

Фитохимичен анализ и оценка на антиоксидантната активност и цитотоксичния потенциал на хидроетанолен екстракт от българският екотип на *Sideritis scardica*

*Anelia Dobrikova*¹, *Zlatina Gospodinova*^{1,2}, *Martin Stefanov*¹, *Emilia Apostolova*¹, *Natalia Krasteva*¹

1. *Institute of Biophysics and Biomedical Engineering Bulgarian Academy of Sciences “Acad. Georgi Bonchev” Str., bl. 21, Sofia 1113, Bulgaria*
2. *Institute of Plant Physiology and Genetics Bulgarian Academy of Sciences “Acad. Georgi Bonchev” Str., bl. 21, Sofia 1113, Bulgaria*

E-mail: nataly@bio21.bas.bg

Абстракт: *Sideritis scardica* (*S. scardica*) е планинско ендемично растение за централната част на Балканския полуостров, в т.ч. и за южните райони на България. То се използва широко в традиционната медицина за лечение на някои респираторни, стомашно-чревни и невродегенеративни заболявания, но данните от изследванията за неговите цитотоксични и противоракови свойства са ограничени. В настоящото изследване е приготвен хидроетанолов екстракт от *S. scardica* от района на Триград, България и е определено общото му полифенолно и флавоноидно съдържание. Освен това беше оценена *in vitro* неговата антиоксидантна, цитотоксична и противоракова активност спрямо клетъчна линия на миши аденокарцином, Colon 26. По-висока антиоксидантна активност и по-високо общо съдържание на феноли и флавоноиди са открити в хидроетаноловия екстракт от *S. scardica* от района на Триград в сравнение с публикуваните данни за други екотипове от същия вид. Също така беше установено, че екстрактът от *S. scardica* с концентрация, по-висока от 200 $\mu\text{g ml}^{-1}$, инхибира жизнеспособността и растежа на раковите клетки на дебелото черво, но не и тези на нормалните бъбречни MDCK клетки, което показва клетъчно-специфичен и зависим от концентрацията цитотоксичност ефект. По този начин в настоящото изследване се демонстрира висок окислителен потенциал на хидроетаноловия екстракт от *S. scardica* от района на Триград и неговият цитотоксичен ефект върху раковите клетки на дебелото черво, когато екстрактът се прилага с концентрации от 200 $\mu\text{g ml}^{-1}$ и при по-високи такива.

Ключови думи: общо фенолно и флавоноидно съдържание, противоракова активност, MDCK клетки, ракови клетки на Colon 26.

Роля на алтернативните електронни пътища за ефективността на фотосинтетичната производителност на *Arabidopsis thaliana*, Wt и *Lut2*, при ниска температура и висок интензитет на светлината

Antoaneta V. Popova¹, Martin Stefanov¹, Alexander G. Ivanov^{1,2} and Maya Velitchkova¹

1. Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 21, 1113 Sofia, Bulgaria
2. Department of Biology, University of Western Ontario, 1151 Richmond Str. N., London, ON N6A 5B7, Canada

* Correspondence: popova@bio21.bas.bg

Абстракт: Настоящото изследване предполага, че повишеният капацитет на ФСІ-зависимия цикличен електронен поток и ФСІ-зависимото енергийно гасене, което е свързано със структурни промени в хлоропластите, може да обясни по-ниската чувствителност на *lut2* мутанта към комбинираният ефект от ниска температура и висока светлинна интензивност. Възможното участие на алтернативните пътища за транспортиране на електрони, Proton gradient regulator 5 (PGR5)-зависим цикличен електронен транспорт и медиран от пластид терминалната оксидаза (PTOX) - зависим пренос на електрони към кислорода в отговор на растения *Arabidopsis* — див тип (wt) и *lut2* — към третиране с тези два стресора беше оценено чрез използване на специфични инхибитори на електронния транспорт. Кинетиката на ре-редукция на P₇₀₀⁺ показва, че капацитетът за цикличен електронен транспорт е по-висок в *lut2* в сравнение с wt. Излагането на wt растенията към стресови условия причинява ускоряване на цикличния електронен транспорт, което е придружено от значително повишаване на количествата PGR5 и PTOX. От друга страна, както нивата на PGR5, така и на PTOX намаляват при същите условия на стрес в *lut2*, а инхибирането на PGR5-зависимия път от антимицин А (AntA) не показва никакви значителни ефекти върху цикличния електронен пренос по време на комбинираното стресово въздействие и периода на възстановяване. Наблюденията с електронен микроскоп показват, че при контролни условия степента на натрупване на грани (стикване) е много по-ниска в *lut2* и почти изчезва при комбинацията от двата стреса в сравнение с wt. В настоящото проучване се обсъжда ролята на различните алтернативни пътища за транспорт на електрони в аклиматизацията към изследваните стресови условия.

