

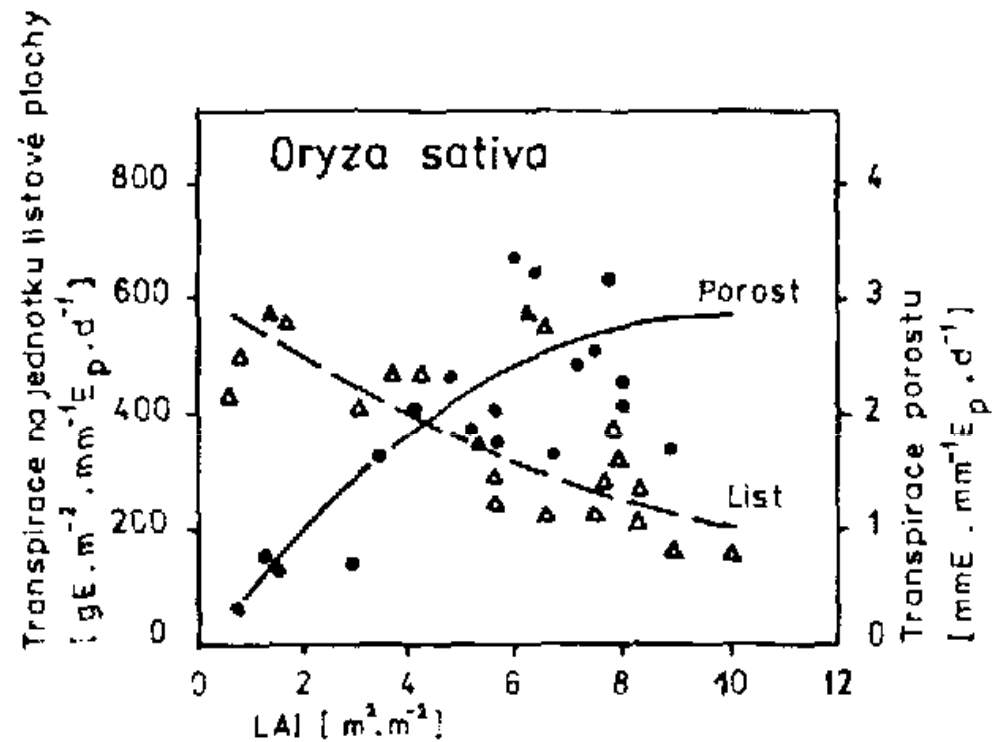
Vodní režim rostlin

- **Regulace výměny plynů otevřeností průduchů**
 - Stomatální limitace rychlosti transpirace a rychlosti fotosyntézy
 - Efektivita využití vody
 - Globální změna klimatu
 - Antitranspiranty

Regulace výměny plynů stomatální vodivostí

- **Limitace rychlosti transpirace (E) stomatální vodivostí (g_s):**
- $l_{sE} = (\delta E/E) / (\delta g_s/g_s)$
- $l_{sE} = g_s / g_l$
- Závisí především na g_a a také na g_c
- Stomatální limitace transpirace obecně větší než fotosyntézy
- Transpirace porostu závisí na E listu a LAI

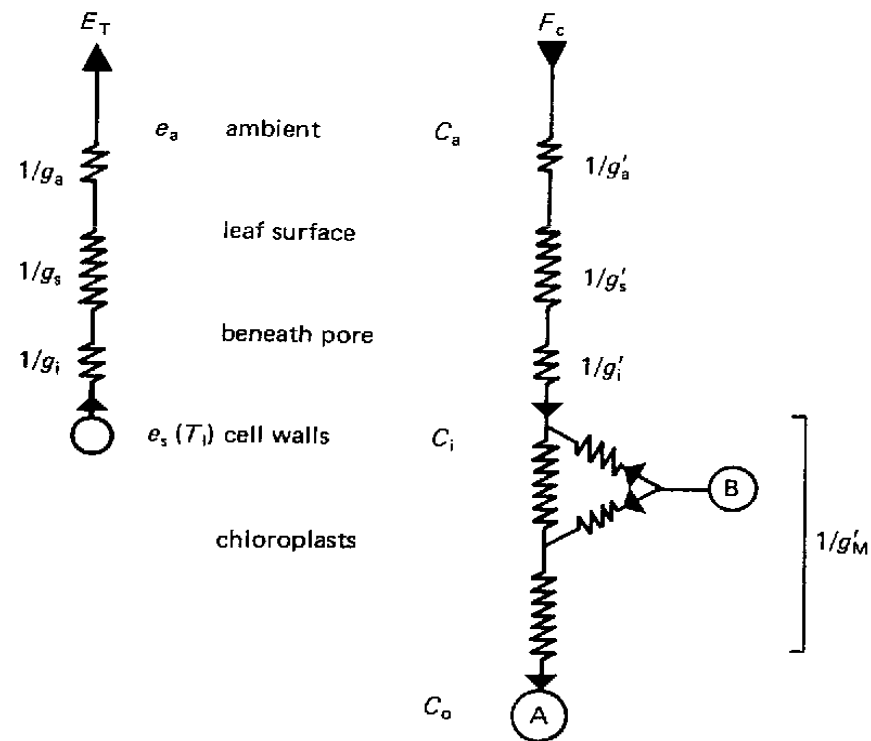
Transpirace porostu



Obr. 5.39. Závislost relativní transpirace (E/E_p) porostu rýžových polí a relativní transpirace jednotlivých listů rýže na pokryvnosti listoví (LAI). Podle Sugimota (1973).

Srovnání transportu vodní páry a oxidu uhličitého v listu

Fig. 1. A model of the pathways of water vapour and carbon dioxide exchange in a photosynthesizing leaf (adapted from Lake, 1967). A is the carbon dioxide sink at the site of assimilation; B is the source of carbon dioxide in respiration. The symbols are listed in Table 1.



