

MIMOKOŘENOVÁ APLIKACE ZINKU SNIŽUJE RIZIKO STRESU SUCHEM U MÁKU SETÉHO (*PAPAVER SOMNIFERUM* L.)

*Foliar application of zinc reduces the risk of drought stress on poppy (*Papaver somniferum* L.)*

Petr ŠKARPA¹, Rostislav RICHTER¹, Petr HLAVINKA^{1,2}, Miroslav TRNKA^{1,2}

¹Mendelova univerzita v Brně, ²Centrum výzkumu globální změny AV ČR

Summary: Especially in arid regions, drought stress is considered as one of the main reasons for yield reduction of plant. Zinc, as one of the essential microelements in crop plant, plays a crucial role in resistance to drought stress. The objective of the vegetation experiment established in 2011-2015 on locality Žabčice was to explore the effect of the foliar zinc application on the yield of poppy in interactions with weather conditions observed years. Effect of zinc foliar application was significantly dependent on the average daily air temperature ($r = -0.936$). Foliar application of zinc increases production of poppy seed, in the range from 6.9 to 25.5 % and the efficiency of zinc foliar fertilization increases with a widening deficit rainfall calculated as the difference between the precipitation sum and reference evapotranspiration of poppy growing season ($r = -0.9072$). In general, the results of the present study indicate that usage of zinc foliar application reduces the harmful effects of water deficit stress and increases resistance to drought stress in poppy plant.

Keywords: *poppy, foliar nutrition, zinc, yield, drought, precipitation, evapotranspiration*

Souhrn: Zejména v aridních oblastech je stres vyvolaný suchem považován za jeden z hlavních důvodů vedoucí k poklesu výnosů pěstovaných plodin. Zinek jako významný mikrobiogenní prvek sehrává klíčovou úlohu při odolnosti rostlin proti stresu vyvolaného suchem. Cílem vegetačního pokusu založeného v letech 2011 – 2015 na lokalitě Žabčice bylo zjištění vlivu mimokořenové výživy zinkem na výnos máku setého v interakci s průběhem počasí jednotlivých let. Efekt mimokořenové aplikace zinku byl významně závislý na průměrné denní teplotě vzduchu ($r = -0.936$). Listová aplikace zinkem zvýšila produkci semene máku v rozpětí od 6,9 do 25,2 %. Efektivita mimokořenového přihnojení zinkem se zvyšuje s prohlubujícím se deficitem srážek vypočítaným jako rozdíl sumy srážek a referenční evapotranspirace za období vegetace máku ($r = -0.9072$). Výsledky této studie ukazují, že použití zinku aplikovaného na list snižuje nepříznivé účinky stresu vyvolaného deficitem vody a zvyšuje tak odolnost rostlin máku proti suchu.

Klíčová slova: *mák setý, mimokořenová výživa, zinek, výnos, srážky, evapotranspirace, sucho*

Úvod

Zinek se jako jeden ze základních makrobiogenních prvků významně zapojuje do metabolismu rostlin. Jeho působení v rostlině je spojeno především s tvorbou a aktivací řady enzymů účastnících se metabolismu uhlikatých látek (např. karboanhydráz, aldoláz), metabolismu lipidů (např. fosfolipáz), auxinu, nukleových kyselin (např. RNA polymeráz), proteinů (např. karboxypeptidáz) a respirace (Mengel et al. 2001, Tsonev, Lidon 2012). Velký význam má tento prvek také pro zachování struktury biomembrán a pro detoxikaci reaktivních forem kyslíku (Rehman et al. 2012). Jeho význam pro rostliny je v souvislosti s výše uvedenými funkcemi v metabolismu velký a výživa tímto prvkem ovlivňuje nejen výnos rostlin (Torun et al. 2001, Potarzycki, Grzebicz 2009, Bybordí, Mamedov 2010, Al-Doori 2014) a i jejich kvalitu (Mousavi et al. 2007, Bybordí, Mamedov 2010, Saadati et al. 2013).