Ключови думи: алтернативни електронни потоци, комбиниран абиотичен стрес, каротеноиден мутант, цикличен електронен транспорт, PGR5, фотозащита, PTOX

Доклади на Българската академия на науките, *Comptes rendus de l'Acad'emie bulgare des Sciences, Tome 69, No 10, 2016*

**ОЦЕНКА НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА СОЛЕНОСТТА ВЪРХУ
ФОТОСИНТЕТИЧНИЯ АПАРАТ НА *PAULOWNIA ELONGATA* x *KAWAKAMI***

Martin Stefanov, Ekaterina Yotsova, Katya Ivanova, Yuliana Markovska*, Emilia Apostolova*

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering Bulgarian Academy of Sciences Acad. G. Bonchev St, Bl. 21
1113 Sofia, Bulgaria

*Faculty of Biology Sofia University "St. Kliment Ohridski" 8, Dragan Tsankov Blvd 1164 Sofia, Bulgaria

e-mail: emya@bio21.bas.bg

Абстракт: Влиянието на солеността върху функционалната активност на фотосинтетичния апарат и пигментния състав на *Paulownia elongata* x *kawakami*, отглеждани в почви с различна соленост, беше изследвано с помощта на ПАМ хлорофилна флуоресценция и P_{700} фотоокислението индуцирано от дълговълнова червена светлина. Увеличаването на солеността на почвата стимулира активността на фотосистема 2 (ФС2), докато активността на фотосистема 1 (ФС1) не се повлиява. Данните също разкриват повишаване на хлорофилните и каротеноидните пигменти в растението, отглеждано в засолена почва. В статията се обсъжда високата устойчивост към засоляване на *Paulownia elongata* x *kawakami*.

Ключови думи: *Paulownia*, засоленост, хлорофилна флуоресценция, P_{700} , пигментен състав

Handbook of Plant and Crop Stress, Fourth Edition, 4th edition, 2019, 18, CRC press

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781351104609-13/responses-photosynthetic-apparatus-salt-stress-stefanov-biswal-misra-misra-apostolova>

Реакция на фотосинтетичния апарат към солеви стрес: структура, функция и защита

M. Stefanov¹, A.K. Biswal^{2,3,4}, M. Misra⁵, A. N. Misra^{5,6}, E.L. Apostolova¹

1. Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad.G. Bonchev Str. 21, Sofia 1113, Bulgaria
2. Center for Bioenergy Innovation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, USA
3. Complex Carbohydrate Research Center, University of Georgia, Athens, GA
4. Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of Georgia, Athens, GA
e-mail: biswalajaya@ccrc.uga.edu
5. Khallikote University, Berhampur-760001, Odisha State, India.
6. Center for Life Sciences, Central University of Jharkhand, Ratu-Lohardaga Road, Brambe-835205, Ranchi, Jharkhand State, India.

e-mail: misra.amarendra@gmail.com, misran@yahoo.co.uk

Абстракт: Солевиот стрес е един от абиотичните стрес-фактори, които ограничават растежа и добива на растенията по целия свят и имат силно влияние върху фотосинтезата. Известно е, че високите концентрации на сол променят белтъчния състав, количеството на пигментите, общото съдържание на липиди и мастни киселини на фотосинтетичния апарат, което е придружено от промени в структурата и функцията на хлоропласта. Електронномикроскопските изследвания показват, че увеличаването на количеството сол води до разрушаване на обвивката на хлоропластите, увреждане на стромалните тилаколди и дезинтеграция на граналните тилакоидни системи. Всички тези промени намаляват ефективността на фотосинтезата, като ефектите зависят от растителния вид, както и от силата и продължителността на стреса. Изследванията на растения с различна чувствителност към солеви стрес, както и техните защитни механизми, са важна стъпка към по-доброто разбиране как растенията могат да се аклиматизират към неблагоприятни условия като засоленост и други стрес-фактори. В тази глава разглеждаме ефектите от солеви стрес върху структурата и функцията на фотосинтетичния апарат, както и защитните механизми в растенията, като се фокусираме най-вече върху антиоксидантната защитна система и осмолитите.

Ефекти от солевия стрес върху фотосинтезата на царевица и сорго

*Martin A. Stefanov, Georgi D. Rashkov, Ekaterina K. Yotsova, Preslava B. Borisova, Anelia G. Dobrikova, Emilia L. Apostolova**

Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, 1113 Sofia, BULGARIA

*Corresponding author: emya@bio21.bas.bg

Абстракт: В това проучване са сравнени ефектите от солния стрес върху фотосинтетичните процеси в соргото (*Sorghum bicolor* L. Albanus conser) и царевицата (*Zea mays* L. Mayflower). Растенията са отглеждани в ½ разтвори на Hoagland, съдържащи различни концентрации на NaCl (0, 50, 150 и 250 mM NaCl) в продължение на 6 дни. Бяха използвани модулирана амплитудно импулсна флуоресценция на хлорофил, фотоокисление на P₇₀₀ и пигментен анализ за характеризиране на ефектите на солеността върху изследваните растения. Третирането на растения с високи концентрации на NaCl доведе до инхибиране на параметрите на флуоресценцията на хлорофила като фотохимичното гасене, скоростта на фотосинтезата и линейния електронен транспорт в соргото и царевицата. Всички тези промени съответстват на намаляването на пигментното съдържание и изменението в съотношението хлорофил a/b. Анализът на фотоокислението на P₇₀₀ разкрива, че фотохимията на фотосистемата I е инхибирана при най-високата концентрация на NaCl и в двете изследвани растения. Данните също така разкриха, че соргото е по-чувствително към солевия стрес в сравнение със царевицата. Описани са причините за различното влияние на засоляването върху царевицата и соргото.

