

Působení sucha na fyziologický stav cukrové řepy a možnosti využití pomocných prostředků

EFFECT OF DROUGHT ON PHYSIOLOGICAL STATE OF SUGAR BEET AND POSSIBILITY OF ADJUVANT USE

Kamil Kraus, Helena Hniličková, Martin Zelený, František Hnilička
Česká zemědělská univerzita v Praze

V důsledku změny klimatu se predikuje snížení výnosů polních plodin. Spolu s nárůstem světové populace, kdy odhady k roku 2050 jsou 9 až 10 miliard lidí, je zřejmé, že zajistit dostatek zdrojů potravy pro lidi a hospodářská zvířata bude stále náročnější úkol ve všech oblastech zemědělské produkce (1). Globální oteplování, srážkové anomálie, degradace půdotvorných procesů, minerální disbalance, zasolování a řada dalších vlivů vyvolává u rostlin komplex abiotických stresů.

Působení vodního stresu na fyziologické procesy cukrové řepy

Cukrová řepa patří mezi relativně tolerantní rostliny k horkým, suchým a mírně slaným podmínkám. Přesto je její produkce často omezena vlivy prostředí, které ovlivňují rychlost fotosyntézy, zapojení porostu, růst kořenu a akumulaci sacharosu. K těmto vlivům patří nedostatečné množství vody, teplo, chlad, zasolení, těžké kovy a UV záření (2, 3). Délka expozice suchu a jeho závažnost v závislosti na genotypu může snížit u cukrovky výnos o 15–20 % (4). Dopad změn klimatu byl již prokázán v posunu fenologických fází a agrotechnických termínů pěstování cukrové řepy v podmínkách Česka (5).



Primární reakcí rostlin vystavených stresu ze sucha je zastavení růstu v důsledku ztráty buněčného turgoru a omezení prodloužovacího růstu buněk (6). V raných fázích vývoje cukrové řepy vodní stres snižuje asimilační plochu (7) a u starších listů dochází k rychlejšímu stárnutí a opadu (8). Snížení listové plochy omezuje ztráty vody transpirací, ale zároveň vede k omezení výnosu v důsledku nižší fotosyntézy (9). Limitace fotosyntézy bývá rozlišována na stomatální a nestomatální. V důsledku sucha klesá asimilace CO₂ kvůli uzavírání průduchů. Výsledkem je, že se snižuje koncentrace CO₂ v chloroplastech, což má za následek:

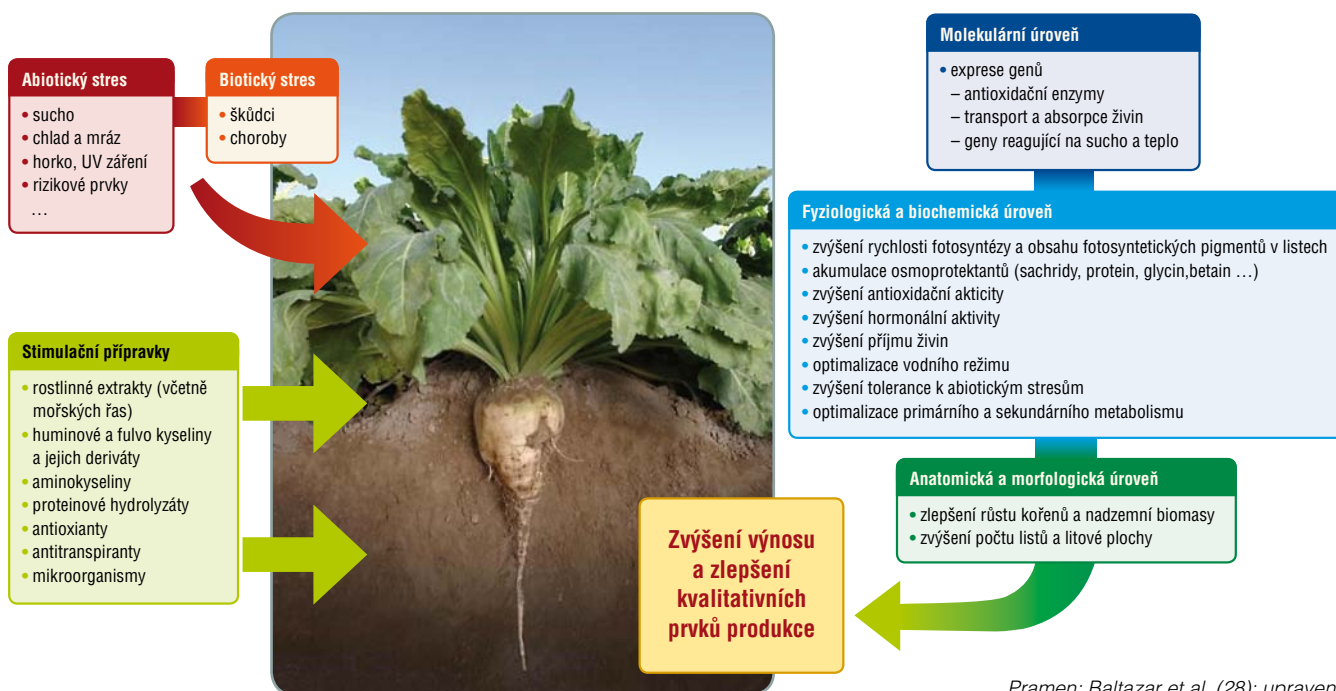
- a) snížení fotochemického výtěžku reakčních center fotosystému II (PSII) a následně zvýšení tepelné disipace excitovaných elektronů zachycených v PSII;
- b) pokles aktivity některých enzymů, např. sacharosy fosfát syntázy a nitrát reduktázy;
- c) zvýšení oxygennační aktivity RUBISKO a snížení obsahu ribulosy 1,5-bisfosfátu (10).

V řadě prací se uvádí vliv deficitu vody na fotosyntézu a obsah chlorofylu u cukrové řepy (4, 9, 11). Fotosyntetický aparát řepy vykazuje vysokou míru tolerance k fotoinhibici díky ochrannému mechanismu spojenému s nefotochemickým zhášením. Těžká dehydratace snižuje efektivní kvantový výtěžek fotosystému PSII v důsledku poruch v přenosu energie a poškození reakčních center fotosystému (4, 12).

Během deficitu vody dochází ke kumulaci reaktivních forem kyslíku (ROS). Molekuly ROS vyvolávají oxidační stres a zároveň fungují jako významné signální molekuly zapojující se do aklimatizačních procesů během stresu (13). ROS způsobují peroxidaci lipidů, která ovlivňuje fotosyntézu a propustnost membrán, poškozují nukleové kyseliny a inhibují enzymy. Rostliny proto vyvinuly sofistikovaný systém vychytávání ROS, využívající jak neenzymatické (prolin, glycin betain), tak enzymatické prostředky (např. superoxiddismutáza, kataláza a peroxidázy) (14). Vyšší akumulace ROS a aktivita antioxidantních enzymů v reakci na suchu a zasolení byla prokázána rovněž u cukrové řepy (3, 9, 11).

V reakci na stres rostliny aktivují mechanismy obraných reakcí, jako jsou morfologické a strukturální změny, exprese genů, syntéza hormonů a osmoticky aktivních látek ke zmírnění dopadů stresu (15). Významnou roli mají právě osmoticky aktivní látky (kompatibilní soluty), jejichž jednou z funkcí je prostřednictvím osmoregulace udržet turgor v rostlinách a optimalizovat příjem vody. Akumulace osmoprotektantů prolinu a glycin betainu koreluje s vodním režimem cukrové řepy (9).

