

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0721****Inovatívne fenomické prístupy hodnotenia genetických zdrojov pšenice pre zlepšovanie produkcie a adaptability na klimatické extrémny**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Marián Brestič, CSc.**Príjemca **Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre - Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Katedra fyziológie rastlín

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav rastlinnej výroby, Piešťany

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Warsaw University of Life Sciences (SGGW), Warsaw, Poland

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

Agricultural Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia

Shandong Agricultural University, Taian, China

College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, China.

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

1. Registrácia odrody PN Zirnitra pšenice dvojrmovej (*Triticum dicocoon*), R. registrácie 20172. Registrácia odrody PN Badurka pšenice dvojrmovej (*Triticum dicoccon*), R. registrácie 20193. Registrácia odrody PN Mislina pšenice špaldovej (*Triticum spelta*), R. registrácie 2019

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

Kniha - vedecká monografia vydaná v zahraničnom vydavateľstve:

KALAJI, Mohamed Hazem - GOLCEV, Vasilij - ŽUK-GOŁASZEWSKA, Krystyna - ŽIVČÁK, Marek - BRESTIČ, Marián. Chlorophyll fluorescence : understanding crop performance - basics and applications. 1st ed. Boca Raton : Taylor & Francis group, 2017. 222 s. ISBN 978-1-4987-6449-0.

-

Štúdie charakteru vedeckej monografie vydané v knižných publikáciách:

ŽIVČÁK, Marek - OLŠOVSKÁ, Katarína - BRESTIČ, Marián. Photosynthetic responses under harmful and changing environment: practical aspects in crop research. In Photosynthesis: structure, mechanisms, and applications. 1st ed. 417 s. ISBN 978-3-319-48871-4. Cham : Springer, 2017, s. 203-248 [5,31 AH].

MBARKI, S. - SYTAR, Oksana - CERDÀ, Artemi - ŽIVČÁK, Marek - RASTOGI, Anshu - HE,

Xiaolan - ZOGLAMI, Aziza - ABDELLY, Chedly - BRESTIČ, Marián. Strategies to mitigate the salt stress effects on photosynthetic apparatus and productivity of crop plants. In *Salinity responses and tolerance in plants*. 1st ed. 399 s. ISBN 978-3-319-75670-7. Cham : Springer International Publishing, 2018, s. 85-136, [4,1 AH].

-

Vedecké články v zahraničných karentovaných časopisoch (výber):

BRESTIČ, Marián - ŽIVČÁK, Marek - HAUPTVOGEL, Pavol - MISHEVA, Svetlana - KOCHEVA, K.V. - YANG, Xinghong - LI, Xiangnan N. - ALLACHVERDIJEV, Sulejman I.

Wheat plant selection for high yields entailed improvement of leaf anatomical and biochemical traits including tolerance to non-optimal temperature conditions. In *Photosynthesis Research*. ISSN 0166-8595, 2018, vol. 136, iss. 2, s. 245-255 [IF 3,057].

ŽIVČÁK, Marek - BRESTIČ, Marián - BOTYANSZKÁ, Lenka - CHEN, Yanger - ALLACHVERDIJEV, Sulejman I. Phenotyping of isogenic chlorophyll-less bread and durum wheat mutant lines in relation to photoprotection and photosynthetic capacity. In *Photosynthesis Research*. ISSN 0166-8595, 2019, 139, 1-3, s. 239-251. [IF 3,057].

ŽIVČÁK, Marek - BRÜCKOVÁ, Klaudia - SYTAR, Oksana - BRESTIČ, Marián - OLŠOVSKÁ, Katarína - ALLACHVERDIJEV, Sulejman I. Lettuce flavonoids screening and phenotyping by chlorophyll fluorescence excitation ratio. In *Planta*. ISSN 0032-0935, 2017, vol. 245, iss. 6, s. 1215-1229. [IF 3,06].

OLŠOVSKÁ, Katarína - KOVÁR, Marek - BRESTIČ, Marián - ŽIVČÁK, Marek - SLAMKA, Pavol - SHAO, Hong-Bo. Genotypically identifying wheat mesophyll conductance regulation under progressive drought stress. In *Frontiers in Plant Science online*. ISSN 1664-462X, 2016, vol. 7, aug., article number 1111. [IF 4,11].