Ключови думи: хлорофилна флуоресценция, пигментно съдържание, солеви стрес, сорго, царевица.

Различни нива на чувствителност на фотосинтетичния апарат в *Zea mays* L. и *Sorghum bicolor* L. в условия на солеви стрес

Martin A. Stefanov, Georgi D. Rashkov, Ekaterina K. Yotsova, Preslava B. Borisova, Anelia G. Dobrikova and Emilia L. Apostolova *

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. Georgi Bonchev Street, Block 21, 1113 Sofia, Bulgaria; martin_12.1989@abv.bg (M.A.S.); megajorko@abv.bg (G.D.R.); ekaterina_yotsova@abv.bg (E.K.Y.); preslavab12345@gmail.com (P.B.B.); aneli@bio21.bas.bg (A.G.D.)

* Correspondence: emya@bio21.bas.bg or emilia.apostolova@gmail.com

Абстракт: Изследвани са въздействията на различни концентрации на NaCl (0–250 mM) върху фотосинтезата на нови хибридни линии царевица (*Zea mays* L. Kerala) и сорго (*Sorghum bicolor* L. Shamal). Солево-индуцираните промени във функциите на фотосинтетичния апарат бяха оценени с помощта на хлорофил *a* флуоресценцията (ПАМ и ОЈР тест) и P_{700} фотоокислението. По-големи разлики между изследваните растителни видове в отговор на засоляването се наблюдават при влиянието на 150 mM и 200 mM NaCl. Данните разкриват по-силно влияние на солевия стрес върху количеството на затворените ФС2 центрове (1-qp) и тяхната ефективност (Фехс), както и върху ефективния квантов добив на фотохимичното енергийно преобразуване на ФС2 ($\Phi_{\text{ФС2}}$) при царевицата в сравнение със соргото. Бяха регистрирани и промени в ефективния размер на антената на ФС2 (ABS/RC), електронния поток преминаващ през активен реакционен център (REo/RC) и електронния транспорт след Q_A акцептора (ETo/RC). Тези промени в първичната фотохимия на ФС2 повлияват скоростта на линейния електронен транспорт (ETR) и скоростта на фотосинтеза (параметър Rfd), като въздействията са по-силни при царевицата, отколкото при соргото. Освен това, понижаването на скоростта на транспортиране на електрони от Q_A до крайните акцептори на ФС1 (REo/RC) и вероятността за тяхното редуциране (ϕ_{Ro}) променя фотохимичната активност на ФС1, което повлиява кинетиката на тъмнинна редукция на P_{700} . Съдържанието на пигменти и маркерите на оксидативен стрес също бяха определени. Данните разкриват по-добра устойчивост към засоляване при соргото, отколкото при царевицата, което е свързано със структурни промени във фотосинтетичните мембрани и стимулирането на цикличния електронен поток около ФС1 при по-високи концентрации на NaCl. Дискутирани са връзките между намаленото съдържание на пигменти, повишените нива на оксидативни-стрес маркери и различното инхибиране на функциите на двете фотосистеми при наличието на солеви стрес.

Ключови думи: обработка с NaCl, ОЈР тест, ПАМ хлорофилна флуоресценция, фотосинтеза, пигментен състав, стрес маркери

Роля на флавоноидите и пролина в защитата на фотосинтетичния апарат в *Paulownia* при условия на солеви стрес

Martin Stefanov^a, Ekaterina Yotsova^a, Emilia Gesheva^b, Velmira Dimitrova^{c,d}, Yuliana Markovska^c, Snezhanka Doncheva^b, Emilia L. Apostolova^{a*}

a Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str. 21, 1113 Sofia, Bulgaria

b Institute of Plant Physiology and Genetics, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

c Faculty of Biology, Sofia University “St. Kliment Ohridski”, Sofia, Bulgaria

d Biotree LTD, 7 Bansko shose Str, Sofia, Bulgaria

Абстракт: Бяха анализирани ефектите от различни концентрации на NaCl (0,150 mM) за различни периоди от време (10 дни и 25 дни) върху *Paulownia tomentosa x fortunei* и *Paulownia elongata x elongata*. Намалването на пигментния съдържание, инхибирането на фотохимията на двете фотосистеми, както и увеличаването на антиоксидантната активност (FRAP анализ), антирадикалната активност (DPPH тест), общите флавоноиди и нивата на пролин се повлияват само при кратковременно третиране със сол (10 дни) при висока концентрация на NaCl (150 mM). Тези промени съответстват на известно намаление в максималният квантов добив на фотосистема 2 (F_v/F_m), ефективният квантов добив на фотохимично преобразуване на енергия (Φ_{FC2}) и фотохимичното гасене (qP), които са в резултат на ограничаване на потока на електрони от Q_A към Q_B , а също така се повлияват окислително-редукционните свойства на P_{700} . Ролята на каротеноидите и нивата на флавоноиди и пролин през първите дни на солевия стрес за защитата на функциите на фотосинтетичния апарат и адаптирането на растенията към високо съдържание на NaCl са дискутирани в статията.