Limitace rychlosti fotosyntézy stomatální vodivostí

- **Stomatální limitace rychlosti fotosyntézy**
- $I_{sPN} = (\delta P_N / P_N) / (\delta g_s / g_s)$
- $I_{sF} = g_s / g_l$
- Závisí především na g_m a také na g_a
- Stanovení stomatální a nestomatální limitace fotosyntézy
- Měření fotosyntézy při vysoké konc. CO_2 , parametrů fluorescence chlorofylu apod.
- Modelové stanovení
- Optimální otevřenost: maximální denní zisk uhlíku při minimálních ztrátách vody
- Model Cowan, Farquhar (1977):
- $\delta E / \delta P_N = [\delta E / \delta g_s] / [\delta P_N / \delta g_s] = \text{konst.}$

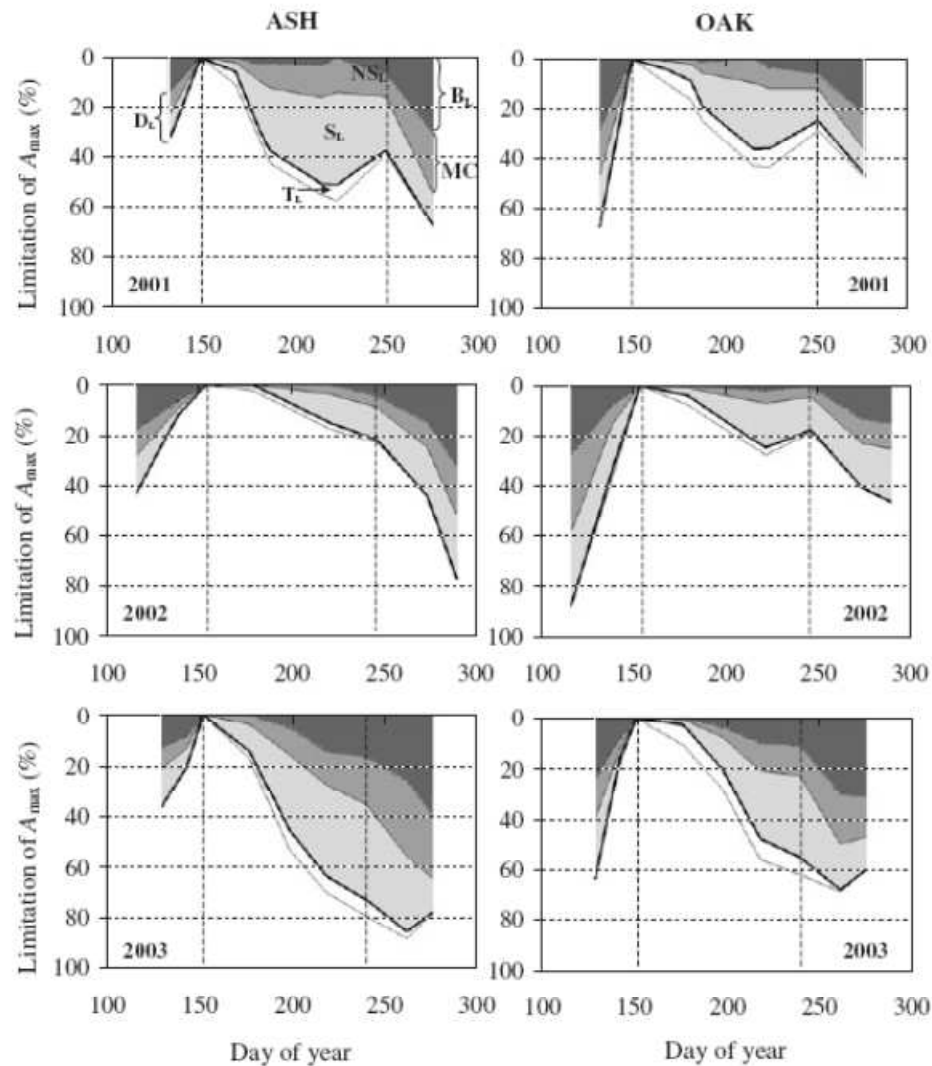


Figure 6. Seasonal trends in the limitations of A_{\max} (%) for ash and oak trees during 2001, 2002 and 2003 in comparison with the maximum values recorded at the beginning of the summer (day = 150) (see methods for details). The thin vertical lines separate the growing season in three different periods (spring, summer and autumn), according to foliar ontogeny. In each panel, the area between the lower thin line (which represents the seasonal trends of A_{\max} at ambient temperature) and the thick line (which represents A_{\max} at 25 °C) is the estimated temperature limitation (T_L). The other limitations, estimated according to Eqn 6, are as follows (see the upper-left panel): stomatal limitation (S_L , light grey area), mesophyll conductance limitation (MC_L , medium grey area) and biochemical limitation (B_L , dark grey area). The total diffusive limitation ($D_L = S_L + MC_L$) and the non-stomatal limitations ($NS_L = MC_L + B_L$) are also indicated. The values of each limitation integrated over time are summarized in Table 3.

