



**СТРУКТУРНОФУНКЦИОНАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА
ФОТОСИНТЕТИЧНИЯ АПАРАТ НА КРАСТАВИЧНИ РАСТЕНИЯ
(*CUCUMIS SATIVUS*) В УСЛОВИЯ НА ИЗЛИШЪК ОТ ТЕЖКИ
МЕТАЛИ**

АННА НИКОЛОВА, ЛЮБКА КОЛЕВА, АНДОН ВАСИЛЕВ ХРИСТО
АНАСТАСОВ

**STRUCTURAL-FUNCTIONAL STUDY ON THE
PHOTOSYNTHETICAL APPARATUS OF CUCUMBER PLANTS
(*CUCUMIS SATIVUS*) AT EXCESS OF HEAVY METALS**

ANNA NIKOLOVA, LYUBKA, KOLEVA, ANDON VASSILEV CHRISTO
ANASTASOV

A structural-functional study on the photosynthetic apparatus of cucumber plants, grown at increasing levels of heavy metals (Cu, Zn and Cd) was carried out at control conditions. It was established that the most sensitive to heavy metals stress are net photosynthetic rate and electron transport rate; therefore they could be used as indicators for metal toxicity in plant test systems.

Увод

Замърсяването на почвите с тежки метали (ТМ) представлява рисък за устойчивото функциониране на екосистемите. При оценката на екологичния рисък, наред със стандартните физични и химични методи, все по-често се използват и биотествове с микроорганизми, животински и растителни видове. Чувствителни индикатори на здравния статус на растенията могат да бъдат редица анатомични и физиологични параметри (3).

Фотосинтетичният апарат на растенията е мишена на токсичното действие на много фитотоксиканти, в това число и на ТМ. Хроничното въздействие с ТМ води до структурни промени в листната петура (1), а във функционален аспект оказва негативни ефекти върху много звена на интегралния фотосинтетичен процес (5).

Стандартизираните растителни тестове за оценка на токсичността на замърсени с ТМ почви са сравнително малко на брой и се нуждаят от оптимизиране (4, 6). За разработването на нови тестове е необходимо добро познаване на структурните и функционални отговори на използвания растителен вид към излишък на ТМ. Подходящи за тестове са сравнително лесно изпълними анатомични анализи, които са достъпни във всяка лаборатория, както и недеструктивни функционални измервания, които като правило са бързи и точни.

В предварителни изследвания установихме, че краставиците се отличават с висока чувствителност към излишък на ТМ, които ги прави потенциален кандидат за тестова култура. Целта на настоящото изследване беше да се характеризира структурнофункционалното състояние на фотосинтетичния апарат на млади краставични растения, отглеждани при излишък на Zn, Cu и Cd.

Материал и методи

Опитите са проведени с краставици (хибрид Левина) във фитостатен бокс на катедрата по Физиология на растенията и биохимия. Условията на отглеждане и експерименталната постановка са описани подробно в друга работа от настоящото издание (2).

Млади краставични растения, отглеждани в съдове с перлит, са подложени на 8-дневно въздействие с нарастващи дози на ТМ Zn, Cu и Cd чрез ежедневно поливане със 100 ml разтвор на съд. Вариантите включват: контрола, $\frac{1}{4}$ доза ТМ, $\frac{1}{2}$ доза ТМ и пълна доза ТМ ($500 \mu\text{M}$ Zn, $20 \mu\text{M}$ Cu и $50 \mu\text{M}$ Cd). В края на експерименталния период с фотосинтетичната система LCA-4 (ADC, England) в най-младите, но напълно развити листа са измерени скоростта на нето фотосинтезата (A) и интензивността на транспирацията (E). Върху същите листа с апарат MINI-PAM (H. Walz, Germany) са определени основни параметри на хлорофилната флуоресценция – максимална ефективност на $\Phi\text{C}2$ (F_v/F_m) и скорост на електронния транспорт (ETR). След функционалните измервания, листата от контролата и варианта с пълна доза ТМ се използвани за анатомичен анализ.

Данните са обработени статистически и достоверността на разликите с контролата беше преценена по критерия t на Стюдент.

Резултати и обсъждане

Приложеното въздействие с Zn, Cu и Cd потиска формирането на фотосинтетичния апарат на краставичните растения (Таблица 1). Свежата маса на листата и листната площ на третираните растения съществено намаляват. При въздействие с пълна доза ТМ, свежата маса на листата намалява с 52%, а листната площ – с 42%.

Дебелината на листната петура в третираните с пълна доза ТМ растения нараства достоверно с 14% (Таблица 2). Стоматалният апарат не реагира съществено към приложеното въздействие с ТМ, с изключение да броя на устицата по горната повърхност, който намалява достоверно с около 20%. Дължината и ширината са устицата варират незначително.

Функционалната активност на фотосинтетичния апарат в третираните с ТМ растения намалява (Таблица 3). В най-силна степен са потиснати скоростта на нето фотосинтезата (A) и скоростта на електронния транспорт (ETR), чиито стойности са достоверно по-ниски от контролата при всички дози на третиране с ТМ. При варианта с пълна доза ТМ съответните стойности на тези показатели представляват 36 и 43% от тези на контролните растения. По-малка чувствителност показват интензивността на транспирацията (E) и максималната ефективност на $\Phi\text{C}2$ (F_v/F_m), които са достоверно понижени само при въздействието с пълна доза ТМ.