Ключови думи: антиоксидантна активност, флавоноиди, *Paulownia*, фотосинтетичен апарат, пролин, солеви стрес

Оценка на функциите на фотосинтетичния апарат чрез хлорофилната флуоресценция и абсорбцията на P_{700} в C3 и C4 растения при физиологични условия и при солеви стрес

*Martin A. Stefanov, Georgi D. Rashkov and Emilia L. Apostolova **

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 21, 1113 Sofia, Bulgaria;

martin_12.1989@abv.bg (M.A.S.); megajorko@abv.bg (G.D.R.) * Correspondence: emya@bio21.bas.bg or emilia.apostolova@gmail.com

Абстракт: Функциите на фотосинтетичния апарат на C3 (*Pisum sativum* L.) и C4 (*Zea mays* L.) растения при физиологични условия и след третиране с различни концентрации на NaCl (0–200 mM) са изследвани с помощта на хлорофил *a* флуоресценция (импулсно-амплитудно модулирана (ПАМ) и JIP тест) и промените настъпващи във фотоокислението на P_{700} . Данните разкриват по-ниска плътност на фотосинтетичните структури (RC/CSo), по-голям относителен размер на пластохиноновия (PQ) пул (N) и по-висок транспортен капацитет на електрони и фотосинтетична скорост (параметър R_{Fd}) в C4, отколкото в C3 растенията. Освен това, между двата изследвани вида се наблюдават разлики в параметрите, характеризиращи възможността за редуциране на крайните акцептори на фотосистема I (ФСI) (REo/RC, REo/CSo и δRo). Данните разкриват, че третирането с NaCl причинява намаляване на плътността на фотосинтетичните структури и относителния размер на PQ пул, както и ограничаване на транспорта на електрони до крайните електронни акцептори на ФСI, а също така и вероятността от тяхната редукция, както и увеличаване на топлинното разсейване. Ефектите от солевия стрес са по-силни при граха, отколкото при царевицата. Повишените енергийни загуби след третиране с високи концентрации на сол при царевица са главно от увеличаването на регулираните енергийни загуби (Φ_{NPQ}), докато при грахта от увеличаването на нерегулираните енергийни загуби (Φ_{NO}). Ограничаването на електронния транспорт от Q_A до крайните акцептори на ФСI повлиява активността на тази фотосистема. Анализът на фотоокисляването на P_{700} и неговата кинетика на тъмнинна редукция разкрива влияние на двете субпопулации на ФСI в грах след третиране със 150 mM и 200 mM NaCl, докато при царевицата незначителните промени са регистрирани само при 200 mM NaCl. Експерименталните резултати ясно показват по-малка устойчивост към засоляване при грахта, отколкото при царевицата.

Ключови думи: обработка с NaCl, JIP тест, ПАМ хлорофилна флуоресценция, грах, фотоокисление на P_{700} , царевица

Влияние на солеността върху енергийния трансфер между пигмент-белтъчните комплекси във фотосинтетичния апарат, функциите на кислород-отделящия комплекс и фотохимичните активности на фотосистема 2 и фотосистема 1 в две линии *Paulownia*

Martin A. Stefanov, Georgi D. Rashkov, Ekaterina K. Yotsova, Anelia G. Dobrikova and Emilia L. Apostolova *

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 21, 1113 Sofia, Bulgaria

* Correspondence: emya@bio21.bas.bg or emilia.apostolova@gmail.com

Абстракт: Настоящото изследване показва ефекта на солеността върху функциите на тилакоидните мембрани от две хибридни линии *Paulownia*: *Paulownia tomentosa* *x* *fortunei* и *Paulownia elongata* *x* *elongata*, отглеждани в разтвор на Ноагланд с две концентрации на NaCl (100 и 150 mM) при различни времена на третиране (10 и 25 дни). Регистрира се инхибиране на фотохимичните активности на фотосистема 1 ($\text{DCPIH}_2 \rightarrow \text{MV}$) и фотосистема 2 ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{BQ}$) само след кратко третиране (10 дни) с по-високата концентрация на NaCl. Данните също разкриват промени в преноса на енергия между пигмент-белтъчните комплекси (емисионните отношения на флуоресценция F_{735}/F_{685} и F_{695}/F_{685}), кинетичните параметри на реакциите отделящи кислород (първоначалното разпределение на състоянието S_0 - S_1 , пропуски (α), двойни удари (β) и блокирани центрове (S_B)). Освен това, експерименталните резултати показват, че след продължително третиране със сол *Paulownia tomentosa* *x* *fortunei* се адаптира към по-високата концентрация на NaCl (150 mM), докато тази концентрация се оказва летална за *Paulownia elongata* *x* *elongata*. Това изследване показва връзката между индуцираното от солта инхибиране на фотохимията на двете фотосистеми и предизвиканите от NaCl промени в трансфера на енергия между пигмент-белтъчните комплекси и модификации настъпващи в Mn клъстер на кислород-отделящия комплекс.

