

WATER REGIME OF MAIZE (*ZEA MAYS* L.) IN DIFFERENT MOISTURE CONDITIONS

VODNÍ PROVOZ KUKUŘICE V RŮZNÝCH VLÁHOVÝCH PODMÍNKÁCH

Klimesová J.¹, Středa T.¹, Kučera J.², Hajzler M.¹

¹Department of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno, Czech Republic

²Environmental Measuring Systems, Turistická 5, 621 00 Brno, Czech Republic

E-mail: jana.klimesova@mendelu.cz

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) water regime was monitored in the pot experiment in four variants of irrigation. The aim of the study was to identify the influence of air temperature, drought and intensity of solar radiation on the plant water regime. Potential evapotranspiration calculated according to Penman-Monteith transpiration equation was compared with actual plant transpiration in individual variants. Transpiration rate (sapflow) was measured by stem heat balance (SHB) method. Statistical significant correlation was found between the sapflow and global radiation or sapflow and air temperature respectively. Statistical significant difference between transpiration of plant growing under different irrigation variants was also confirmed.

Key words: sapflow, maize, water stress, transpiration

Acknowledgments: This research was supported by projects of the Faculty of Agronomy Mendel University in Brno: TP 10/2012.

ÚVOD

V případě nástupu nepříznivých podmínek (nedostatek vody, vysoké teploty, zasolení, chlad) je rostlina schopna regulovat hospodaření s vodou resp. transpirací pomocí obranných mechanismů (uzavírání průduchů a zpomalení toku vody xylémem) a adaptovat se na danou situaci. Pokud je změna podmínek razantní nebo trvá příliš dlouho, jsou rostliny stresovány. V současnosti se jeví nedostupnost půdní vody resp. půdní sucho a vysoké teploty vzduchu jako aktuální problém provázející měnící se klima, protože abiotický stres je u zdravých rostlin hlavní příčinou snížení produkce.

Cílem práce bylo identifikovat nástup vodního stresu u kukuřice seté (*Zea mays*, L.) při různých úrovních zásobení vodou a kvantifikovat vliv měřených faktorů (teplota a vlhkost vzduchu, půdní vodní potenciál, vlhkost půdy, globální solární radiace) na výkon transpirace pomocí měření toku xylémové šťávy (sapflow).

MATERIÁLY A METODIKA

Nádobový pokus byl založen v přírodních podmínkách s omezením přístupu srážek. Ve čtyřech variantách byl na základě pedologického rozboru půdy udržován rozdílný závlahový režim na úrovni objemové vlhkosti půdy 23 % - silný stres; 25 % - středně silný stres; 30 % - mírný stres a 35 % - kontrola (plná vodní kapacita – 39 %, bod vadnutí – 21 %). Do každé nádoby o objemu 269 dm³ bylo vyseto 6 rostlin kukuřice seté (linie 2087 - šlechtitelský materiál CEZEA Čejč). U rostlin byly sledovány fenologické údaje a v pozdější fázi pokusu změny v habitu jedinců následkem působení stresu.

Transpirace byla monitorována pomocí kontinuálního měření toku xylémové šťávy (sapflow). Měřicí systém EMS 62 (EMS Brno, CZ) využívá metody „stem heat balance“ (SHB) (KUČERA *et al.*, 1977). SHB je nedestruktivní, citlivá metoda, založená na fyzikálních vlastnostech vody. Měřicí systém je složen z páru termočlánků, které jsou instalovány v určité vzdálenosti od sebe na stonku rostliny. V místě upevnění termočlánků je stonka po celém obvodu izolována válcovým těsněním, které zároveň plní funkci topného tělesa a změna teplot je snímána vnitřním čidlem. Celá sada je obalena radiačním krytem (obr. 1). Elektronický systém umožňuje udržovat proměnlivým výkonem (P) konstantní rozdíl teplot (dT) (přičemž P je pak přímo úměrný intenzitě proudu). Hodnoty transpiračního toku (Q) jsou udávány v jednotkách [kg.h⁻¹]. Měřeny byly vždy dvě rostliny z každé varianty od fáze BBCH 50 –metání lat až do fáze BBCH 89 – plná zralost.

Paralelně byly monitorovány (agro)meteorologické prvky: relativní vlhkost vzduchu [%] a teplota [°C] vzduchu v desetiminutovém chodu čidly HOBO RH Temp (Onset Computer Corporation) s přesností měření ± 0,7 °C a rozlišením ± 0,4 °C, objemová vlhkost půdy [%] automatickými elektromagnetickými čidly VIRRIB (AMET Velké Bílovice) s přesností měření ± 1 % ve čtvrt hodinovém kroku a teplota [°C] půdy odporovými snímači Pt100 ve čtvrt hodinovém kroku.