V souvislosti s katalytickými úlohami zinku, které plní ve spojení s enzymatickými systémy, je jeho role v rostlinách spojována rovněž s tolerancí k různým abiotickým stresům, mezi které patří sucho (Sadoogh et al. 2014, Eslami, Dehghanzadeh 2014, Karim et al. 2012). Mechanizmy, jakým způsobem se zinek podílí na toleranci rostlin vůči tomuto stresu, nejsou zcela objasněny. Předpokládá se jeho vliv na efektivitu rostlin při využívání vody (Karim et al. 2012) ve vztahu k osmotickému potenciálu a intenzitě transpirace (Sadoogh et al. 2014) zprostředkovaný právě jeho zapojením do stavby a aktivace řady enzymů (Andreini et al. 2009, Upadhyaya et al. 2013).

Na základě pětiletých výsledků polních pokusů v aridní oblasti si autoři příspěvku kladou za cíl vyhodnotit účinek foliární aplikace zinku v porostech máku na výnos této plodiny v závislosti na konkrétních povětrnostních podmínkách.

Materiál a metodika

V přesných polních maloparcelkových pokusech provedených v letech 2011 - 2015 na pozemku ŠZP Mendelovy univerzity v Brně v Žabčicích (49°00'57" s. š., 16°37'55" v. d.) byl sledován vliv mimokořenové aplikace zinku v interakci s vývojem povětrnostních podmínek na výnos semene máku jarního.

V pokusu s mákem (odrůda Major) byl zinek aplikován formou mimokořenové výživy ve fázi 8 -

10 listů v dávkách od 150 - 250 g Zn.ha⁻¹ ve 300 l vody. Účinek mimokořenové aplikace na výnos semene máku byl vypočítán jako rozdíl produkce semen varianty zinkem hnojené a produkce dosažené na variantě kontrolní a vyjádřen v relativních hodnotách (%) a koeficientem účinnosti Zn-hnojení (Zn_{ef}) vypočítaným jako podíl výnosu kontrolní varianty a výnosu varianty s aplikací zinku (Cakmak et al. 1999).

Tab. 1: Termín setí, aplikace Zn a sklizně v jednotlivých letech experimentu

Pracovní operace	2011	2012	2013	2014	2015
Termín setí	16. březen	7. březen	9. březen	25. únor	6. březen
Termín aplikace zinku	6. květen	14. květen	21. květen	6. květen	25. květen
Termín sklizně	4. srpen	2. srpen	5. srpen	2. srpen	21. červenec
Délka vegetační doby (dny)	141	148	149	158	137

Vývoj počasí jednotlivých let pokusu, který byl hodnocen za období vegetace máku (tab. 1), byl charakterizován srážkovým úhrnem, průměrnou teplotou vzduchu, hodnotou referenční evapotranspirace (ET_0) vypočítanou dle metody Penman-Monteith (Allen et al. 1998) s využitím denního úhrnu globální radiace, minimální a maximální denní teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a rychlosti větru a hodnotou aktuální evapotranspirace (ET_a) jarní plodiny odhadnutou pomocí modelu SoilClim (Hlavinka et al. 2011), která zohledňuje rozdílný charakter jarní plodiny oproti referenčnímu travnímu krytu, dostupnost vody v půdě (přes

výpočet rozdílu mezi srážkami a odhadovanou evapotranspirací) a retenční schopnost půdy pro podmínky ŠZP Žabčice. Uvedené hodnoty jsou prezentovány v tabulce 2.

Účinek mimokořenové aplikace zinku, vyjádřený nárůstem výnosu semene máku v % a koeficientem účinnosti hnojení (Zn_{ef}), byl korelován s výše prezentovanými povětrnostními charakteristikami vypočítanými za vegetační období máku (od setí do sklizně) sledovaných let.