Obr. 1. Účinky stimulačních přípravků na různých úrovních



Pramen: Baltazar et al. (28); upraveno

Jako indikátor stresu účinkuje aminokyselina prolin, k jejíž mnohanásobné akumulaci dochází v období sucha. U řepy byl pozorován nárůst prolinu až o 2600 %. U genotypů se zvýšenou akumulací prolinu je pozorována vyšší tolerance k suchu (11). Prolin působí zejména jako vynikající osmolyt, chelátor kovů, antioxidantní a signální molekula, stabilizuje membrány, napomáhá udržovat homeostázu ROS a při regeneraci po stresu je zdrojem energie (16). Jak uvádí CHOLUJ ET AL. (17), během dlouhodobého sucha dochází v jednotlivých orgánech řepy k rozdílné akumulaci osmoprotektantů. V nejmladších listech se akumuluje především glycin betain a sacharosa, ve starších listech sacharosa, prolin a betain a v kořenech rozpustné cukry.

Biostimulátory

V současné době je velmi aktuální otázka, jak omezit dopady působení stresorů na porosty polních plodin. Od šlechtění tolerantních kultivarů, zavádění nových druhů až po optimalizaci agrotechnických postupů. Jednou možností ze souboru všech využívaných opatření je aplikace podpůrných stimulačních přípravků (18). Ty mají obvykle různorodé chemické složení, účinkují v důsledku synergického působení různých bioaktivních molekul. Jedná se obvykle o produkty získané z různých organismů či mikroorganismů, případně i o anorganické látky, které jsou schopny zlepšit růst rostlin, jejich produktivitu a zmírnit negativní účinky stresu (19, 20). Mezi nejznámější komponenty patří minerální prvky, vitamíny, aminokyseliny a poly- i oligosacharidy, stopy přírodních rostlinných hormonů, huminové kyseliny, chitosan, fosfity, biouhel a rostlinné extrakty, včetně extraktů z řas a různých částí rostlin (21). Mohou působit přímo na fyziologii a metabolismus rostliny, umožňují zlepšit efektivitu využití vody a živin u plodin, stimulovat vývoj zvýšením primárního a sekundárního metabolismu (20). Bylo prokázáno, že biostimulanty na rostlinné bázi zlepšují růst díky přítomnosti

různých fytohormonů a dalších sekundárních metabolitů, vitamínů, antioxidantů a anorganických živin v extraktu, které mohou přímo ovlivnit růst a produkci rostlin zlepšením tolerance rostlin proti abiotickým stresům (22). Souhrnné znázornění účinku stimulačních přípravků na různých úrovních je zobrazeno na obr. 1.

Působení biostimulátorů a účinných látek u cukrové řepy

U cukrové řepy byl prokázán vliv aplikace biostimulačních přípravků, ročníku a genotypu na výnos a cukernatost (23). U cukrové řepy existuje řada pozorování vlivu foliární aplikace a primingu semen stimulačními přípravky na různé bázi či jednotlivými účinnými látkami.

Biostimulátory na bázi huminových kyselin (HK) se zvýšeným podílem aminokyselin nebo s obsahem půdních bakterií pozitivně ovlivnily výnos, kvalitu a index listové plochy (LAI) řepy. Tento efekt se projevil i v roce s nepříznivými povětrnostními podmínkami (24). Exogenně aplikované huminové kyseliny a regulátory růstu jako kyselina salicylová, kyselina gibberelová a kyselina askorbová zvyšují obsah cukru, obsah chlorofylů, optimalizují vodní režim zvýšením relativního obsahu vody (RWC) v cukrovce. Zároveň zvyšují aktivitu antioxidantních enzymů a akumulaci neenzymatických antioxidantů, jako je prolin a glycin betain, čímž přispívají k toleranci cukrové řepy k suchu (9).