Globální solární radiace [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] byla měřena čidly LI-COR (LI-COR USA) v patnáctiminutovém kroku. Půdní vodní potenciál [-bar] byl detekován sádrovým bločkem s napojením na datalogger MicroLog SP (EMS Brno) v desetiminutovém kroku.

Pokusná data byla zpracována v programu MINI32 (EMS Brno) a statisticky vyhodnocena v programu STATISTICA 7 (StatSoft Inc., Tulsa, OK). Byla provedena korelační analýza, analýza variance a následné testování Tukeyovým LSD testem.

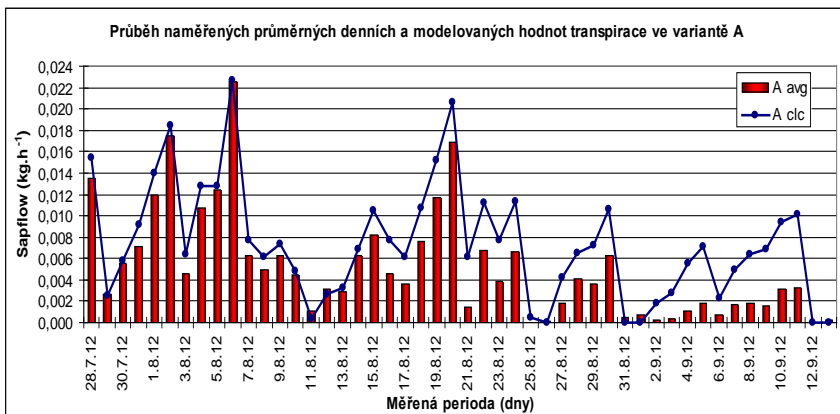
Obr. 1: Měření sapflow kukuřice čidly EMS 62



VÝSLEDKY A DISKUZE

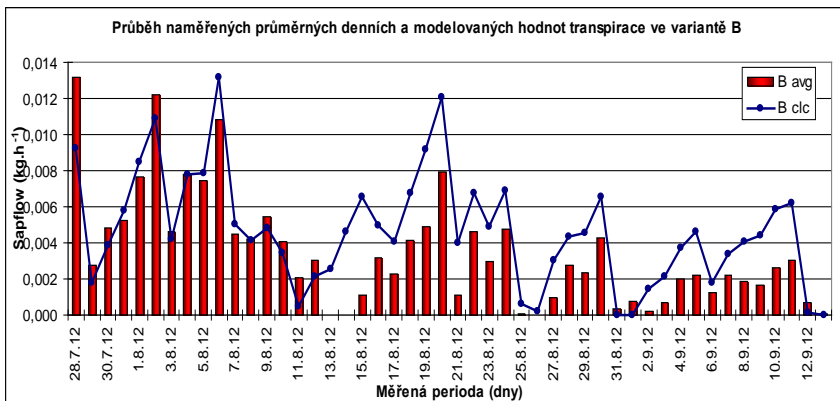
Ve variantě A (optimálně zavlažovaná varianta), je přirozený pokles intenzity transpirace viditelný až během zářijových dní, kdy dochází ke zrání, stárnutí rostlin a zvyšování sušiny (Obr. 2). Ve variantě B (lehký, dočasný stres) se projevil lehký stres až v polovině vegetace (Obr. 3). Průběh transpirace má obdobnou tendenci jako v případě varianty A, ale absolutní dosahované průměrné denní hodnoty transpirace jsou zřetelně nižší. Ačkoliv 30 % objemové vlhkosti půdy zdaleka nedosahuje bodu vadnutí na úrovni 20 %, vodní potenciál půdy klesal do silně záporných hodnot a rostliny trpěly suchem (měřeno pomocí sádrového bločku – EMS Brno).

Obr. 2: Průběh naměřených průměrných denních a modelovaných hodnot transpirace ve variantě A (kontrola – vlhkost půdy 35 % obj.)