Homobarické a heterobarické listy, vliv „stomatal patchiness“

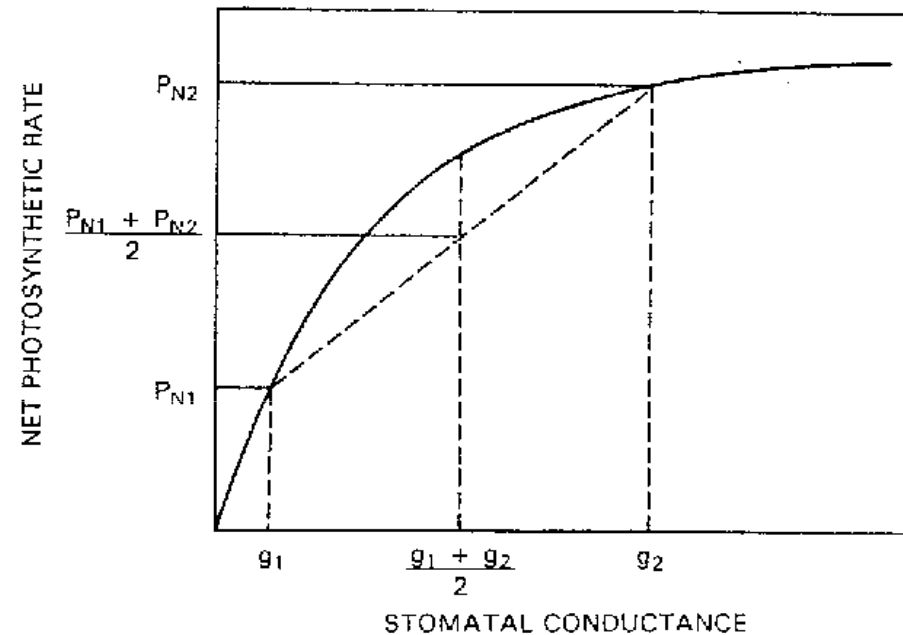


Fig. 8. Simple model of the relationship between net photosynthetic rates and stomatal conductances. Stomatal conductance of the patches of the halves of leaf blade are g_1 and g_2 . The average P_N $[(P_{N1} + P_{N2})/2]$ is less than it would be if all patches had the conductance $(g_1 + g_2)/2$. (According to Terashima *et al.*, 1988.)

Vodní stres a fotosyntéza

Stomatální limitace fotosyntézy → snížení c_i

Nestomatální limitace fotosyntézy

- Snížení rychlosti transportu snížením g_m nebo snížení aktivity anhydrázy kys. uhličitě → snížení c_c
- Ovlivnění biochemických procesů
- Snížení tvorby ATP
- Snížení karboxylace - snížení množství a aktivity RuBPC, snížení regenerace RuBP, snížení množství a aktivity PEPC
- Snížení obsahu pigmentů sníženou syntézou a vyšší rychlosti rozkladu. Car stabilnější než Chl. Význam Car a xantofylů jako obrana proti fotoinhibici.
- Snížení aktivit fotosystému 1 a 2 často v důsledku narušení struktury. PS 2 obvykle citlivější než PS 1 (PS 2 - degradace a pomalá obnova D1 proteinu). Indikátorem jsou změny ve fluorescenci Chl *a*.

Limitace fotosyntézy hromaděním fotosyntátů při sníženém transportu

Expres genů např. *rbcS*, *rbcL*, *cab*, *psbA*

Adaptace fotosyntézy na dlouhodobý vodní stres

- C_4 a CAM cyklus fixace CO_2
- $C_3 \Rightarrow$ CAM
- CAM – obrácený denní rytmus otevřenosti průduchů
- Obranné mechanismy proti fotoinhibici:
- výdej energie ve formě tepla, xantofylový cyklus, fotorespirace, Mehlerova reakce – tvorba ROS a stimulace antioxidantních systémů

Vliv přechodného a déletrvajícího sucha na parametry vodního provozu a fotosyntézu cukrovky (Monti *et al.* 2006)

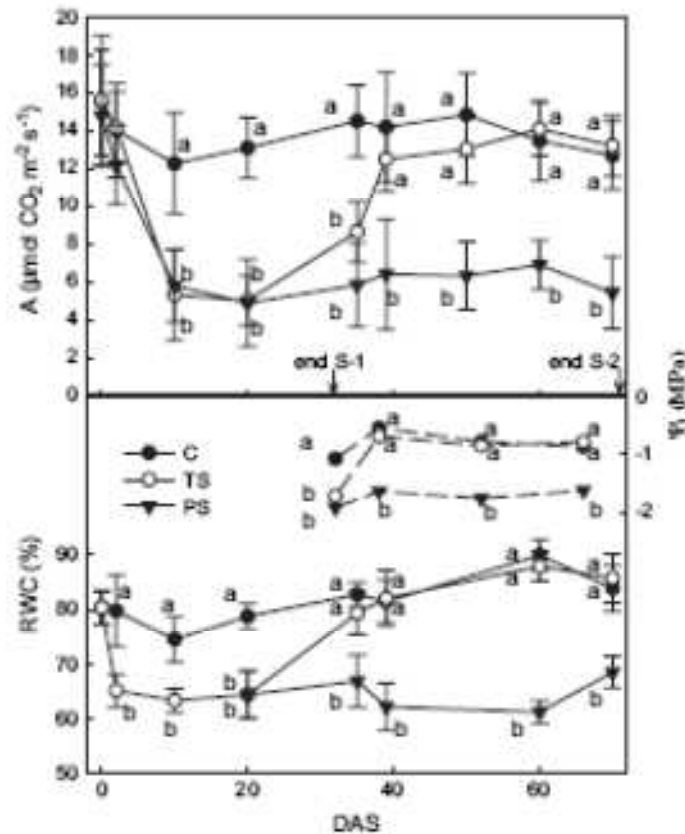


Fig. 2. Course of leaf photosynthesis (A), relative water content (RWC) and leaf water potential (Ψ_l) under transient (TS) and permanent stress (PS) compared with control plants (C). DAS are the days after stress imposition. Vertical bars indicate standard deviations of means. S-1 and S-2 indicate the two periods of transient water stress and recovering water, respectively. Different letters mean significant differences among treatments (Tukey's test for $P < 0.05$).

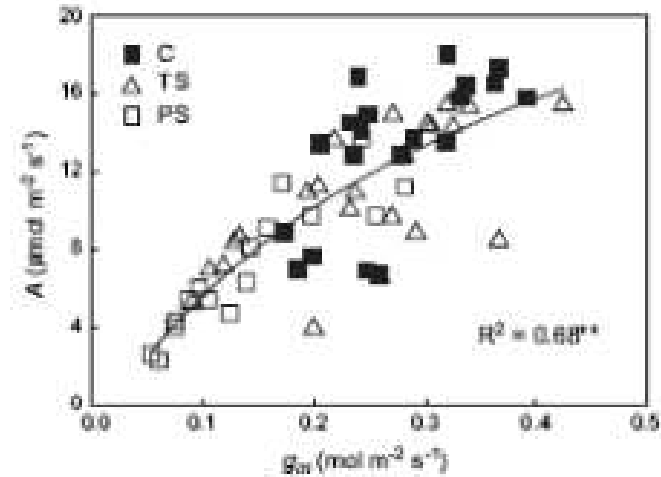


Fig. 7. Relationship between leaf net photosynthesis (A) and mesophyll conductance (g_m). C , TS , and PS indicate control plants (never stressed), transient, and permanent water stress, respectively. The equation of the curvilinear regression $A = 16.5 / (1 + \exp(-(g_m - 0.16) / 0.09))$ was highly significant in all parameters ($P < 0.01$).