Ключови думи: електронен транспорт, нискотемпературна хлорофилна флуоресценция, тилакоидни мембрани, третиране с NaCl

Чувствителност на фотосинтетичния апарат на царевица и сорго при различни нива на засушаване

*Martin A. Stefanov, Georgi D. Rashkov, Preslava B. Borisova and Emilia L. Apostolova **

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. Georgi Bonchev Street, Block 21, 1113 Sofia, Bulgaria; martin_12.1989@abv.bg (M.A.S.); megajorko@abv.bg (G.D.R.); ekaterina_yotsova@abv.bg (E.K.Y.); preslavab12345@gmail.com (P.B.B.); aneli@bio21.bas.bg (A.G.D.)

* *Correspondence: emya@bio21.bas.bg or emilia.apostolova@gmail.com*

Абстракт: Засушаването е един от основните стресови фактори на околната среда, влияещ върху растежа и добива на растенията. Изследвано е влиянието на различните концентрации на полиетиленгликол 6000 (PEG 6000) върху фотосинтетичните характеристики на царевица (*Zea mays* L. Mayflower) и сорго (*Sorghum bicolor* L. Foehn). Активността на фотосинтетичния апарат беше оценена с помощта на хлорофилна флуоресценция (ПАМ и JР тест) и фотоокислението на P_{700} . Данните показаха, че водният дефицит намалява фотохимичното гасене (qP), отношението на фотохимичните към нефотохимичните процеси (F_v/F_o), ефективния квантов добив на фотохимичното преобразуване на енергията във ФС2 (Φ_{FCS2}), скоростта на линейния електронен транспорт (ETR) и индексите на производителност PI_{total} и PI_{ABS} , като въздействието е по-силно при соргото, отколкото при царевицата и зависи от нивото на засушаване. Фотохимията на ФС1 (P_{700} фотоокислението) при соргото се инхибира след прилагане на всички изследвани нива на засушаване, докато при царевицата се регистрира само след третиране с по-високи концентрации на PEG (30% и 40%). В резултат от засушаването се наблюдаваха повишени регулирани енергийни загуби (Φ_{NPQ}) и активиране на „state transition“ при царевицата, докато при соргото се регистрира нарастване главно на нерегулираните енергийни загуби (Φ_{NO}). Намаляване на съдържанието на пигменти и относителното водно съдържание, както и увеличаване на мембранното увреждане също се регистрира след третиране с PEG. Експерименталните резултати показаха по-добра толерантност към засушаване на царевицата в сравнение със соргото. Това проучване предоставя нова информация за ролята на регулираните енергийни загуби и „state transition“ за защитата на фотосинтетичния апарат при суша и може да бъде практически подход за определяне на толерантността на растенията към този стрес-фактор.

Ключови думи: хлорофилна флуоресценция, третиране с PEG, P_{700} фотоокисление, пигментен състав, мембранно увреждане, царевица, сорго, относително водно съдържание.

Защитни ефекти на натриевия нитропрусид върху фотосинтетичната производителност на *Sorghum bicolor* L. при солеви стрес

Martin A. Stefanov, Georgi D. Rashkov, Ekaterina K. Yotsova, Preslava B. Borisova, Anelia G. Dobrikova and Emilia L. Apostolova *

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 21, 1113 Sofia, Bulgaria

* Correspondence: emya@bio21.bas.bg

Абстракт: В това проучване е изследвано въздействието на листното приложение на различни концентрации на натриев нитропрусид (SNP, като донор на азотен оксид) (0–300 μM) върху два сорта сорго (*Sorghum bicolor* L. Albanus и *Sorghum bicolor* L. Shamal) под влиянието на солеви стрес (150 mM NaCl). Данните разкриха, че солеността води до повишаване на маркерите на оксидативен стрес и увреждане на целостта на мембраната, което е придружено от намаляване на съдържанието на хлорофил, отворените центрове на фотосистема 2 (ФС2) и индексите на производителна ефективност (PI_{ABS} и PI_{total}), а също така се повлияват крайните акцептори на фотосистема 1 (ФС1) (REo/RC). Пръскането със SNP отслабва токсичността на NaCl върху фотосинтетичните функции, като защитата зависи от концентрацията и е по-голяма при Shamal, отколкото при Albanus, т.е. тя е видово специфична. Освен това, експерименталните резултати разкриват, че степента на защита на SNP при солеви стрес също зависи от вътрешното количество на азотен оксид (NO) в листата, броя на активните реакционни центрове за единица ФС2 антенен комплекс, увеличената редуция на крайните ФС1 акцептори, както и от стимулацията на цикличния електронен транспорт около ФС1. Резултатите показаха по-добра защита и при двата сорта сорго при концентрации на SNP до 150 μM , което съответства на около 50% увеличение на ендогенното (вътрешното) съдържание на NO в листата в сравнение с контролните растения. Нашето проучване предоставя ценна представа за молекулярните механизми, лежащи в основата на SNP-индуцираната солева толерантност в сортовете сорго и може да бъде практичен подход за намаляване на чувствителността на растенията към засоляване.