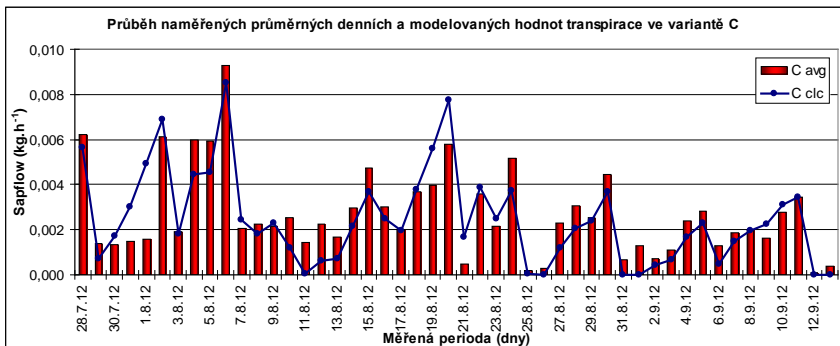


vysvětlivky: měřené hodnoty - avg
modelované hodnoty - clc

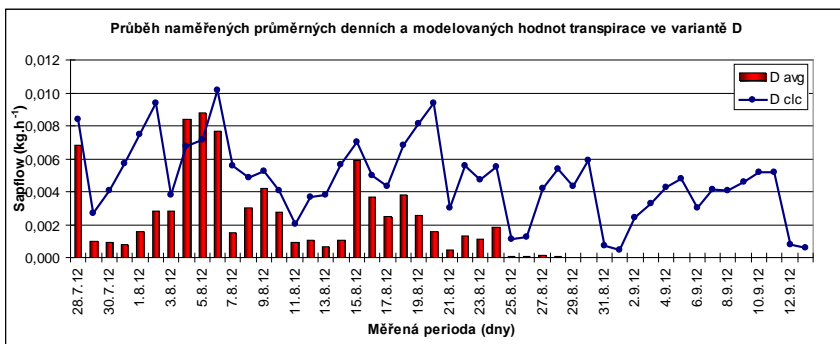
Obr. 3: Průběh naměřených průměrných denních a modelovaných hodnot transpirace ve variantě B (mírný stres - vlhkost půdy 30 % obj.)



Obr. 4: Průběh naměřených průměrných denních a modelovaných hodnot transpirace ve variantě C (střední stres – vlhkost půdy 25 % obj.)



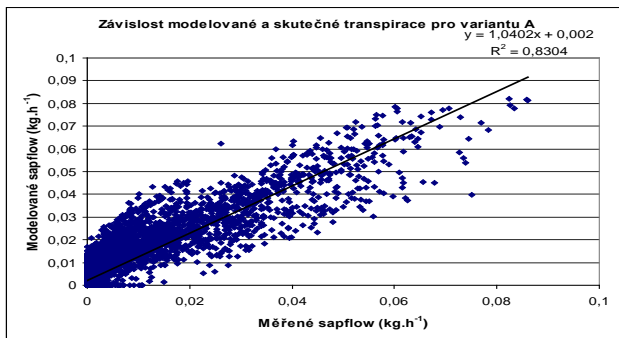
Obr. 5: Průběh naměřených průměrných denních a modelovaných hodnot transpirace ve variantě D (těžký stres – vlhkost půdy 23 % obj.)



Ve variantě C (Obr. 4) se projevil stálý vodní stres. Konstantní vlhkost na úrovni 25 % VVK?? v nádobách byla udržována už před instalací čidel pro monitoring sapflow. Rostliny tak byly stresovány po celou dobu vegetace a pravděpodobně se zde uplatnily některé obranné mechanismy. Absolutní hodnoty transpirace jsou nižší než ve variantě B ale nedochází k výraznějším výkyvům. Transpirace rostlin z nádoby D (Obr. 5; permanentní těžký stres suchem) svědčí o vodním stresu již v průběhu fáze kvetení. Změny byly pozorovány i na habitu rostlin, kdy docházelo k předčasnému usychání starších listů a stáčení mladých listů. Ačkoliv byly hodnoty transpirace zpočátku srovnatelné s variantou C, rostliny následkem stresu začaly odumírat už v průběhu měsíce srpna.

Průměrné denní hodnoty sapflow rostlin z každé varianty byly porovnány s hodnotami modelovaného sapflow. Modelová transpirace byla vypočtena na základě parametrizované rovnice vycházející z rovnice Penman-Monteith pro výpočet potenciální evapotranspirace a měřených meteorologických prvků (software MINI32). Parametrizace byla provedena z dat z období kvetení rostlin (BBCH 60). Závislost modelované a skutečné transpirace ve variantě A zobrazuje Obr. 6.