Vliv vodního deficitu na parametry fluorescence

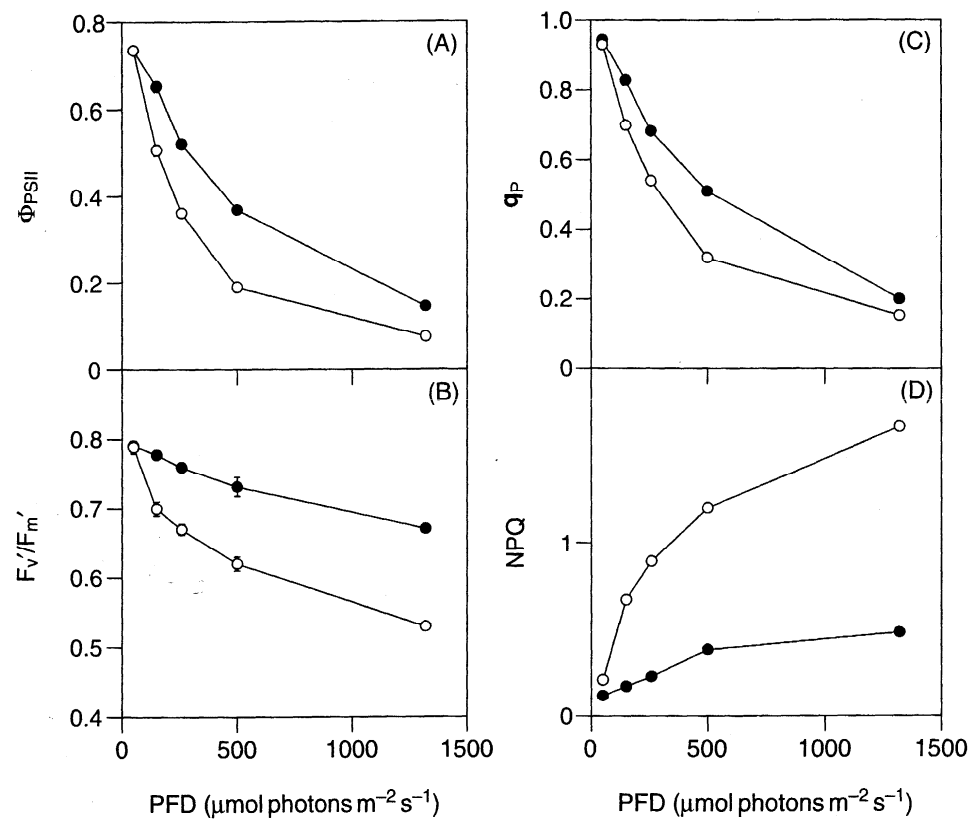
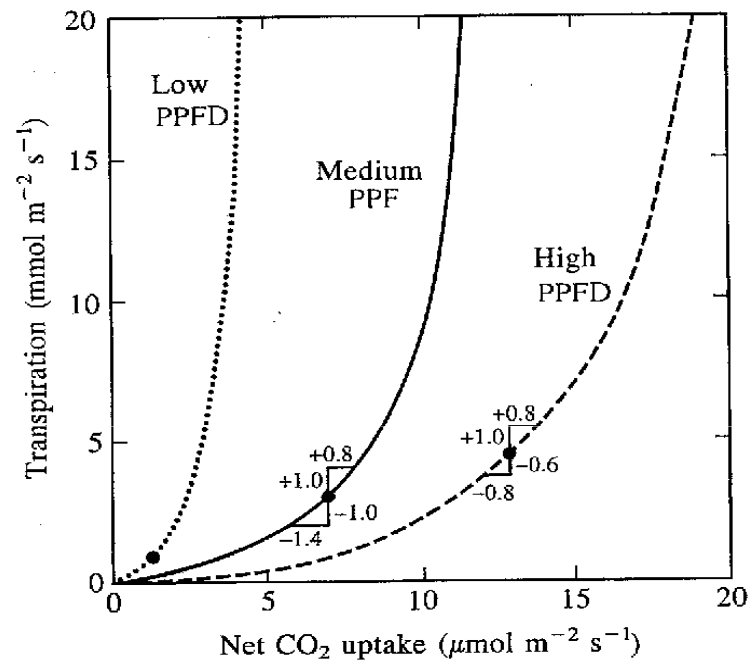


Fig. 3. Responses of (A) actual PSII efficiency (Φ_{PSII}); (B) the efficiency of excitation capture by open PSII reaction centres (F_v'/F_m'); (C) the photochemical quenching coefficient (q_P); and (D) non-photochemical quenching (NPQ) to PFD in well-watered (●) and water-stressed leaves (○) of *Kalanchoë daigremontiana*. Each value is means \pm SE of three to five independent samples.