Получените резултати показват, че излишъкът от ТМ потиска формирането и функционалната активност на фотосинтетичния апарат на

краставиците. Увеличената дебелина на листната петура в третираните с пълна доза TM растения може в известна степен да е резултат от инхибирания линеен растеж на листата. В такива случаи се променя специфичната пътност на листата като силата и насоката на промяна зависят от степента на приложения метален стрес.

Таблица 1
Биометрични параметри на контролните и третираните с тежки метали краставични растения от хибрида Левина

Варианти	Свежа маса на листата (g)	Листна площ (cm ²)
Контрола	3.12 ± 0.13 (100)	92.7 ± 5.0 (100)
¼ TM	2.67 ± 0.15* (86)	74.5 ± 2.8* (80)
½ TM	2.20 ± 0.19* (71)	64.8 ± 4.6* (70)
TM	1.49 ± 0.11* (48)	53.3 ± 4.9* (58)

* Разликите с контролата са доказани при P = 0.05.

Таблица 2
Количествени показатели на листния епидермис на контролните и третираните с тежки метали краставични растения от хибрида Левина

Варианти	Дебелина на петурата (µm)	Листна повърхност	Брой устица	Дължина Устица	Ширина устица
Контрола	163.8 ± 7.9	Горна	601 ± 66	19.3 ± 1.0	15.9 ± 1.2
		Долна	1103 ± 76	19.1 ± 1.2	14.1 ± 1.1
TM	186.9 ± 5.2*	Горна	481 ± 44*	19.9 ± 0.7	15.5 ± 1.1
		Долна	985 ± 61	19.9 ± 1.1	14.5 ± 0.8

* Разликите с контролата са доказани при P = 0.05.

Таблица 3
Фотосинтетични параметри на контролни и третирани с тежки метали краставични растения от хибрида Левина

A – скорост на нето фотосинтезата (µmol CO₂ m⁻² s⁻¹); E – интензивност на транспирацията (mmol H₂O m⁻² s⁻¹); F_v/F_m – максимална ефективност на ФС2 (безразмерна величина); ETR – скорост на електронния транспорт (µmol m⁻² s⁻¹).

Варианти	A	E	F _v /F _m	ETR
Контрола	6.60 ± 1.00	1.87 ± 0.47	0.79 ± 0.02	124.70 ± 1.3
¼ TM	4.56 ± 1.34*	1.60 ± 0.32	0.76 ± 0.03	107.9 ± 3.3*
½ TM	2.53 ± 0.33*	1.45 ± 0.25	0.75 ± 0.03	88.60 ± 13.9*
TM	2.39 ± 1.27*	1.09 ± 0.20*	0.65 ± 0.03*	53.60 ± 18.4*

* Разликите с контролата са доказани при P = 0.05.

В най-силна степен ТМ инхибират скоростта на нето фотосинтезата (A). Това вероятно се дължи на интегралния характер на процеса, който зависи от много звена и субпроцеси, представляващи потенциални мишени на токсичния ефект на ТМ. По-слабото потискане на транспирацията кореспондира с отсъствието на значителни промени в стоматалния апарат и дава основание да се допусне, че водеща роля за инхибицията на A имат мезофилните, а не устичните фактори. В потвърждение на това схващане е почти идентичното потискане на скоростта на електронния транспорт (ETR). При отсъствието на значителни промени в максималната ефективност на ФС2 (F_v/F_m), намалената ETR се дължи или на директни нарушения в тилакоидно-свързаните фотохимични процеси или е резултат от инхибиране по пътя на обратната връзка поради намалена нужда от редуциращи еквиваленти в цикъла на Калвин.

Заключение

Приложеното въздействие с тежките метали Zn, Cu и Cd инхибира формирането и функционалната активност на фотосинтетичния апарат на млади краставични растения от хибрида Левина. С най-висока чувствителност към излишък от ТМ са функционалните показатели скорост на нето фотосинтезата (A) и скорост на електронния транспорт (ETR), поради което същите могат да бъдат използвани в растителни тестове.

Литература

1. Димитрова, И., К. Коев, Н. Христовска, 2001. Изследвания върху *Linum usitatissimum* L. при култивиране върху замърсени с тежки метали почви. Научни трудове на Пловдивския Университет, том. 37, кн. 6, 25-34.
2. Колева, Л., А. Николова, А. Василев, 2006. Физиологична реакция на краставици (*Cucumis sativus*) към нарастващи нива на тежки метали в средата. Научни трудове на АУ-Пловдив (този брой).
3. Нинова, Д., П. Душкова, 1981. Тенденции в анатомичната и физиологична изменчивост на дървесни растения в промишлени райони. Научни трудове на Пловдивския Университет, т.19, кн. 4, 73-83.
4. Berti, W. R., E. M. Cooper, S. Cunningham, J. Vangronsveld, 1988. Field implementation – Practical considerations In: Metal-Contaminated Soils: In Situ Inactivation and Phytoremediation. (Eds. J. Vangronsveld, S. Cunningham), Springer-Verlag and R. G. Landes Company, 183-193.
5. Krupa, Z., T. Baszynski, 1995. Some aspects of heavy metals toxicity towards photosynthetic apparatus - direct and indirect effects on light and dark reactions. *Acta Physiol Plant*, 7, 55-64.
6. Vangronsveld, J. H. Clijsters, 1992: A biological test system for the evaluation of metal phytotoxicity and immobilisation by additives in metal contaminated soils. In: Metal compounds in environment and life, 4. Special supplement to Chemical Speciation and Bioavailability. (Eds. E. Merian, W. Haedi), Wilmington: Science Reviews Inc., 1992, 117-125.