Obr. 6 regresní přímka lineární závislosti modelované a skutečné transpirace



Měřená perioda během doby vegetace kukuřice byla rozdělena do třech období dle projevu změn v transpiraci (vypočtená versus měřená) a fenologické fázi rostlin (27.7.–6.8.; 7.8.–24.8.; 25.8.–14.9.). Závislost transpirace na faktorech prostředí (globální radiace, teplota vzduchu, sytostní doplněk, objemová vlhkost půdy) byla hodnocena pro každé období zvlášť, aby byla těsněji postihnuta variabilita sledovaných prvků. Z Tab 1. lze pozorovat nejtěsnější závislost transpirace na teplotě vzduchu a radiaci u všech variant v období 1. V průběhu vegetace se závislost snižuje nejvíce u stresovaných variant, avšak v období 3 dochází k zvýšení závislosti na radiaci i teplotě. Průkaznou závislost radiace a sapflow rovněž uvádí OGUNTUNDE (2005). Závislost sapflow na uvedených meteorologických prvcích klesá se zvyšujícím se vodním stresem dle variant. Lze se domnívat, že se na variabilitě hodnot transpirace pak více podílí vodní deficit. Neprůkazné hodnoty korelačního koeficientu pro variantu D jsou způsobeny ukončením vegetace rostlin během období 3.

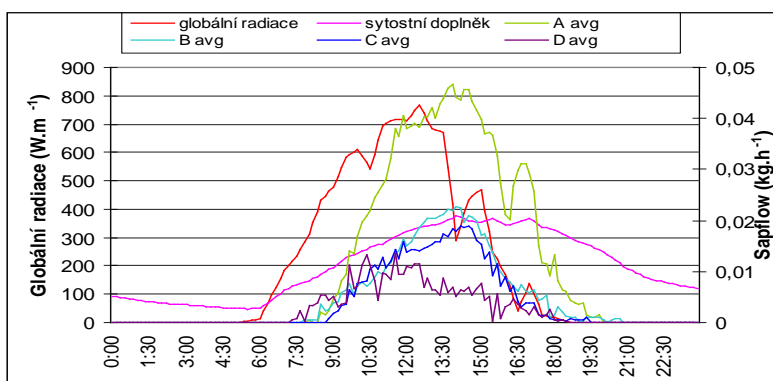
Tab.1. Tabulka korelačních koeficientů závislosti sapflow na teplotě a radiaci

Varianta	A		B		C		D	
	teplota	radiace	teplota	radiace	teplota	radiace	teplota	radiace
období 1	0,934**	0,877**	0,862**	0,886**	0,902**	0,730*	0,698*	0,497
období 2	0,627**	0,745**	0,537*	0,575*	0,516*	0,676**	0,030	0,536*
období 3	0,665**	0,624**	0,674**	0,754**	0,681**	0,805**	0,022	0,086

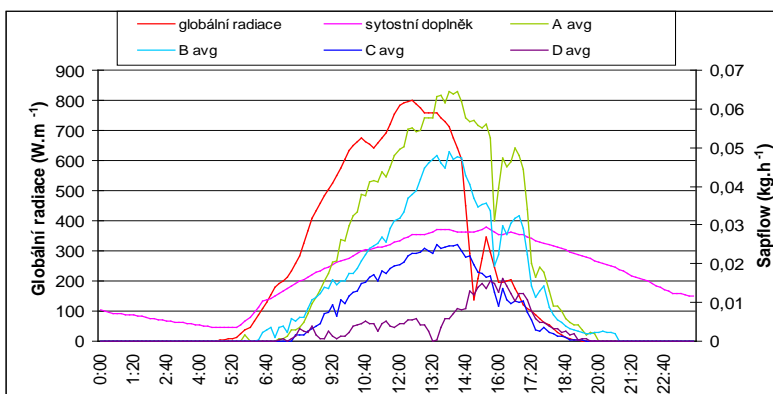
V ranních hodinách podporuje zvětšující se množství dopadajícího záření na listy transpiraci, zároveň však dochází ke zvyšování sytostního doplnku (vapor pressure deficit) VPD a rostlina se musí bránit nadměrnému výparu uzavíráním průduchů. Opožděná reakce toku xylémové šťávy na zvyšování radiace je způsobena nutností vypařit určité množství zásoby vody v listech pro dosažení rozdílu tlaků mezi atmosférou a listem a tedy vytvoření sacího potenciálu listů.

