

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0051****Štúdium vplyvu rôznych nutričných podmienok na akumuláciu toxických elementov v pšenici.**Zodpovedný riešiteľ **Mgr. Ildikó Matušíková, PhD.**Príjemca **Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave - Fakulta prírodných vied**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Pracovisko žiadateľa: Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave

Partnerské pracovisko: Ústav genetiky a biotechnológií rastlín, CB SAV

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

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

Educational and Scientific Centre "Institute of Biology and Medicine", Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

žiadne

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

CC publikácie:

1. Maglovski M, Gregorová Z, Rybanský Ľ, Mészáros P, Moravčíková J, Hauptvogel P, Adamec L, Matušíková I (2017) Nutrition supply affects the activity of pathogenesis-related β -1,3-glucanases and chitinases in wheat. *Plant Growth Regulation* 81 (3):443-453. doi:10.1007/s10725-016-0222-7
2. Michalko J, Renner T, Mészáros P, Socha P, Moravčíková J, Blehová A, Libantová J, Polóniová Z, Matušíková I (2017) Molecular characterization and evolution of carnivorous sundew (*Drosera rotundifolia* L.) class V β -1,3-glucanase. *Planta* 245 (1):77-91. doi:10.1007/s00425-016-2592-5
3. Konotop Y, Kovalenko M, Matušíková I, Batsmanova L, Taran N (2017) Proline application triggers temporal red-ox imbalance, but alleviates cadmium stress in wheat seedlings. *Pakistan Journal of Botany* 49(6): 2145-2151
4. Maglovski Marína, Gerši Zuzana, Rybanský Lubomír, Bardáčová Monika, Jana Moravčíková, Marek Bujdoš, Anelia Dobrikova, Emilia Apostolova, Ján Kraic, Alžbeta Blehová, Ildikó Matušíková (2019) Effects of Nutrition on Wheat Photosynthetic Pigment Responses to Arsenic Stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, Roč. 28, č. 3 (2019), s. 1821-1829
5. Gálusová T, Piršelová B, Rybanský Ľ, Krasylenko Y, Mészáros P, Blehová A, Bardáčová M, Moravčíková J, Matušíková I (2020) Plasticity of soybean stomatal responses to arsenic

and cadmium at the whole plant level. Polish Journal of Environmental Studies 29 (5):3569-3580. doi:10.15244/pjoes/116444

6. Yotsova E, Dobrikova A, Stefanov M, Misheva S, Bardáčová M, Matušíková I, Žideková L, Blehová A, Apostolova E (2020) Effects of cadmium on two wheat cultivars depending on different nitrogen supply. Plant Physiology and Biochemistry 155:789-799.

doi:10.1016/j.plaphy.2020.06.042

7. Maglovski M, Rybanský L, Bujdoš M, Adamec L, Bardáčová M, Blehová A, Matušíková I Nitrogenous nutrition affects uptake of arsenic and defense enzyme responses in wheat. (Accepted in Polish Journal of Environmental Studies)

ADN publikácie

1. Bardáčová M, Maglovski M, Gregorová Z, Konotop Y, Horník M, Moravčíková J, Ján Kraic J, Mihálik D, Matušíková I (2016) The activity of cell-wall modifying β -1,3- glucanases in soybean grown in presence of heavy metals. Nova Biotechnologica et Chimica 15(2): 114-121. (<https://doi.org/10.1515/nbec-2016-0012>)

2. Zimová M, Boszorádová E, Gregorová Z, Matušíková I, Moravčíková M (2017) Preparation of plant vector construct containing dehydrin gene At2g21490. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 6:1261-1263.

3. Moravčíková J, Ujvariová N, Žur I, Gálová Z, Gregorová Z, Zimová M, Boszorádová E, Matušíková I (2017) Chitinase activities in wheat and its relative species. Agriculture (Poľnohospodárstvo) 63 (1): 14-22.

4. Bardáčová M, Konotop Y, Gregorová Z, Horník M, Moravčíková J, Kraic J, Matušíková I (2017) Variable Dynamics of cadmium uptake and allocation in four soybean cultivars. Nova Biotechnologica et Chimica 16(2): 99-104.

5. Pavlovičová M, Gerši M, Bardáčová M, Ranušová P, Horník M, Matušíková I (2020) Variable accumulation of cadmium in flax (*Linum usitatissimum*L.). Nova Biotechnologica et Chimica 19(1): 70-79 (<https://doi.org/10.36547/nbc.v19i1.579>).