Efektivita využití vody - WUE

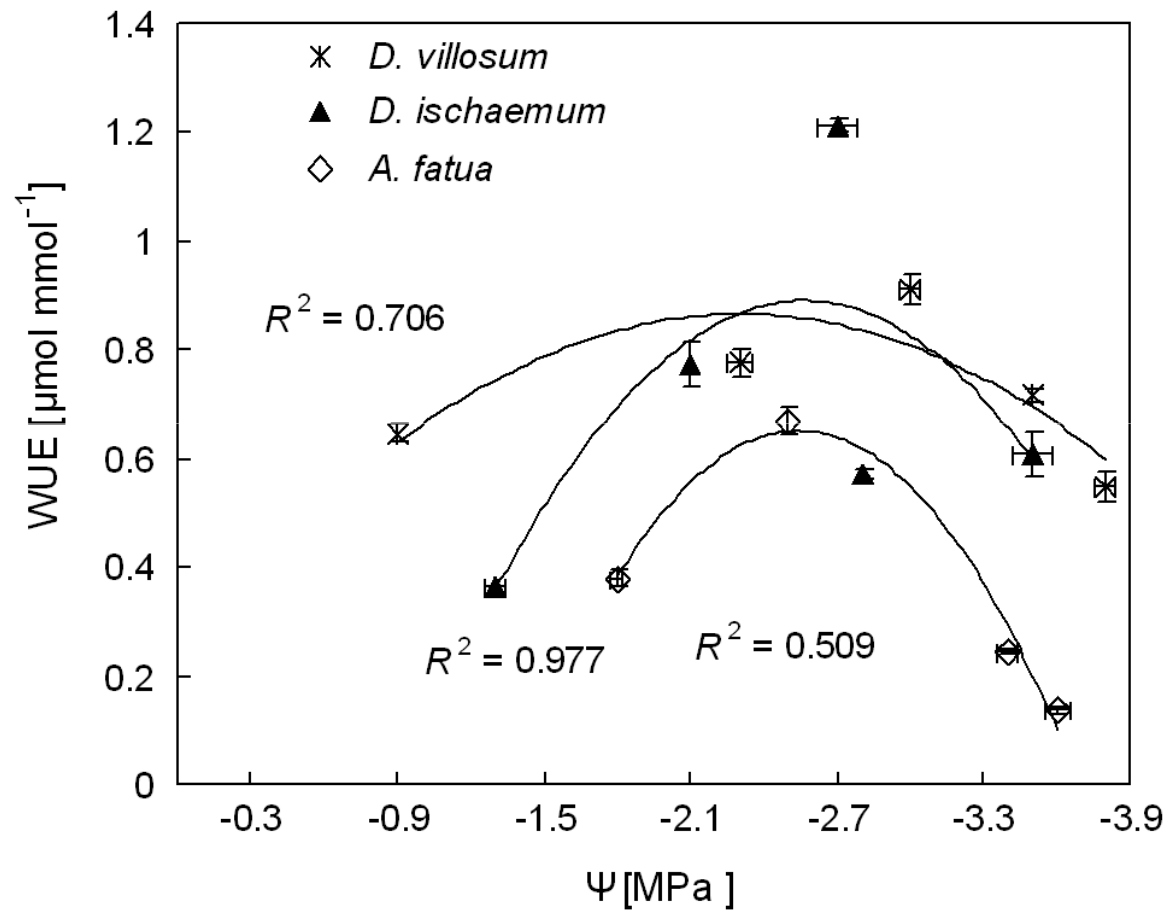
- 1 mol CO₂ na 300 - 500 (C₃), 250 (C₄) nebo 100 (CAM) mol vody
 - ($D_{\text{H}_2\text{O}}/D_{\text{CO}_2} = 1.7$)
 - $\text{WUE} = P_{\text{N}}/E$ [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ mmol}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$]
 - $\text{WUE}_m = \Delta M/E$ [$\text{g}(\text{d.m.}) \text{ mmol}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$]
 - WUE_i („intrinsic“ WUE) = P_{N}/g_s
-
- Při mírném stresu obvykle WUE se zvyšuje - ovlivnění E a P_{N} pouze změnou g_s , při silném vodním stresu se WUE obvykle snižuje