Ключови думи: третиране с NaCl, азотен оксид, фотосинтеза, JIP тест, хлорофилна флуоресценция, увреждане на мембраната, P_{700} фотоокисление

Различна чувствителност на фотосистема 2 в зелени водорасли и цианобактерии към фенилурея и хербициди от фенолен тип: ефект върху донорната страна на електрони

*Ekaterina K. Yotsova, Martin A. Stefanov, Anelia G. Dobrikova and Emilia L. Apostolova**

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 21, 1113 Sofia, Bulgaria

E-mail: emya@bio21.bas.bg

Абстракт: Изследвани са ефектите от краткотрайното третиране с фенилурея (DCMU, изопротурон) и фенолен тип (йоксинил) хербициди върху зеленото водорасло *Chlorella kessleri* и цианобактерията *Synechocystis salina* с различни организации на фотосистема 2 (ФС2). Използвайки импулсна амплитудно-модулирана (ПАМ) хлорофилна флуоресценция и полярографски кислородни електроди (тип Кларк и тип Жолио) измерващи фотосинтетичното кислородно отделяне. Фотосинтетичното кислородно отделяне показва по-силно инхибиране от фотохимията на ФС2. Ефектите на изследваните хербициди върху водорасли и цианобактериални клетки намаляват в следния ред: DCMU > изопротурон > йоксинил. Освен това наблюдавахме че броят на блокираните ФС2 центрове се е увеличил значително след третиране с DCMU (204–250 пъти) и по-слабо след третиране с йоксинил (19–35 пъти) в сравнение с контролните клетки. Това проучване предполага, че хербицидите засягат не само акцепторната страна, но и донорната страна на ФС2 чрез модификации на Мп кълъстер на кислород-отделящия комплекс. Предполагаме, че една от причините за различните инхибираня на ФС2, причинени от хербициди е тяхното влияние в различна степен върху кинетичните параметри на реакциите, отделящи кислород (първоначалното разпределение на състоянията $S_0 - S_1$, броят на блокираните центрове S_b , времето за превъртане на S_i състоянията, пропуските и двойните попадения). Разгледана е връзката между хербицид-индуцираното инхибиране и промените в кинетичните параметри на кислородно отделяне.

Ключови думи: *Chlorella kessleri*, хербициди, ПАМ хлорофилна флуоресценция, фотосинтетично кислородно отделяне, *Synechocystis salina*.

DOI: 10.7546/CRABS.2018.03.09

**Влияние на салициловата киселина върху растежа и активността на
фотосинтетичния апарат в ориза при нормални условия**

*Ekaterina Yotsova, Anelia Dobrikova, Martin Stefanov,
Emilia Apostolova*

Institute of Biophysics and Biomedical Engineering
Bulgarian Academy of Sciences
Acad. G. Bonchev St, Bl. 21
1113 Sofia, Bulgaria

e-mail: emya@bio21.bas.bg

Абстракт: Изследвано е въздействието на различни концентрации екзогенно приложена салицилова киселина (10, 50 и 100 μM) в областта на корените върху растежа на растенията, съдържанието на пигменти и фотохимичните активности както на фотосистема 1, така и на фотосистема 2. Данните показват, че наблюдаваните промени силно зависят от концентрацията на приложената салицилова киселина, като 10 μM е оптималната концентрация за растежа и функционалната активност на фотосинтетичния апарат на оризовите растения при физиологични условия. В допълнение, концентрациите на салицилова киселина под 100 μM нямат ефект върху преноса на енергия между хлорофил-белтъчните комплекси в тилакоидните мембрани.