Aplikace prolinu a křemíku jednotlivě nebo v kombinaci průkazně zvýšila výnos a cukernatost, obsah chlorofylů a RWC. Pozitivně byla ovlivněna antioxidantní aktivita a snížena peroxidace lipidů (25). V podmínkách zasolení, kdy se kombinuje vodní, osmotický a iontový stres, byl sledován efekt aplikace melatoninu, který je považován za růstový regulátor. Bylo prokázáno zvýšení antioxidantní aktivity, snížení akumulace ROS a zvýšení fotosyntézy (26). Aplikací chitosanu došlo u řepy k pozitivnímu ovlivnění morfologických znaků a obsahu chlorofylu (27).

Tab. 1. Příklady účinků některých stimulačních přípravků u cukrové řepy za různých podmínek

Ošetření	Pěstební podmínky	Účinek	Zdroj
Prolin a křemík (Si)	závlaha a snížená závlaha na 50 % polní kapacity	zvýšení a aktivity antioxidačních enzymů, výnosu kořenů a cukernatosti, obsahu chlorofylů a fenolických sloučenin, snížení RWC, MDA a EL	AlKahtani et al. (25)
Fulvo kyseliny	bez simulace stresu	lepší parametry klíčení; větší výnos kořenů, vyšší cukernatost	Braziene et al. (28)
Různé formy křemíku (Si)	bez simulace stresu	zvýšení výnosu a cukernatosti	Artyszak a Gozdowski (29)
Huminové a fulvo kyseliny	bez simulace stresu	zvýšení intenzity růstu, výnosu a cukernatosti	Wilczewski et al. (30)
Huminové kyseliny	bez simulace stresu	zlepšení morfologie kořenu	Barone et al. (31)
Fullerenol C ₆₀ (OH) ₂₄	stres suchem	snížení účinků oxidačního stresu	Borišev et al. (32)
Proteinové hydrolyzáty	bez simulace stresu	zvýšení intenzity růstu	Jolayemi et al. (33)

Další příklady použití stimulačních přípravků u cukrové řepy jsou uvedeny v tab. I.

Výzkum působení různých účinných látek a jejich kombinací napříč pěstovanými druhy plodin se velmi rozvíjí. Jejich účinky ovlivňují zejména aktivitu antioxidačních enzymů, funkci fotosyntetického aparátu, hormonální metabolismus, optimalizují vodní režim, udržují homeostázu vnitřního prostředí a stabilizují buněčné struktury. Z popsaných příkladů vyplývá významný potenciál v boji proti dopadům sucha prostřednictvím stimulačních prostředků na různé bázi. Kombinace vhodných genotypů, optimálních agrotechnických zásahů, včetně výživy, ochrany a využívání pomocných přípravků může být jednou z cest, jak i ve složitých podmínkách prostředí docílit optimální produkce.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za finanční podpory projektu SV22-3-21110.

Souhrn

Měnící se klima významně ovlivňuje zemědělskou produkci. Sucho zhoršuje fyziologický a metabolický stav cukrové řepy, a tím negativně ovlivňuje kvantitativní a kvalitativní faktory produkce. Citlivě je zasažen fotosyntetický proces, dochází k oxidačnímu stresu, narušen je vodní režim a růst rostliny. Působení stimulačních prostředků různého původu pomáhá rostlinám překonat období stresu. Jejich působení zasahuje do obranných mechanismů rostlin, ovlivňuje aktivitu antioxidačních enzymů, funkci fotosyntetického aparátu, hormonální metabolismus a optimalizuje vodní režim. Kombinace vhodných genotypů, optimálních agrotechnických zásahů, včetně výživy, ochrany a využívání pomocných přípravků může být jednou z cest jak, i ve složitých podmínkách prostředí docílit optimální produkce.

Klíčová slova: vodní stres, *Beta vulgaris* L., fotosyntéza, osmoregulace, stimulace.