Vztah mezi rychlostí transpirace a fotosyntézy a jeho ovlivnění ozářeností

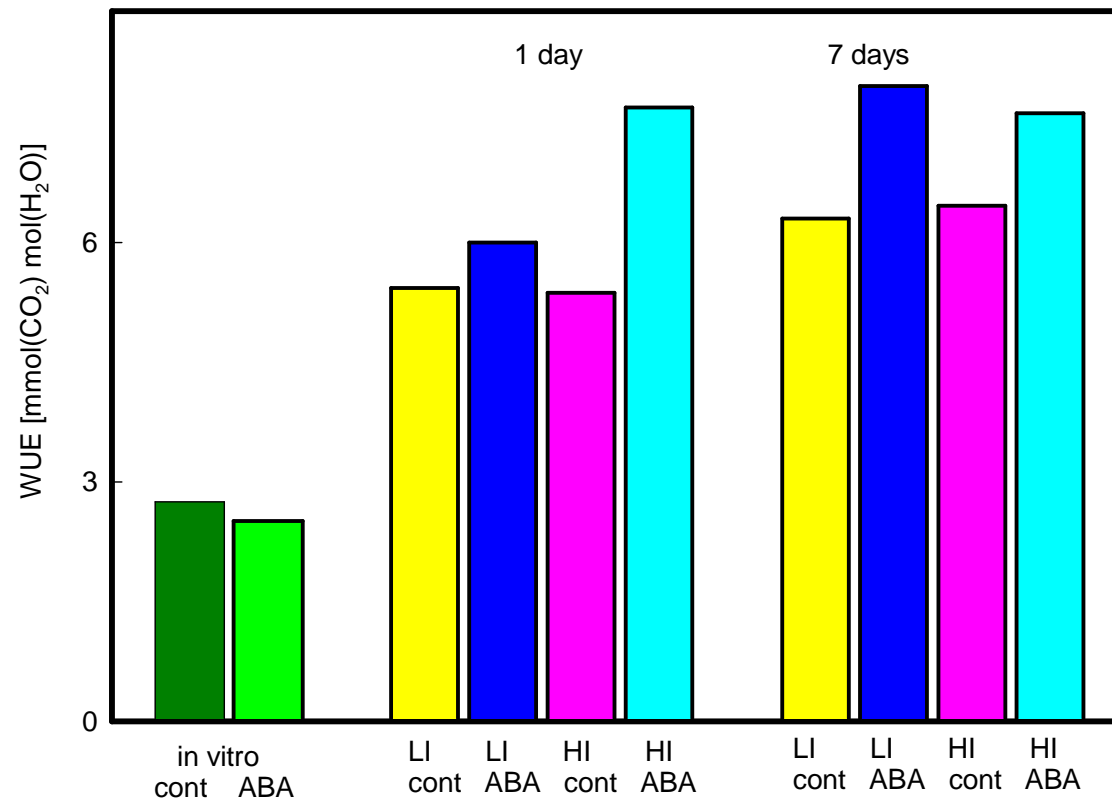


Relation between net photosynthesis (J_{CO_2}) and transpiration (J_{wv}) as stomatal conductance is varied. The three curves depict various PPFD levels, indicated as "low," "medium," and "high." The circles indicate where the slope $\partial J_{wv} / \partial J_{CO_2}$ is 1000 H₂O/CO₂. Cuticular transpiration is ignored. The numbers indicate changes in the fluxes, on the medium PPFD curve for no net change in transpiration and at the same slope on the high PPFD curve for no net change in CO₂ uptake. Curve shapes indicate that J_{wv} increases faster than J_{CO_2} as stomates open.

Závislost WUE na vodním potenciálu listů u *Avena fatua* (C₃),
Dichanthium ischaemum (C₄) a *Dasypyrum villosum* (C₄)
(Karatassiou and Noitsakis 2010)



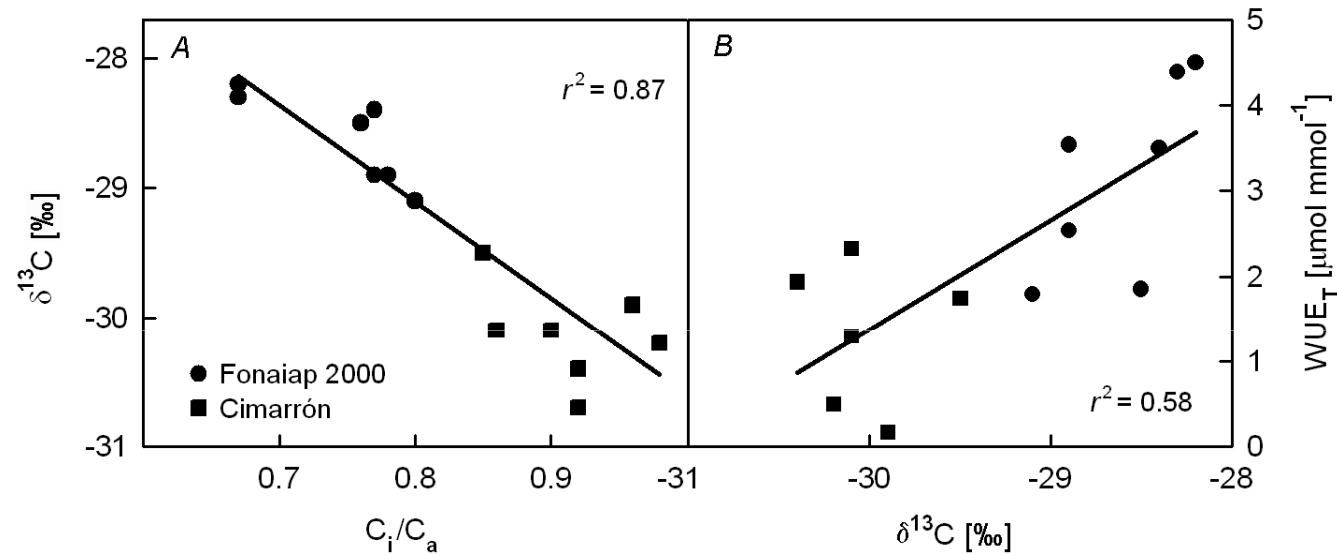
Vliv ozáření a ABA na WUE po přesazení *in vitro* pěstovaných rostlin tabáku do *ex vitro* podmínek



Metody stanovení

- Gazometrická měření parametrů výměny plynů
- Diskriminace izotopů uhlíku
- $\delta^{13}\text{C} [\text{‰}] = [\text{R}_{\text{vzorek}}/\text{R}_{\text{standard}} - 1] \times 1000$, $\text{R} = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$
- $\delta^{13}\text{C}$ pro difúzi CO_2 v atmosféře -7,8 ‰, pro transport CO_2 rozpuštěný v cytosolu -9,5 až -17,7 ‰, Rubisco - 23,8 ‰, PEPC - 2,03 ‰
- $\delta_{\text{Rubisco}} > \delta_{\text{PEPC}}$, δ_{difuze}
- Farquhar *et al.* 1989: $\delta^{13}\text{C}_p [\text{‰}] = \delta^{13}\text{C}_a - a - (b - a) c_i/c_a$,
- kde $\delta^{13}\text{C}_a$ - $\delta^{13}\text{C}$ ve vzduchu, $\delta^{13}\text{C}_p$ - $\delta^{13}\text{C}$ v rostlině, a - $\delta^{13}\text{C}$ spojená s difúzí CO_2 průduchy, b - $\delta^{13}\text{C}$ během fixace uhlíku RuBPC, c_i/c_a - poměr vnitřní a vnější koncentrace CO_2
- $\delta^{13}\text{C}$ pro C_3 rostliny -23 až -36 ‰, C_4 -9 až -18 ‰, CAM -9 až -36 ‰
- $\Delta^{13}\text{C} = (\delta^{13}\text{C}_{\text{vzduch}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{list}})/(1 + \delta^{13}\text{C}_{\text{list}})$
- vyšší WUE (menší otevřenost průduchů, nižší parciální tlak CO_2 v místech karboxylace) → nižší $\Delta^{13}\text{C}$