Tab. 2: Vyjádření povětrnostních podmínek za vegetaci máku (od setí po sklizeň) ve sledovaných letech pokusu

Povětrnostní podmínky	2011	2012	2013	2014	2015
Srážkový úhrn (mm)	240	209	326	208	101
Průměrná teplota (°C)	15,7	15,8	14,3	14,8	14,3
Referenční evapotranspirace (mm)	470	496	454	470	427
Aktuální evapotranspirace (mm)	240	217	300	212	171

Výsledky a diskuze

Mimokořenová aplikace zinku zvýšila jeho obsah v rostlině a ve vztahu k tvorbě sušiny i jeho odběr porostem. V tabulce 3 jsou uvedeny odběry zinku nadzemní částí jedné rostliny máku stanovené ve fázi 8 – 13 dní po foliární aplikaci zinku.

Účinnost foliární aplikace zinku, vyjádřená navýšením jeho odběru rostlinou v % (tab. 3), významně korelovala s průměrnou denní teplotou ($r = -0,9366$, $p = 0,019$) a průměrnou relativní vlhkostí vzduchu ($r = 0,7390$, $p = 0,154$) stanovenými po jeho aplikaci. Z uvedených vztahů je patrné, že efektivita mimokořenové aplikace zinku se zvyšuje s relativní vlhkostí vzduchu, která narůstá s poklesem teploty vzduchu.

Výše výnosu máku byla mezi sledovanými ročníky velmi proměnlivá (tab. 4) a korelovala zejména s úhrnem srážek za vegetaci ($r = 0,6349$, $p = 0,250$). Z výsledků experimentu je patrné, že foliární aplikace Zn u jarního máku, podobně jako u pšenice ozimé (Torun et al. 2001, Maralian 2009), kukuřice (Potarzycki, Grzebicz 2009), řepky ozimé (Bybordí, Mamedov 2010) a slunečnice (Cerkal et al. 2011, Al-Doori 2014), pozitivně ovlivňuje výši výnosu. Přihnojení zinkem se ve sledovaném období projevilo na produkci semene máku signifikantně ($p \leq 0,05$) v letech 2012 a 2015.

Tab. 3 Odběr zinku rostlinou ($mg.rostlina^{-1}$)

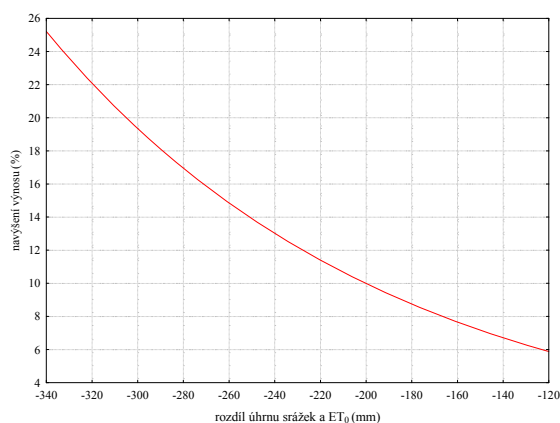
Varianta	2011	2012	2013	2014	2015
kontrolní varianta (bez aplikace)	0,137	0,098	0,091	0,113	0,292
varianta s aplikací Zn	0,164	0,114	0,156	0,195	0,317
navýšení odběru Zn rostlinou (%)	19,4	15,7	70,4	71,8	8,5

Tab 4. Výnos máku ($t \cdot ha^{-1}$), relativní navýšení výnosu (%) a účinnost Zn hnojení

Faktor	2011	2012	2013	2014	2015
Výnos na kontrolní variantě	1,566 ^a ±0,039	0,110 ^a ±0,004	1,156 ^a ±0,068	0,720 ^a ±0,035	0,229 ^a ±0,015
Výnos na variantě s aplikací Zn	1,728 ^a ±0,097	0,132 ^b ±0,005	1,236 ^a ±0,046	0,815 ^a ±0,033	0,286 ^b ±0,019
Navýšení výnosu aplikací Zn	10,3	19,7	6,9	13,1	25,2
Koeficient účinnosti Zn-hnojení (Zn_{ef})	0,91	0,84	0,94	0,88	0,80