SYTAR, Oksana - BRESTIČ, Marián - ŽIVČÁK, Marek - OLŠOVSKÁ, Katarína - KOVÁR, Marek - SHAO, Hong-Bo - HE, Xiaolan. Applying hyperspectral imaging to explore natural plant diversity towards improving salt stress tolerance. In *Science of the Total Environment*. ISSN 0048-9697, 2017, vol. 578, s. 90-98. [IF 5,59].

SYTAR, Oksana - ŽIVČÁK, Marek - BRÜCKOVÁ, Klaudia - BRESTIČ, Marián - HEMMERICH, Irene - RAUH, Cornelia - ŠIMKO, Ivan. Shift in accumulation of flavonoids and phenolic acids in lettuce attributable to changes in ultraviolet radiation and temperature. In *Scientia Horticulturae*. 2018, 239, 193-204 [IF 1,96].

SYTAR, Oksana - BOŠKO, Paulina - ŽIVČÁK, Marek - BRESTIČ, Marián - SMETANSKA, Iryna. Bioactive phytochemicals and antioxidant properties of the grains and sprouts of colored wheat genotypes. In *Molecules*. ISSN 1420-3049, 2018, vol. 23, iss. 9, article number 2282. [IF 3,06].

RASTOGI, Anshu - ŽIVČÁK, Marek - SYTAR, Oksana - KALAJI, Mohamed Hazem - HE, Xiaolan - MBARKI, S. - BRESTIČ, Marián. Impact of metal and metal oxide nanoparticles on plant: A critical review. In *Frontiers in Chemistry*. ISSN 2296-2646, 2017, vol. 5, october, article number 78. [IF 3,782].

KALAJI, Mohamed Hazem - RASTOGI, Anshu - ŽIVČÁK, Marek - BRESTIČ, Marián - DASZKOWSKA-GOLEC, Agata - SITKO, Krzysztof - ALSHARAF, Khalid Y. - LOTFI, Wahid - STYPINSKI, Piotr - SAMBORSKA, Izabela A. - CETNER, Magdalena D. Prompt chlorophyll fluorescence as a tool for crop phenotyping: an example of barley landraces exposed to various abiotic stress factors. In *Photosynthetica*. ISSN 0300-3604, 2018, vol. 56, iss. 3, s. 953-961. [IF 2,37].

MBARKI, S. - SYTAR, Oksana - ŽIVČÁK, Marek - ABDELLY, Chedly - CERDÀ, Artemi - BRESTIČ, Marián. Anthocyanins of coloured wheat genotypes in specific response to salstress. In *Molecules*. ISSN 1420-3049, 2018, vol. 23, iss. 7, article number 1518. [IF 3,06].

KOVÁR, Marek - BRESTIČ, Marián - SYTAR, Oksana - BÁREK, Viliam - HAUPTVOGEL, Pavol - ŽIVČÁK, Marek. Evaluation of hyperspectral reflectance parameters to assess the leafwater content in soybean. In *Water*. ISSN 2073-4441, 2019, vol. 11, iss. 3, article number 443 [12 s.]. [IF 2,52].

SYTAR, Oksana - ŽIVČÁK, Marek - NEUGART, Susanne - TOUTOUNCHI, Peyman Mohammadzadeh - BRESTIČ, Marián. Precultivation of young seedlings under different color shades modifies the accumulation of phenolic compounds in Cichorium leaves in later growth phases. In *Environmental and Experimental Botany*. ISSN 0098-8472, 2019, vol. 165, iss. 1, p. 30-38. [IF 3,71].

RASTOGI A., ŽIVČÁK M., TRIPATHI D.K., YADAV S., KALAJI H.M. AND BRESTIČ M.:

Phytotoxic effect of silver nanoparticles in *Triticum aestivum*: Improper regulation of photosystem I activity as the reason for oxidative damage in the chloroplast, *Photosynthetica*, 57, 1, 2019, 209 – 216 [IF 2,37].