Literatura

- GODOY, F. ET AL.: Abiotic Stress in Crop Species: Improving Tolerance by Applying Plant Metabolites. *Plants*, 10, 2021 (2), s. 186.
- OBER, E. S.; RAJABI, A.: Abiotic Stress in Sugar Beet. *Sugar Tech.*, 12, 2010 (3), s. 294–298.
- YOLCU, S. ET AL.: An Insight into the Abiotic Stress Responses of Cultivated Beets (*Beta vulgaris* L.). *Plants*, 11, 2022 (1), s. 12.
- CHOLUJ, D. ET AL.: Assessment of the physiological responses to drought in different sugar beet genotypes in connection with their genetic distance. *Journal of Plant Physiology*, 171, 2014 (14), s. 1221–1230.
- HÁJKOVÁ, L. ET AL.: Vliv klimatické změny na termíny setí, vzcházení a sklizně cukrové řepy. *Listy cukrov. řepář.*, 136, 2020 (7–8), s. 256–261.
- IMADI, S. R. ET AL.: Water stress: types, causes and impact on plant growth and development. In AHMAD, P. ED.: *Water Stress and Crop Plants*. 1th ed., Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 2016, s. 343–355, ISBN 978-1-119-05445-0.
- CHOLUJ, D. ET AL.: Growth and dry matter partitioning in sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.) under moderate drought. *Plant Soil Environ.*, 50, 2004 (6), s. 265–272.
- OBER, E. S. ET AL.: Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. *Field Crops Res.*, 91, 2005 (2), s. 231–249.

9. KHODADADI, S. ET AL.: Influence of Foliar-Applied Humic Acid and Some Key Growth Regulators on Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Under Drought Stress: Antioxidant Defense System, Photosynthetic Characteristics and Sugar Yield. *Sugar Tech.*, 22, 2020 (5), s. 765–772.
10. CORNIC, G.; MASSACCI, A.: Leaf Photosynthesis Under Drought Stress. In BAKER, N. R. ED.: *Photosynthesis and the Environment. Advances in Photosynthesis and Respiration.*, 5 vol., Dordrecht, Springer Netherlands, 1996, s. 347–366, ISBN 978-0-306-48135-2.
11. ISLAM, M. J. ET AL.: Physiological and Biochemical Changes in Sugar Beet Seedlings to Confer Stress Adaptability under Drought Condition. *Plants*, 9, 2020 (11), s. 1511.
12. WILHELM, C.; SELMAR, D.: Energy dissipation is an essential mechanism to sustain the viability of plants: The physiological limits of improved photosynthesis. *Journal of Plant Physiology*, 168, 2011 (2), s. 79–87.
13. CHOUDHURY, F. K.: Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *Plant Journal: for Cell and Molecular Biology*, 90, 2017 (5), s. 856–867.
14. FOYER, C. H.; SHIGEOKA, S.: Understanding Oxidative Stress and Antioxidant Functions to Enhance Photosynthesis. *Journal of Plant Physiology*, 155, 2011 (1), s. 93–100.
15. YANG, X. ET AL.: Response Mechanism of Plants to Drought Stress. *Horticulturae*, 7, 2021 (3), s. 50.
16. KAUR, G.; ASTHIR, B.: Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biol. Plant.*, 59, 2015 (4), s. 609–619.
17. CHOLUJ, D. ET AL.: Influence of long-term drought stress on osmolyte accumulation in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants. *Acta Physiol. Plant.*, 30, 2008 (5), s. 679–687.
18. BULGARI, R.; FRANZONI, G.; FERRANTE, A.: Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 9, 2019 (6), s. 306.
19. ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.: Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant. Sci.*, 9, 2018, s. 1655.
20. SHAHRAJABIAN, M. H. ET AL.: Biostimulants Application: A Low Input Cropping Management Tool for Sustainable Farming of Vegetables. *Biomolecules*, 2021, 11:698, doi: 10.3390/biom11050698.
21. PAUL, K. ET AL.: Understanding the Biostimulant Action of Vegetal-Derived Protein Hydrolysates by High-Throughput Plant Phenotyping and Metabolomics: A Case Study on Tomato. *Front. Plant. Sci.*, 10, 2019, s. 47.
22. ALI, Q. ET AL.: Plant-Based Biostimulants and Plant Stress Responses. In HASANUZZAMAN, M. (ED.): *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I*. Singapore: Springer, 2020, s. 625–661, ISBN 9789811521560.
23. ERNST, D. ET AL.: Úroda a cukornatost' repy cukrovej vplyvom ročníka, odrôd a biostimulátorov. *Listy cukrov řepář.*, 138, 2022 (11), s. 364–368.
24. RAŠOVSKÝ, M. ET AL.: Quantity and Quality Changes in Sugar Beet (*Beta vulgaris* Provar. Altissima Doel) Induced by Different Sources of Biostimulants. *Plants*, 11, 2022 (17), s. 2222.
25. ALKAHTANI, M. D. F. ET AL.: Evaluation of Silicon and Proline Application on the Oxidative Machinery in Drought-Stressed Sugar Beet. *Antioxidants*, 10, 2021 (3), s. 398.
26. LIU, L. ET AL.: Exogenous application of melatonin improves salt tolerance of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings. *Acta Physiol. Plant.*, 44, 2022 (6), s. 57.
27. WARQA; AL-SHEIKH, A. M. S.: The Effect of Exogenous Application of Chitosan in Beta Vulgaris (Beet) Drought Stressed Plants. *J. Pharm. Negat. Results*, 13, 2022 (3), s. 703–708.
28. BALTAZAR, M. ET AL.: Recent Advances in the Molecular Effects of Biostimulants in Plants: An Overview. *Biomolecules*, 11, 2021 (8), s. 1096.