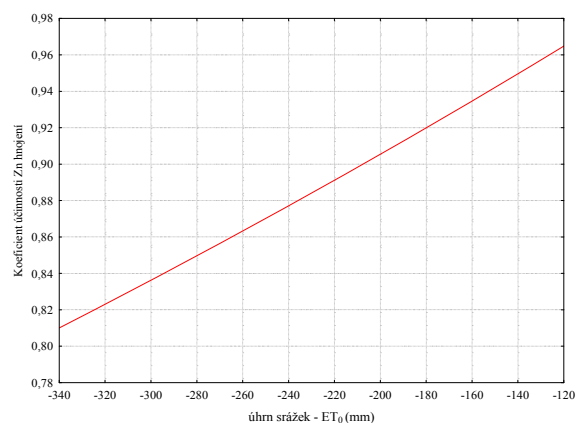
Relativní navýšení výnosu semene máku, způsobené účinkem aplikace zinku (tab. 4), bylo ve sledovaném pětiletém období velmi variabilní. Jeho úroveň nejvýrazněji korelovala s hodnotami prezentovanými jako rozdíl sumy srážek a referenční evapotranspirace (ET_0). Korelace mezi těmito charakteristikami byla signifikantně vysoká ($r = -0,9072$, $p = 0,033$). Koeficient účinnosti Zn-hnojení (Zn_{ef}), uvádějící efekt mimokořenové aplikace zinku na produkci semene, je s uvedeným vyjádřením průběhu počasí také ve velmi vysoké závislosti ($r = 0,9348$, $p = 0,020$). Prezentované

Graf 1. Závislost navýšení výnosu aplikací zinku na rozdíl sumy srážek a referenční evapotranspirace



vztahy uvádí grafy 1 a 2. Zvýšená účinnost mimokořenové aplikace Zn v suchých letech je důsledkem snížené mobility zinku v půdě (pokles vodorozpustné formy) a v návaznosti na to jeho omezeného příjmu kořenovým systémem, což potvrzují ve své práci rovněž Kafí a Rostami (2007). Také Kassab (2005) a Zafar et al. (2014) dospěli k závěrům, že použití listové aplikace zinku snižuje dopad škodlivých účinků vodního stresu a zvyšuje odolnost slunečnice a fazolu vůči stresu ze sucha.

Graf 2. Závislost účinnosti Zn-hnojení na rozdíl sumy srážek a referenční evapotranspirace



Závěr

Mimokořenová aplikace zinku pozitivně ovlivňuje výnos máku setého. Absorpce foliárně aplikovaného zinku nadzemní částí rostlin je závislá na průběhu počasí po jeho přihnojení a vyšších hodnot dosahuje v podmínkách zvýšené relativní vlhkosti vzduchu. Množství přijatého zinku aplikovaného ve fázi 8. - 10. listu však nemá průkazný vliv na produkci semene. Působení mimo-

kořenového přihnojení zinkem je prokazatelně závislé na povětrnostních podmínkách. Výsledky experimentu ukazují, že efektivita mimokořenového hnojení zinkem se zvyšuje s prohlubujícím se deficitem srážek. Na základě dalších pokusů bude vhodné testovat vliv mimokořenové aplikace zinku jako adaptačního opatření na abiotické stresy i u dalších zemědělských plodin.

Použitá literatura

- Al-Doori, S.A.M. (2014): Effect of Different Levels and Timing of Zinc Foliar Application on Growth, Yield and Quality of Sunflower Genotypes (*Helianthus annuus* L., Cimositae). College of Basic Education Researchers Journal, 13(1): 907-922.
- Andreini, C., Bertini, I., Rosato, A. (2009): Metalloproteomes: a bioinformatic approach. Accounts of Chemical Research, 42(10): 1471-1479.
- Bybordí, A., Mamedov, G. (2010): Evaluation of Application Methods Efficiency of Zinc and Iron for Canola (*Brassica napus* L.), Notulae Scientia Biologicae, 2(1): 94-103
- Cakmak, I., Kalayci, M., Ekiz, H., Braun, H. J., Yilmaz, A. (1999): Zinc deficiency as an actual problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO Science for Stability Project. Field Crops Research, 60: 175-188.
- Cerkal, R., Kamler, J., Škarpa, P., Pokorný, R., Mareček, V., Fajman, M., Muška, F. (2011): Methods of cultivation and important factors affecting the yield and quality of sunflower. In: Hughes, V. C. (Ed.): Sunflowers: Cultivation, Nutrition, and Biodiesel Uses. Nova Science Publishers, Inc., New York, 47-98.
- Eslami, M., Dehghanzadeh, H. (2014): The effect of zinc on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. Scientific Journal of Crop Science, 3(6): 61-65.