Denní chod průměrných hodnot transpirace dle variant, průběh globální radiace a sytostního doplnku dokumentuje obr. 7 a obr. 8. Lze pozorovat zřetelné rozdíly mezi variantami pokusu. Srovnatelné hodnoty transpiračního toku kukuřice pozorovali i GAVLOSKI *et al.* (1992).

Obr. 7: Denní průběh hodnot globální radiace, sytostního doplnku (VPD) a transpirace dle variant (2.8.2012)

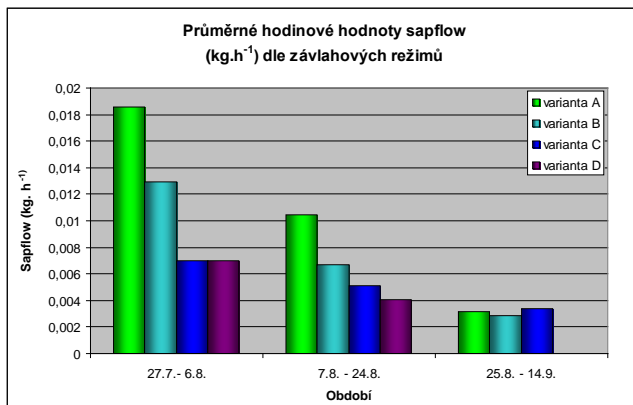


Obr. 8: Denní průběh hodnot globální radiace, sytostního doplnku (VPD) a transpirace dle variant (19.8.2012)



Průměrné denní hodnoty transpirace v jednotlivých variantách vykazovaly napříč variantami vysoce průkazný rozdíl ($P=0,01$). Pouze v počátku vegetace nebyl průkazný rozdíl mezi variantou A a B, což můžeme vysvětlovat podobnými vlhkostními podmínkami v období bez stresu suchem. Ve 3. období byl rozdíl mezi variantou B, C a D neprůkazný. To může být způsobeno stresem suchem a pokročilou fenologickou fází rostlin. Rozdíly mezi variantami ilustruje Obr. 9.

Obr. 9: Průměrné hodinové hodnoty transpiračního toku pro vláhové varianty ve třech obdobích.

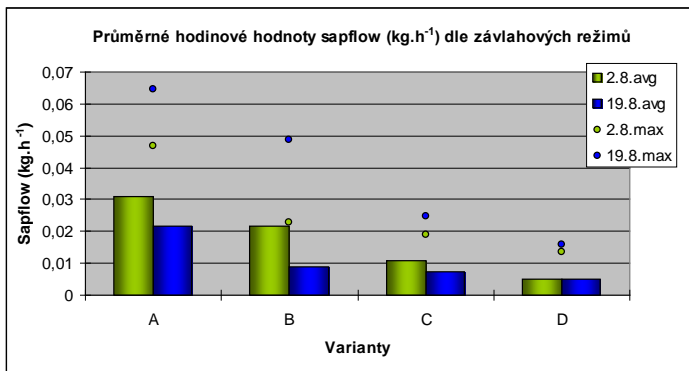


Průměrné hodnoty sapflow lze srovnávat buď mezi obdobími (intenzita transpirace vlivem růstové fáze rostliny...), anebo v rámci jednoho období mezi variantami, kdy byly podmínky vnějšího prostředí pro všechny varianty shodné.

Pokud výkon transpirace v kontrolní variantě A při objemové vlhkosti půdy 35 % (75 % využitelné vodní kapacity = VVK) označíme jako 100 %, tak při poklesu vlhkosti o 5 % objemových (varianta B = 50 % VVK) dosahují rostliny průměrně už jen 70 % výkonu rostlin ve variantě A. Vlhkost 25 % (25 % VVK) resp. 23 % objemových (15 % VVK) (v nádobě C resp. D) regulovala průtok cca o 62 %. V 2. období od 7.8 do 24.8. nastal pokles v absolutním množství transpirované vody za hodinu, ale poměr mezi variantami se nezúžil. Pouze rostliny z varianty C vykazovaly o necelých 50 % nižší průtok ve srovnání s variantou A. Vyrovnanější průběh transpirace v nádobě C znázorňuje obr. 4. Ve třetím období byla transpirace ve třech variantách téměř stejná (neprůkazné rozdíly). Variantu D nelze hodnotit.

Protože se jedná o nádobový pokus, bude mít objemová vlhkost půdy pravděpodobně větší podíl na ovlivnění transpirace než-li v polních podmínkách, protože kořenový systém je prostorově omezen velikostí nádoby.