28. BRAZIENE, Z. ET AL.: The influence of fulvic acid on spring cereals and sugar beets seed germination and plant productivity. *Environmental Research*, 195, 2021, s. 110824.
29. ARTYSZAK, A.; GOZDOWSKI, D.: Influence of Various Forms of Foliar Application on Root Yield and Technological Quality of Sugar Beet. *Agriculture*, 11, 2021(8), s. 693.
30. WILCZEWSKI, E. ET AL.: Response of sugar beet to humic substances and foliar fertilization with potassium. *Journal of Central European Agriculture*, 19, 2018 (1), s. 153–165.
31. BARONE, V. ET AL.: Molecular and Morphological Changes Induced by Leonardite-based Biostimulant in *Beta vulgaris* L. *Plants*, 8, 2019 (6), s. 181.

32. BORIŠEV, M. ET AL.: Drought Impact Is Alleviated in Sugar Beets (*Beta vulgaris* L.) by Foliar Application of Fullerene Nanoparticles. *PLOS ONE*, 11, 2016 (11), s. 0166248.
33. JOLAYEMI, O. L. ET AL.: Protein-Based Biostimulants to Enhance Plant Growth—State-of-the-Art and Future Direction with Sugar Beet as an Example. *Agronomy*, 12, 2022 (12), s. 3211.

Kraus K., Hniličková H., Zelený M., Hnilička F.: Effect of Drought on Physiological State of Sugar Beet and Possibility of Adjuvant Use

The changing climate has a significant impact on agricultural production. Drought worsens the physiological and metabolic state of sugar beet and thus negatively affects the quantitative and qualitative factors of production. The photosynthetic process is affected, oxidative stress occurs, the water regime and plant growth are impaired. The action of stimulants of various origins helps plants to overcome periods of stress; this action interferes with plant defence mechanisms, influences the activity of antioxidant enzymes, the function of the photosynthetic apparatus, hormonal metabolism and optimises the water regime. The combination of suitable genotypes, optimal agrotechnical interventions, including nutrition, protection and the use of adjuvant products can be one of the ways to achieve optimal production even under difficult environmental conditions.

Key words: water stress, *Beta vulgaris* L., photosynthesis, osmoregulation, stimulation.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Kamil Kraus, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika, e-mail: krausk@af.czu.cz