DABROWSKI P., BACZEWSKA-DABROWSKA A.H., KALAJI H.M., GOLTSEV V., PAUNOV M., RAPACZ M., WÓJCIK-JAGLA M., PAWLUSKIEWICZ B., BABA W., BRESTIC M.: Exploration of Chlorophyll a Fluorescence and Plant Gas Exchange Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Perennial Ryegrass. *Sensors*, Sensors 2019, 19 (12), 2736 [IF 3,031].

CHOVANČEK E., ŽIVČÁK M., BOTYANSKÁ L., HAUPTVOGEL P., YANG X., MISHEVA P. S., HUSSAIN S., BRESTIČ M.: Transient heat wave may affect the photosynthetic capacity of susceptible wheat genotypes due to insufficient photosystem I photoprotection. *Plants*, 2019 (v tlači) [IF 2,63].

Uplatnenie výsledkov projektu

Experimentálne zázemie a metódy fenotypovania sú využiteľné pri testovaní genetických zdrojov alebo nových biologických materiálov. Výsledky budú primárne uplatnené na pracovisku spoluriešiteľského pracoviska NPPC-VÚRV, národnej Genobanky SR v Piešťanoch, pri výskume a využití genetických zdrojov obilnín v šľachtení adaptabilných odrôd na klimatické extrémny.

Presvedčivé výsledky a experimentálne prístupy akceptované zahraničnými partnermi a medzinárodnými výskumnými konzorciami môžu byť využité aj na národnej úrovni pri výskume produkcie a adaptability poľných, zahradníckych plodín a drevín, ako aj pri výskume fytotoxicity látok využívaných v pôdohospodárstve, alebo sa vyskytujúcich v priemyselných oblastiach.

Riešiteľské pracovisko pripravuje vytvorenie Národnej fenotypovacej platformy SR, do ktorej budú pozvané akademické, výskumné pracoviská, ako aj farmári a partneri z podnikateľskej sféry.

Výsledky projektu sú v širšom kontexte využívané pri riešení 2 projektov Horizont 2020.

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

V rámci riešenia projektu boli realizované rozsiahle merania a odbery v rámci maloparcelkových poľných experimentov, nádobových vegetačných experimentov a laboartórnych experimentov na kolekciiach genotypov pšenice vybraných z rozsiahlych kolekciiach Génovej banky na NPPC-VÚRV Piešťany a zo zahraničných partnerských pracovísk s cieľom testovať rôzne prístupy fenotypovania na kolekciiach genotypov s dostatočnou variabilitou znakov. Obdobne boli experimenty realizované v menšom rozsahu aj na ďalších poľnohospodárskych plodinách a modelových druhoch rastlín (šalát, jačmeň siaty i.). Bola vytvorená komplexná databáza údajov, umožňujúcich pomerne podrobnú fyziologickú charakteristiku testovaných kolekciiach rôzneho geografického pôvodu a taxonomického zatriedenia, vrátane úrodových a rastových charakteristík, listových znakov a charakteristík prieduchového aparátu ako aj reakciiach na sucho na rôznych úrovniach. Bola preukázaná značná medziodrodová variabilita v hodnotených znakov a v reakciiach na sucho, čo poukazuje na vhodnú štruktúru testovanej kolekciiach. Kolekcie a jej jednotliví zástupcovia tak môžu poslúžiť aj v ďalších štúdiách alebo ako referenčné genotypy pri praktických aplikáciách. Hodnotné výsledky boli získané pri štúdiách využiteľnosti neinváznych metód v skríningu genotypov. V poľných experimentoch bola preukázaná dostatočná citlivosť parametrov odvodených od rýchlej kinetiky fluorescencie chlorofylu. Bolo tiež preukázané, že vybrané parametre odvodené z hyperspektrálnych záznamov umožňujú veľmi rýchlu detekciu zmien porastu vyvolanú spustením odlišných režimov zavlažovania. Hodnotenie úrodovných prvkov, aj produkcie nadzemnej biomasy v podmienkach deficitu vody ukázalo genotypovo špecifické reakcie a predstavovalo dobre východisko pre korelácie hodnotených parametrov neinváznych metód s citlivosťou identifikovanou na úrovni úrody. Pri vybraných parametroch hyperspektrálnej analýzy, rýchlej kinetiky fluorescencie chlorofylu a multispektrálne indukovanej fluorescencie bola identifikovaná pomerne dobrá korelácia s citlivosťou, resp. odolnosťou stanovenou na úrovni úrody biomasy. Obdobne, na ďalších modelových plodinách boli verifikované a optimalizované metódy pre nedeštrukčné analýzy fyziologického stavu a obsahu chlorofylu, antokyánov a flavonoidov v rastlinách v podmienkach environmentálnych stresov. Pre