6. Asrorov AM, Matušíková I, Ziyavitdinov JF, Gregorová Z, Majerčíková V, Mamadrakhimov AA (2020) Changes in soluble protein profile in cotton leaves indicate rubisco damage after treatment with sumi-alpha insecticide. Agriculture 66 (1):40-44. doi:10.2478/agri-2020-0004

Odborné prednášky:
Matušíková: Nutrition effects on synthesis of plant defense proteins and tolerance to metals. Plant Genomics 2019; 12-14. jún 2019 Berlín, Nemecko, plenárna prednáška.

Kapitola v knihe:

Matušíková Ildikó, Pavlovič Andrej, Renner Tanya (2018) Biochemistry of prey digestion and nutrient absorption. In: Carnivorous Plants : Physiology, ecology, and evolution (Eds. Aaron M. Ellison, Lubomír Adamec). 1. vyd. - Oxford : Oxford University Press, 2018. - ISBN 978-0-19-877984-1, s. 207-220.

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu poukázali na prepojenie obranyschopnosti rastlín na toxicitu kovu v závislosti od nutričných podmienok. Identifikovali parametre, ktoré je možné využiť ako dobrý indikátor tolerancie a/alebo aktivovanej obrany pri raste v prítomnosti kovov. Nastavenie týchto analýz v praxi je uplatniteľná pre manažment aplikácie umelej výživy v záujme maximálnej tolerancie plodín na environmentálne stresy, napr. pri raste v kontaminovaných podmienkach, potenciálne však aj v kontexte iných typov stresorov (napr. nedostatok vlahy). Projekt generoval údaje o vhodnosti odrôd vybraných rastlinných druhov (pšenica, ľan, sója) z hľadiska produkcie bezpečných potravín (v prípade ľanu produkcie bezpečného vlákna), ako aj vhodnosti pre remediačné (ľan) či biofortifikačné (pšenica) programy.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Pomocou experimentov s 8 rôznymi koncentraciami N v rastovom médiu sme zistili, že okrem popísaných dopadov rôznej dusíkatej výživy na rast dochádza k rozdielnej akumulácii obranných proteínov, čím sme potvrdili východiskovú hypotézu o vplyve výživy na obranyschopnosť rastlín voči toxicite kovov. Odhalili sme nelineárny charakter pozorovaných dopadov v závislosti od koncentrácie dusíkatej výživy. Výsledky ukázali, že jediný parameter (napr. obsah pigmentu či aktivita enzýmu) môže byť rôzne regulovaný pri hladovaní resp. nadbytku N, a preto jeho akumulácia pri ďalšom strese (napr. toxicita kovu,

sucho) je ťažko predvídateľná.

Nadmerná výživa má kontraproduktívny vplyv na rast a vývin. Identifikovali sme niekoľko izoforiem enzýmov glukánáz resp. chitináz, ktoré sa akumulovali na jeden typ stresora, alebo pri kombinácii pôsobenia toxického kovu resp. určitej nutričnej dávky. Ich aktivity pri tom boli vo viacerých prípadoch výrazne potlačené pri nadmernej výžive. Na druhej strane, dostupnosť N zabezpečuje dostatočné energetické krytie pre syntézu obranných komponentov a v konečnom dôsledku vedie k nižšiemu príjmu toxických elementov ako As či Cd. Výsledky z viac ako 12 rôznych rastovo-fyziologických parametrov a takmer 60 rôznych izoforiem enzýmov poukazujú na ich vysokú špecifitu vo funkciách Komplexita regulácie týchto komponentov obrany preto neumožňuje prinášať širšie zovšeobecnenia pre manažment výživy pre poľnohospodársku prax, a vyžaduje detailnejšie analýzy spolupôsobenia výživy, toxicity a mechanizmu pôsobenia kovu na pozadí konkrétneho druhu resp. odrody..

Výsledky projektu potvrdili, že s využitím molekulárnych markérov pre príjem Cd nie je možné spoľahlivo určiť toleranciu ani mieru akumulácie Cd vo využívaných častiach rastlín. Preto sme navrhli súčasné využívanie komplementujúcich fyziologických markérov (napr. akumulácia prolínu či určité fotosyntetické pigmenty). V rámci projektu sme stanovili genetický akumulčný potenciál takmer 80 odrôd pšenice a 6 odrôd sóje, v rámci ktorých sme identifikovali odrody s vysokým ale aj nízkym rizikom z hľadiska bezpečnosti potravín. Reálnu akumuláciu Cd sme potvrdili u vybraných odrôd pšeníc, sóje a ľanu a formulovali sme pre ne odporúčania z hľadiska produkcie biobezpečných potravín (vlákna; odroda ľanu Belinka) alebo z hľadiska využiteľnosti pre remediácie (odroda ľanu Jitka). Poukázali sme na súvislosť akumulácie a tolerance na Cd v pšenici s prítomnosťou alel pre nízky vzrast v moderných odrodách pšenice; tieto alely prispievajú k dobrému hospodáreniu s vodou a teda prispievajú k tolerancii voči pôsobeniu ťažkých kovov.