Obr. 10: Průměrné hodinové hodnoty sapflow dle závlahových režimů



V rámci období 1 a období 2 byly vybrány dny (2.8 a 19.8.), kdy se průměrné hodnoty globální radiace (398,6 a 378,2 W.m⁻²), sytostního doplňku (2214,4 a 2039,1 Pa) a teploty (28,2 a 26,9 °C) výrazně nelišily (rozdíl 5 – 8 %) – Obr. 10. Rozdíly v sapflow jsou tedy pravděpodobně způsobeny stresem suchem, délkou jeho trvání a také stářím rostlin. Vliv zrání a senescence na průběh transpirace potvrzují PIVEC *et al.* (2009) v pokusech s řepkou v polních podmínkách a JARA *et al.* (1998) v pokusech s kukuřicí. Dne 19. 8. byl zaznamenán pokles průměrných hodinových sum transpirace ve variantě A o 30 %, ve variantě B o 59 %, v C o 32 %. Varianta D naopak transpirovala o 1 % více ve srovnání se stavem dne 2.9.2012. Absolutní hodnoty sapflow v jednotlivých nádobách jsou určitým dílem ovlivněny průduchovou vodivostí a metabolismem rostliny. Závažnost vodního stresu může měnit efektivitu využití vody rostlinou (WILKINSON, 2004) a rychlost životního cyklu (CHAVES *et OLIVEIRA*, 2004). Tyto domněnky lze ověřit podrobnějším rozбором jednotlivých pokusných rostlin. Zároveň lze míru stresu indikovat pomocí „molekulárních metod“.

ZÁVĚR

Měření transpiračního toku (sapflow) je jedním ze způsobů jak kvantifikovat využití/tok vody rostlinami v závislosti na faktorech prostředí. Metoda stem heat balance (SHB) byla zvolena jako přesná, citlivá metoda pro detekci sapflow u kukuřice s cílem zjistit míru ovlivnění transpirace vybranými meteorologickými prvky. Zároveň byl pozorován stres suchem a jeho vliv na průběh transpirace. Na základě rovnice pro výpočet potenciální evapotranspirace Penman-Monteith byla vypočtena potenciální transpirace pro 4 varianty závlahového režimu. Byly nalezeny vysoce průkazné hodnoty korelačního koeficientu pro sapflow a výkon globální radiace resp. sapflow a teplotu vzduchu. Současně byly potvrzeny statisticky vysoce průkazné rozdíly hodnot sapflow mezi všemi variantami. Přestože je transpirace silně ovlivněna výkonem radiace, teplotou vzduchu a sytostním doplňkem, projevil se vliv vodního deficitu. V závěru vegetace byla transpirace ovlivněna stárnutím rostlin. Můžeme předpokládat další důsledky stresu suchem na rostlinný

metabolismus a jeho projevy na růstu nadzemní části rostlin i kořenového systému. Pro přesnější identifikaci stresových projevů je nutné vyhodnotit biometrické charakteristiky pokusných rostlin a identifikovat nástup stresu i na molekulární úrovni.

LITERATURA

GAVLOSKI, J. E., WHITFIELD, G. H., ELLIS, C. R.: Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.), *Canadian Journal of Plant Science*. 1992, vol. 72, p. 361-368

CHAVES, M. M., OLIVEIRA, M. M.: Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture, *Journal of Experimental Botany*, 2004, vol 55, p. 2365-2384

JARA, J., STODOLE, C.O., KJELGAARD, J.: Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mays* L.) field, *Agricultural and Forest Meteorology*. 1998, vol 92, p. 131-145

KUČERA, J., ČERMÁK, J., PENKA, M.: Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. *Biologia Plantarum*. 1977, vol. 19, p. 413-420

OGUNTUNDE, P. G.: Whole-plant water use and canopy conductance of cassava under limited available soil water and varying evaporative demand, *Plant and Soil*. 2005, vol. 278, p. 371-383

PIVEC, J., BRANT, V., BEČKA, D.: The influence of weather conditions on the sap flow of *Brassica napus* L. during the fructification and maturation stages, *Ekológia*. 2009, vol. 28, p. 43-51

WILKINSON, S.: Water use efficiency and chemical signalling, In: Bacon M, ed. Water use efficiency in plant biology. Oxford: Blackwell Publishing. 2004, p. 75-112

JARA, J., STODOLE, C.O., KJELGAARD, J.: Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mays* L.) field, *Agricultural and Forest Meteorology*. 1998, vol 92, p. 131-145