jednotlivé metódy sme stanovili aj optimálne obdobie pre realizáciu meraní a identifikovali sme aj limity jednotlivých metód. Identifikovali sme tak metódy a prístupy ktoré môžu byť využité v skríningu a šľachtení na zvýšenú toleranciu na sucho, vysoké teploty a ďalšie environmentálne stresové faktory. Výsledky projektu tak môžu prispieť k rozvoju poznania a k progresu v praktickom fenotypovaní plodín. Súčasne boli vybrané metódy aplikované pri šľachtení menej rozšírených druhov pšenice, čoho výsledkom sú tri odrody prihlásené do registrácie v roku 2017 a 2019. Výsledky projektu boli publikované v početných vedeckých článkoch publikovaných v rešpektovaných vedeckých periodikách, čo prispelo k rastu vedeckej reputácie pracoviska a poľnohospodárskeho výskumu na Slovensku, budovaniu medzinárodnej spolupráce a zapojeniu oboch riešiteľských pracovísk do európskych sietí a projektov, vrátane projektov v rámci programu Horizon 2020.

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

As a part of the project, extensive series of measurements and samplings were realized within the small-plot field experiments, vegetation pot trials and laboratory experiments with large collections of wheat genotypes from the Slovak National Genebank at NAFC-RIPP Piestany and from the international partner institutions. The aim was to test different phenotyping approaches in collections of genotypes having sufficient variability of desired traits. In addition, smaller experiments with other agricultural crops and model plants were performed (lettuce, barley, etc.). The complex database of the phenotypic traits was created, enabling detailed physiological characterization of testing collections of genotypes of different wheat taxones and geographic provenance, including yield characteristics, growth, leaf traits and stomatal responses at optimum and water limited conditions. The collection created within the project was characterized by a huge genotypic variability of assessed traits as well as responses to drought, which confirmed the appropriate structure of tested collections. Thus, the whole collections as well as the individual genotypes can be useful in further studies, breeding or they can serve as the reference genotypes in practical applications. Valuable results were achieved in studies of applicability of non-invasive methods in genotype screening. In field experiments, a sufficient sensitivity of the parameters derived from the rapid chlorophyll fluorescence kinetics was observed. In similar, it was shown that the selected parameters derived from the hyperspectral reflectance records enable a very fast detection of the canopy or plants changes induced by the change of irrigation regime. Assessment of the yield components and the biomass production at the different level of water supply enabled to identify the genotype-specific responses, and the data represented a good background for correlation analyses of the parameters based on non-invasive methods with the crop sensitivity assessed by the growth and yield traits. In several parameters based on spectral reflectance ratios, fluorescence kinetics, multispectrally induced fluorescence and infra-red imaging, a good level of correlation with the drought susceptibility (or tolerance) based on grain and biomass yield was observed in our experiments. In similar in several different model crops, the methods for non-invasive assessment of plant physiological status and the leaf chlorophyll, flavonoid and anthocyanin contents in environmental stress conditions were verified and optimized. For individual methods, we identified the optimum growth stage or time interval of the measurements and the limitations of individual methods were described. Thus, we have identified the methods and approaches which can be useful in screening and breeding focused on improving tolerance to drought, high temperature and other environmental stress factors. The results of the project can contribute the development of the scientific knowledge in this area, as well as to the progress in practical applications of crop phenotyping. In addition, some of the methods were applied in the selection and breeding process, leading to release three new candidate genotypes of less frequent wheat species, which applications for registration were submitted in 2017 and 2019. The results of the project were published in numerous scientific papers in reputable international peer-reviewed journals, which contributed to increase of reputation of the institutions involved as well as of the agricultural research in Slovakia, building international cooperation and involvement of both research teams involved in international networks and projects including projects of the Horizon 2020 programme.