Ключови думи: ориз, салицилова киселина, фотохимична активност, пигменти, P_{700} , 77К хлорофилна флуоресценция

Подобряване защитата на фотосинтетичния апарат на ориза при кадмиев стрес, в зависимост от достъпа на корените към салицилова киселина

*Ekaterina K. Yotsova, Anelia G. Dobrikova, Martin A. Stefano, Margarita Kouzmanova, Emilia L. Apostolova**

E. K. Yotsova, A. G. Dobrikova, M. A. Stefanov, E. L. Apostolova (*) Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

e-mail: emya@bio21.bas.bg

M. Kouzmanova, Department of Biophysics and Radiobiology, Biological Faculty, Sofia University, Sofia, Bulgaria

Абстракт: Настоящото изследване е проведено, за да се изследва ефектът от екзогенно добавената салицилова киселина (SA) към хранителния разтвор върху параметрите на растежа и функциите на фотосинтетичния апарат на оризови растения при условия на кадмиев (Cd) стрес. Нашите изследвания показваха, че 10 μM SA има оптимален ефект при оризови растения, отглеждани хидропонно. Проведени са амплитудно модулирана хлорофилна флуоресценция, нискотемпературна хлорофилна флуоресценция, полярографски изследвания измерващи кислородното отделяне (чрез електроди тип Clark и тип Joliot) и P_{700} фотоокислителни измервания, за да се оцени ефектът на SA върху активността на фотосинтетичния апарат. Бяха определени нивата на три важни параметъра, свързани с оксидативния стрес (водороден пероксид, липидна пероксидация и съдържание на пролин). Прилагането на ниска концентрация на SA значително намалява нивата на водороден пероксид, липидна пероксидация и пролин при наличието на Cd стрес. Резултатите показваха, че ниската концентрация на SA, приложена в растения, изложени на 150 μM CdCl_2 , значително подобрява растежа на растенията, фотохимичните активности на двете фотосистеми, електронния поток от Q_A към пластохинона, енергийното разпределение между пигмент-белтъчните комплекси и кинетичните параметри на кислород-отделящите реакции. Това предполага, че екзогенното приложение на 10 μM SA в хранителната среда има защитен ефект срещу Cd токсичност в оризовите растения. Дискутират се възможните молекулярни механизми, включени в защитния ефект на SA върху функцията на фотосинтетичния апарат.

Ключови думи Кадмиев стрес, Хлорофилна флуоресценция, Оксидативен стрес, Фотохимична активност, Пигменти, Ориз, Салицилова киселина

Ефекти на кадмий върху два сорта пшеница в зависимост от различното количество на снабдяване с азот

Ekaterina Yotsova^a, Anelia Dobrikova^a, Martin Stefanov^a, Svetlana Misheva^b, Monika Bardacova^c, Ildiko Matusikova^c, Laura Zidekova^d, Alzbeta Blehova^e, Emilia Apostolova^{a}*

^a Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, 1113, Sofia, Bulgaria

^b Institute of Plant Physiology and Genetics, Bulgarian Academy of Science, 1113, Sofia, Bulgaria

^c University of SS. Cyril and Methodius, Faculty of Natural Sciences, Department of Ecochemistry and Radioecology, Námestie J. Herdu 2, Trnava, SK-917 01, Slovak Republic

^d University of SS. Cyril and Methodius, Department of Biochemistry, Námestie J. Herdu 2, Trnava, SK-917 01, Slovak Republic

^e Comenius University in Bratislava, Faculty of Natural Sciences, Department of Plant Physiology, Ilkovičova 6, Mlynská dolina, 84 215, Bratislava, Slovak Republic

Абстракт: Замърсяването с тежки метали, както и неправилното управление на торенето представляват сериозни заплахи за чистата околна среда и здравословната храна. Това проучване е проведено, за да се изследва как снабдяването с азот влияе върху способността на растенията да се справят с кадмиевия стрес в два сорта пшеница – съвременният св. *Katya* (носител на ген *Rht8*) и старият св. *Slomer*. Тук проучвахме ефектите на 100 μM CdCl_2 върху двата пшенични генотипа, отглеждани хидропонно при три различни режима на азотно хранене от 5.5, 10 и 20 mM NO_3^- чрез изследване на растежа на растенията, съдържанието на пигменти и функционалната активност на фотосинтетичния апарат посредством комбинация от ПАМ хлорофилна флуоресценция, P_{700} фотоокисление, кислородно отделяне и маркери на оксидативен стрес. Данните показват, че различният генетичен произход повлиява различни стратегии за усвояване и разпределение на метала, както и способността за справяне с оксидативния стрес. Модерното св. *Katya* ограничава навлизането на метала в корените, но позволява придвижването му към стъблата. Независимо от това, фотосинтетичната ефективност показва по-добра защита, вероятно опосредствана от алела *Rht8*. За разлика от нея старата св. *Slomer* е толерантна към по-високи нива на кадмий в корените и притежава ефикасни бариери срещу пренасянето му в стъблата, но въпреки това фотосинтетичната активност е нарушена. Като цяло въздействието на кадмия върху фотосинтетичния апарат е най-вредно при най-ниската приложена концентрация на азот, докато най-високото количество азот облекчава отрицателни ефекти на кадмий. Данните предполагат, че съвременният алел за размножаване (*Rht8*), както и по-доброто азотно хранене могат да допринесат за толерантността към стреса от тежки метали в пшеницата.