Záverom projektu je zistenie, že pre danú odrodu (druh) je možné nastaviť určité, pomerne široko nastavené podmienky výživy, ktoré možno vyhodnotiť ako optimálne pre rast a vývin. Tieto podmienky však v rôznej miere možno hodnotiť ako optimálne alebo sub-optimálne za podmienok pôsobenia toxicity kovov. Rast a odpovede na toxicitu kovov evidentne súperia o nutričné zdroje, pričom ich optimálne nastavenie závisí nielen od rastlinného druhu či odrody, ale aj mechanizmu toxicity kovu a charakteru obrannej výbavy rastlín. V súčasnosti nie je možné predpovedať spoľahlivo výsledok týchto kompetičných vzťahov, nakoľko regulácia a vzájomné prepojenie vývinu a odpovedí na stresy nie je dostatočne objasnená a vyžaduje ďalšie štúdie. Všetky hlavné ciele projektu boli splnené, pričom doteraz spracované dáta boli publikované v celkom 7 CC článkoch a 5 prácach kategorizovaných ako domáce recenzované odborné periodiká (ADN). Tieto práce prinášajú nové poznatky a odpovede na otázky postavené v projekte.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

Using experiments with 8 different concentrations of N in the growth medium, we found that in addition to the described effects of different nitrogen nutrition on growth, there is a different accumulation of defense proteins, confirming the initial hypothesis of the effect of nutrition on plant defenses against metal toxicity. We revealed the nonlinear nature of the observed impacts depending on the concentration of nitrogen nutrition. The results showed that a single parameter (e.g. pigment content or enzyme activity) can be differently regulated during starvation or excess N, and therefore its accumulation under further stress (e.g. metal toxicity, drought) is difficult to predict.

Overnutrition has a counterproductive effect on growth and development. We have identified several isoforms of glucanase and chitinase enzymes that have accumulated on single type of stressor, or on combined action of toxic metal and a certain nutritional condition. In several cases, their activities were significantly suppressed during excessive nutrition. On the other hand, the availability of (high) N provides sufficient energy coverage for the synthesis of defense components and ultimately leads to a lower uptake of toxic elements such as As or Cd. Results from more than 12 different growth-physiological parameters and almost 60 different isoforms of enzymes indicate their high specificity in functions. The complexity of the regulation of these defense components therefore does not allow to bring broader generalizations for nutrition management for agricultural practice, and requires more detailed analyzes of the interaction of nutrition and defense against metal toxicity on

the background of a particular species or variety.

The results of the project confirmed that with the use of molecular markers for Cd uptake it is not possible to reliably determine the tolerance or degree of Cd accumulation in the used plant parts. Therefore, we have proposed the simultaneous use of complementary physiological markers (such as proline accumulation or certain photosynthetic pigments). As part of the project, we determined the genetic accumulation potential of almost 80 varieties of wheat and 6 varieties of soybeans, in which we identified varieties with a high but also a low risk in terms of food safety. We confirmed the real accumulation of Cd in selected varieties of wheat, soybeans and flax and formulated recommendations for them in terms of biosafe food or fiber production (Belinka flax variety) or in terms of usability for remediation (Jitka flax variety). We pointed out the connection between accumulation and tolerance to Cd in wheat with the presence of alleles for short growth in modern wheat varieties; such alleles ensure good water management and thus contribute to tolerance to the action of heavy metals.

The conclusion of the project is the finding that for a given variety (species) it is possible to set certain, relatively broadly set nutritional conditions, which can be evaluated as optimal for growth and development. However, these conditions can be assessed to varying degrees as optimal or sub-optimal under metal toxicity conditions. The growth and responses to metal toxicity obviously compete for nutritional resources, and their optimal setting depends not only on the plant species or variety, but also on the mechanism of metal toxicity and the nature of the plant's defense equipment. At present, it is not possible to reliably predict the outcome of these competitive relationships, as the regulation and interconnection of development and stress responses is not sufficiently elucidated and requires further studies. All the main goals of the project were met, while the data processed so far were published in a total of 7 CC articles and 5 papers categorized as domestic peer-reviewed scientific periodicals. These works bring new knowledge and answers to the questions raised in the project.