- Hlavinka, P., Trnka, M., Balek, J., Semerádová, D., Hayes, M., Svoboda, M., Eitzinger, J., Možný, M., Fischer, M., Hunt, E., Žalud, Z. (2011): Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management*, 98: 1249-1261.
- Kafi, M., Rostami, M. (2007): Yield characteristics and oil content of three safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. *J. Agricultural Research*, 5(1), 121-131.
- Karim, M., Zhang, Y.Q., Zhao, R.R., Chen, X.P., Zhang, F.S., Zou, C.Q. (2012): Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(1): 142-151.
- Kassab, O.M. (2005): Soil moisture stress and micronutrients foliar application effects on the growth and yield of mungbean plants. *Journal of Agricultural Science, Mansoura University*, 30, 247-256.
- Maralian, H. (2009): Effect of foliar application of Zn and Fe on wheat yield and quality *African Journal of Biotechnology*, 8(24): 6795-6798.
- Mengel, K., Kirkby, E.A., Kosegarten, H., Appel, T. (2001): *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Mousavi, S.R., Mohammad, G., Goudarz, A. (2007): Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(8): 1256-1260.
- Potarzycki, J., Grzebisz, W. (2009): Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant, Soil and Environment*, 55(12): 519-527.
- Rehman, H., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., Rengel, Z. (2012): Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant and Soil*, 361(1-2): 203-226.
- Saadati, S., Moallemi, N., Mortazavi, S.M.H., Seyyednejad, S.M. (2013): Effects of zinc and boron foliar application on soluble carbohydrate and oil contents of three olive cultivars during fruit ripening. *Scientia Horticulturae*, 164: 30-34.
- Sadoogh, F.S., Shariatmadari, H., Khoshgofarmanesh, A.H., Mosaddeghi, M.R. (2014): Adjusted nutrition of tomato with potassium and zinc in drought stress conditions induced by polyethylene glycol 6000 in hydroponic culture. *Journal of Science Technology of Greenhouse Culture*, 18(5):67-80.
- Torun, A., Itekin, I. G. A., Kalayci, M., Yilmaz, A., Eker, S., Cakmak, I. (2001): Effects of zinc fertilization on grain yield and shoot concentrations of zinc, boron, and phosphorus of 25 wheat cultivars grown on a zinc-deficient and boron-toxic soil, *Journal of Plant Nutrition*, 24(11): 1817- 1829.
- Tsonev, T., Lidon, F.J.C. (2012): Zinc in plants-An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(4): 322-333.
- Upadhyaya, H., Dutta, B.K., Panda, S.K. (2013): Zinc modulates drought induced biochemical damages in tea (*Camellia sinensis* (L) O Kuntze). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(27): 6660-6670.
- Zafar, S., Nasri, M., Moghadam, H.R.T., Zahedi, H. (2014): Effect of zinc and sulfur foliar applications on physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water deficit stress. *International Journal of Biosciences*, 5(12): 87-96.

Kontaktní adresa

doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D., Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, AF, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00, Brno, tel: +420 545 133 345, mail: petr.skarpa@mendelu.cz



Tato publikace vznikla na Mendelově univerzitě v Brně za podpory projektu IGA AF MENDELU č. TP 7/2015 podpořeného z prostředků účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum, kterou poskytlo MŠMT v roce 2015 a za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I, číslo projektu LO1415.