекислого газа, б – ДХММ

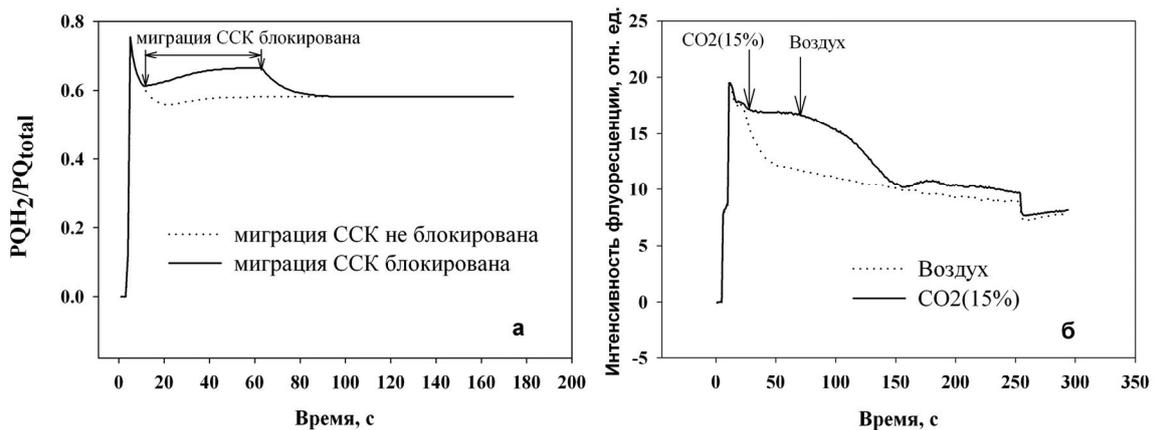


Рисунок 2 – Смоделированные временные зависимости относительного количества восстановленного пластохинона с миграцией ССК и без нее (стрелками указан промежуток времени, когда миграция ССК была блокирована) (а); кривые индукции флуоресценции хлорофилла листьев ячменя в различных атмосферных условиях (б)

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить, что одним из эффектов резкого повышения концентрации  $\text{CO}_2$  может быть препятствие миграции ССК от фотосистемы 2 к фотосистеме 1, зависящей от степени восстановленности пула пластохинонов, что в обычных условиях является одним из механизмов тушения флуоресценции.

## Литература

1. Laisk A., Walker D.A. Control of phosphate turnover as a rate limiting factor and possible causes of oscillations in photosynthesis. A mathematical model // Proc. R. Soc. Lond. B. – 1986. – Vol. 227. – P. – 281-302.

## ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС И УРОВЕНЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНАХ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО ПРИ ДЕЙСТВИИ КАДМИЯ

Гончарова Н.В.

*Учреждение образования «Международный государственный  
экологический университет им. А. Д Сахарова»,  
Минск, Беларусь, goncharova@iseu.by*

Цель работы - изучение временной динамики Cd-индуцированного развития окислительного стресса и сопутствующего функционирования ферментативной составляющей ликвидации пероксида водорода (аскорбатпероксидазы (АПО) и гваяколпероксидазы) у клевера лугового.

Объектами исследования являлись побеги и корни клевера лугового. Семена предварительно стерилизовали в 2,5 %-м растворе  $\text{KMnO}_4$ , после чего проращивали на фильтровальной бумаге в присутствии 1/10 среды Кнопа с микроэлементами по Хогланду. Двухнедельные проростки пересаживали на питательный раствор, содержащий  $0,04 \text{ мМ Cd}(\text{NO}_3)_2$ . Побеги и корни после 12, 24, 48, 72 и 96 часов экспозиции на Cd-содержащем растворе исследовали сразу же после извлечения из раствора.

В побегах количество  $\text{H}_2\text{O}_2$  достигало максимального значения (39 мкмоль/г сырой массы) уже к концу 1-х суток экспозиции на Cd-содержащей среде, после чего оно несколько снижалось к 48 часам (до 32 мкмоль/г сырой массы) и оставалось примерно на одном уровне до конца эксперимента. В то же время количество  $\text{H}_2\text{O}_2$  в корнях после повышения его уровня к 12 часам оставалось почти неизменным до 24 часов, после чего вновь повышалось к 48 часам. Далее количество  $\text{H}_2\text{O}_2$  в корнях снижалось, достигая минимального значения к 96 часам (15 мкмоль/г сырой массы). Показано, что в побегах количество малонового диальдегида (МДА), являющегося основным продуктом перекисного окисления фосфолипидов мембран, за первые сутки экспозиции на среде, содержащей  $\text{Cd}^{2+}$ , возрастало в 1,5 раза, после чего оставалось неизменным на уровне 0,24 мкмоль/г сырой массы до конца эксперимента. В