Diskriminace isotopu uhlíku a WUE



Regression analysis between (A) carbon isotope composition ($\delta^{13}\text{C}$) and the ratio C_i/C_a , and (B) between water use efficiency (WUE_T) and $\delta^{13}\text{C}$ of rice genotypes Fonaiap 2000 and Cimarrón. Values were obtained from measurements made at the end of the experiment from plants either kept irrigated or water stressed for 17–18 d. (Pieters and Núñez 2008)

Diskriminace isotopu uhlíku a WUE (Monti et al. 2006)

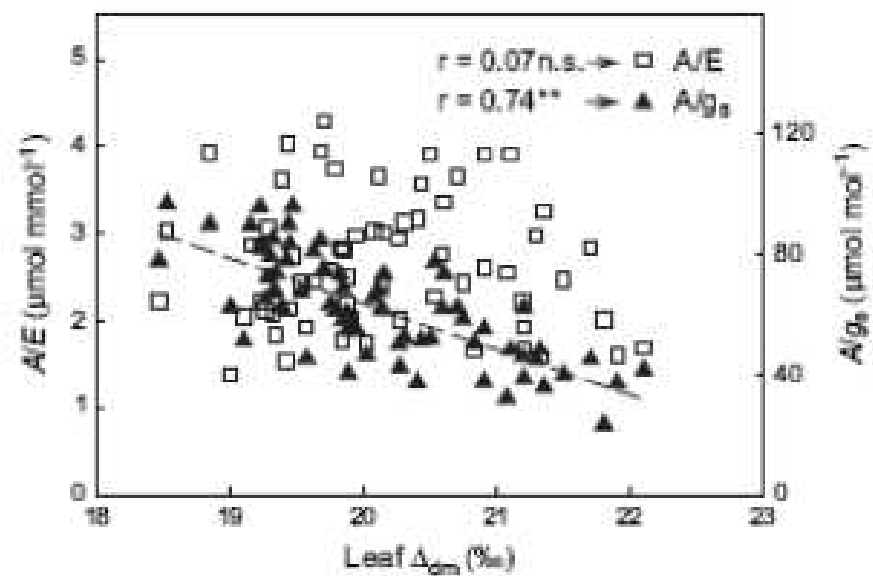


Fig. 4. Correlation between leaf carbon isotope discrimination determined on bulk dry matter (Δ_{C_3}) and instantaneous (A/E) and intrinsic (A/g_s) water use efficiency. Equally, leaf Δ_{C_3} was only correlated with A/g_s ($r = -0.72^{**}$).

Metody stanovení

- Diskriminace izotopů kyslíku (Barbour *et al.* 2002)
- $\delta^{18}\text{O} [\text{‰}] = [R_{\text{vzorek}}/R_{\text{standard}} - 1] \times 1000$, $R = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$
- $\delta^{18}\text{O}_e = \delta^{18}\text{O}_s + \varepsilon^* + \varepsilon_k + (\delta^{18}\text{O}_v - \delta^{18}\text{O}_s - \varepsilon_k) e_a/e_i$
- kde $\delta^{18}\text{O}_e - \delta^{18}\text{O}$ v místech výparu, $\delta^{18}\text{O}_s - \delta^{18}\text{O}$ zdroje vody, a $\delta^{18}\text{O}_v - \delta^{18}\text{O}$ ve vzduchu, ε^* - snížení tenze vodní páry díky těžšímu izotopu, ε_k - frakcionace při transportu hraniční vrstvou a průduchy, e_a/e_i - poměr koncentrace vodní páry ve vzduchu a uvnitř listu.
- Při příjmu a transportu kapalné vody se izotopové složení mění jen málo, ke značným změnám dochází při výparu vody z listů.
- $\delta^{18}\text{O}$ je rozdílná u podzemní a srážkové vody
- Kombinovaná analýza $\delta^{13}\text{C}$ a $\delta^{18}\text{O}$ – k odlišení stomatální a nestomatální limitace fotosyntézy

Diskriminace isotopu kyslíku a rychlost transpirace

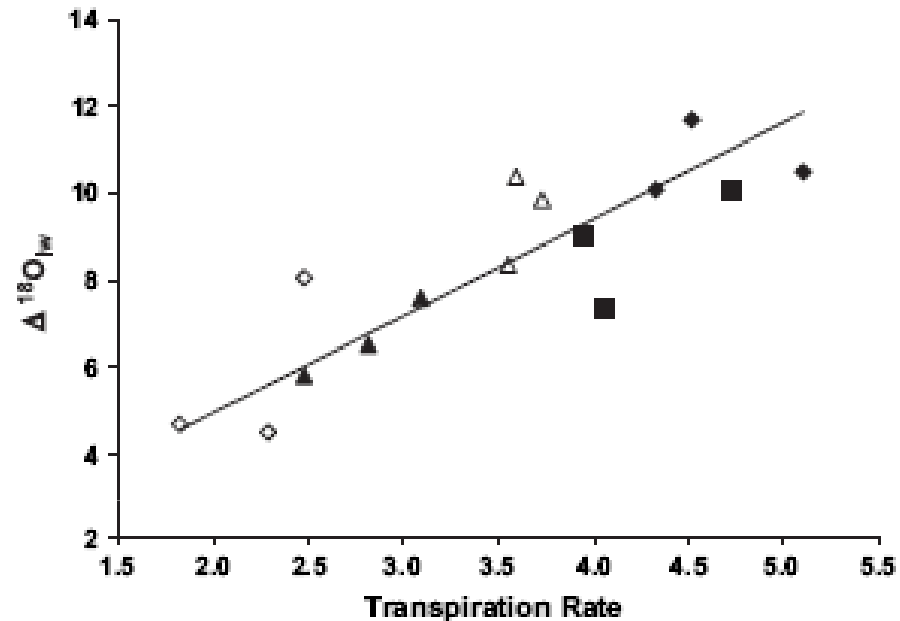
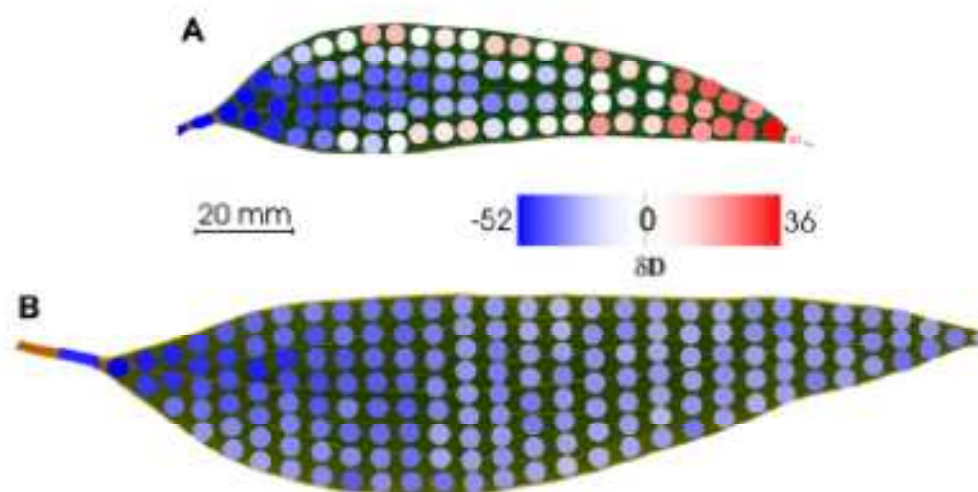