Ключови думи: фотосинтетичен апарат, кадмий, азот, окислителен стрес, отделяне на кислород, пигменти, сортове пшеница

Въздействие на листното прилагане на наночастици от цинков оксид върху фотосинтезата на *Pisum sativum* L. при солеви стрес

Hisham A. Elshoky ^{a,b,1}, Ekaterina Yotsova ^{c,1}, Mohamed A. Farghali ^{a,d}, Khaled Y. Farroh ^{a,b},
Kh El-Sayed ^{a,d}, Heba Elsayed Elzorkany ^{a,b}, George Rashkov ^c, Anelia Dobrikova ^c,
Preslava Borisova ^c, Martin Stefanov ^c, Maha Anwar Ali ^e, Emilia Apostolova ^{c,*}

a Nanotechnology and Advanced Materials Central Lab, Agricultural Research Center, Giza, Egypt
b Regional Center for Food and Feed, Agricultural Research Center, Giza, Egypt
c Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
d Nanotechnology Research Center, British University in Egypt, Egypt
e Biophysics Department, Faculty of Sciences, Cairo University, Giza, Egypt

Абстракт: Това проучване изследва въздействието на наночастиците от цинков оксид: чисти (ZnO NPs) и покрити със силициева обвивка (ZnO-Si NPs), върху *Pisum sativum* L. при физиологични условия и условия на солеви стрес. Експерименталните резултати показват, че листното пръскане с ZnO-Si NPs и 200 mg/L ZnO NPs не оказва влияние върху структурата на устицата, целостта на мембраната и функциите на двете фотосистеми при физиологични условия, докато 400 mg/L ZnO-Si NPs има благоприятен ефект върху ефективния квантов добив на фотосистема 2 (ФС2) и фотохимията на фотосистема 1 (ФС1). От друга страна, малки фитотоксични ефекти са регистрирани след пръскане с 400 mg/L ZnO NPs, придружени от стимулиране на цикличният електронен поток около ФС1 и увеличаване на нефотохимичното гасене (НФГ). Резултатите също така показаха, че и двата вида наночастици (с изключение на 400 mg/L ZnO NPs) ограничават отрицателните ефекти предизвикани от 100 mM NaCl върху фотохимията на ФС1 (фотоокислението на P₇₀₀) и ФС2 (qP, Fv/Fm, Fv/Fo, Ф_{ФС2}, Ф_{ехс}), както и върху съдържанието на пигменти, затварянето на устицата и целостта на мембраната. Защитният ефект беше по-изразен след пръскане с ZnO-Si NPs в сравнение с ZnO NPs, което може да се дължи на наличието на Si покритие. Обсъжда се ролята на Si обвивка.

Ключови думи: ZnO и ZnO-Si наночастици, ПАМ хлорофилна флуоресценция, P₇₀₀, Фотосинтетични пигменти, Солеви стрес, Структура на устицата

Микроводораслите подобряват фотосинтетичната производителност на оризов разсад (*Oryza sativa* L.) при физиологични условия и кадмиев стрес

Ekaterina Yotsova¹, Martin Stefanov¹, Georgi Rashkov¹, Margarita Kouzmanova², Anelia Dobrikova¹ and Emilia Apostolova^{1}*

¹Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

²Department of Biophysics and Radiobiology, Biological Faculty, Sofia University, Sofia, Bulgaria

*Corresponding Author: Emilia Apostolova. Email: emya@bio21.bas.bg

Абстракт: Целта на това проучване беше да се оцени въздействието на микроводораслите *Chlorella vulgaris* върху оризов разсад при физиологични условия и при кадмиев (Cd) стрес. Изследвахме ефектите на *C. vulgaris* развиващо се в хранителния разтвор върху ориз, отглеждан хидропонно в присъствието и отсъствието на 150 μM CdCl₂, използвайки ниско-температурна (77K) и импулсно амплитудно-модулирана (ПАМ) хлорофилна флуоресценция, измервания свързани с фотоокислението на P₇₀₀, фотохимичните активности на двете фотосистеми, кинетичните параметри на кислородно отделяне, оксидативните стрес-маркери (МДА, H₂O₂ и пролин), съдържанието на пигменти, растежните параметри и натрупването на Cd. Данните показват, че приложението на *C. vulgaris* не само стимулира растежа и подобрява функциите на фотосинтетичния апарат при физиологични условия, но също така намалява токсичния ефект на Cd върху оризовите кълнове. Освен това, наличието на зелени микроводорасли в хранителния разтвор на оризовите кълнове изложени на действието на Cd, значително подобряват растежа, фотохимичните активности на двете фотосистеми, кинетичните параметри на кислород-отделящите реакции, съдържанието на пигменти и намаляват липидната пероксидация, H₂O₂ и съдържанието на пролин. Данните показват, че облекчаването на индуцираните от Cd ефекти в оризовият разсад е резултат от сорбцията на тежкия метал от микроводорасли, както и от намаленото натрупване на Cd в корените и неговото преместване от корените към стъблата.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: *Chlorella vulgaris*, растежни параметри; нискотемпературна хлорофилна флуоресценция, ПАМ хлорофилна флуоресценция, фотосинтеза, ориз, стрес маркери