Fig. 1. Relationship between $\Delta^{18}\text{O}_{\text{lw}}$ (‰) and transpiration rate ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Transpiration rate was altered by inducing stomatal closure using ABA (filled diamonds, control, filled squares, 10^{-7} M, open triangles, 10^{-6} M, closed triangles, 10^{-5} M, open diamonds, 10^{-4} M) in excised sunflower leaves. The leaf water oxygen isotopic enrichment ($\Delta^{18}\text{O}_{\text{lw}}$) was computed relative to distilled water ($\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}} = -13.3\text{‰}$) used for preparing ABA solutions. The set-up was kept in a growth chamber with 15 mbar VPD and $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ light intensity in PAR range. Each value is a mean of three replicates ($y=2.23x+0.461$; $R^2=0.74$, $P < 0.001$; $n=15$).

Změny v obsahu deuteria v listech blahovičníku při vodním stresu

(Šantrůček *et al.* 2007)

Figure 1. Topology of D enrichment of bulk leaf water in the lamina of snowgum leaves grown for 2 years under soil water deficit and dry air, A climate (A) and at ample water availability and high air humidity, W climate (B). Irradiance and air temperature were similar. Leaf dimensions are proportional to actual size of the leaf. Position and size of the leaf discs match closely the real situation. The color scale is chosen arbitrarily.

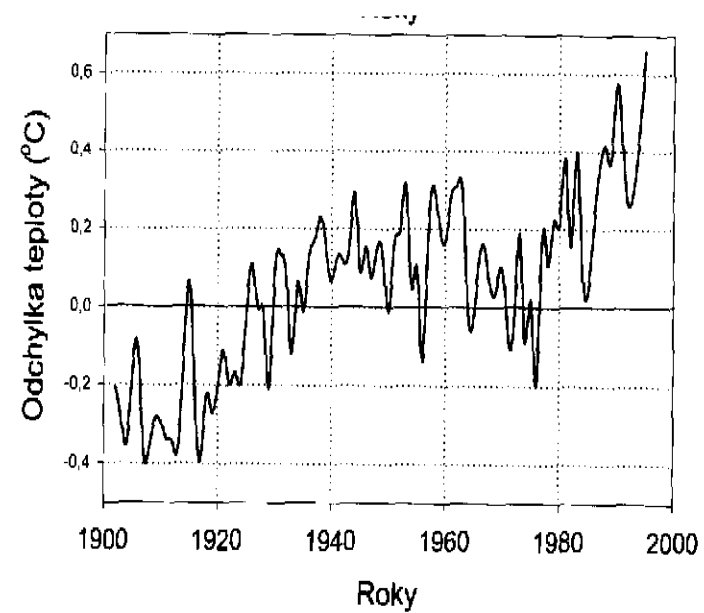
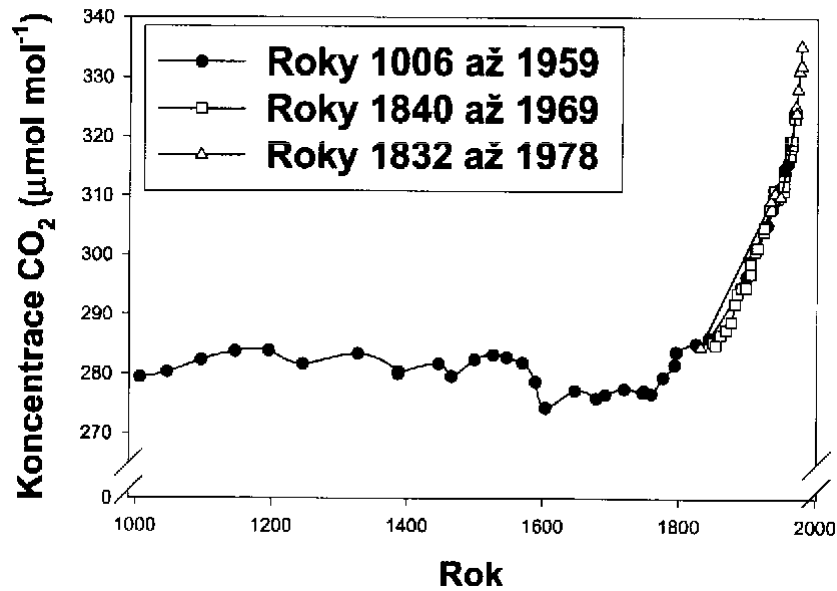


Globální změna klimatu

Zvýšení koncentrace CO₂

Zvýšení teploty

Častější výskyt sucha



Možné pôsobení globální změny klimatu

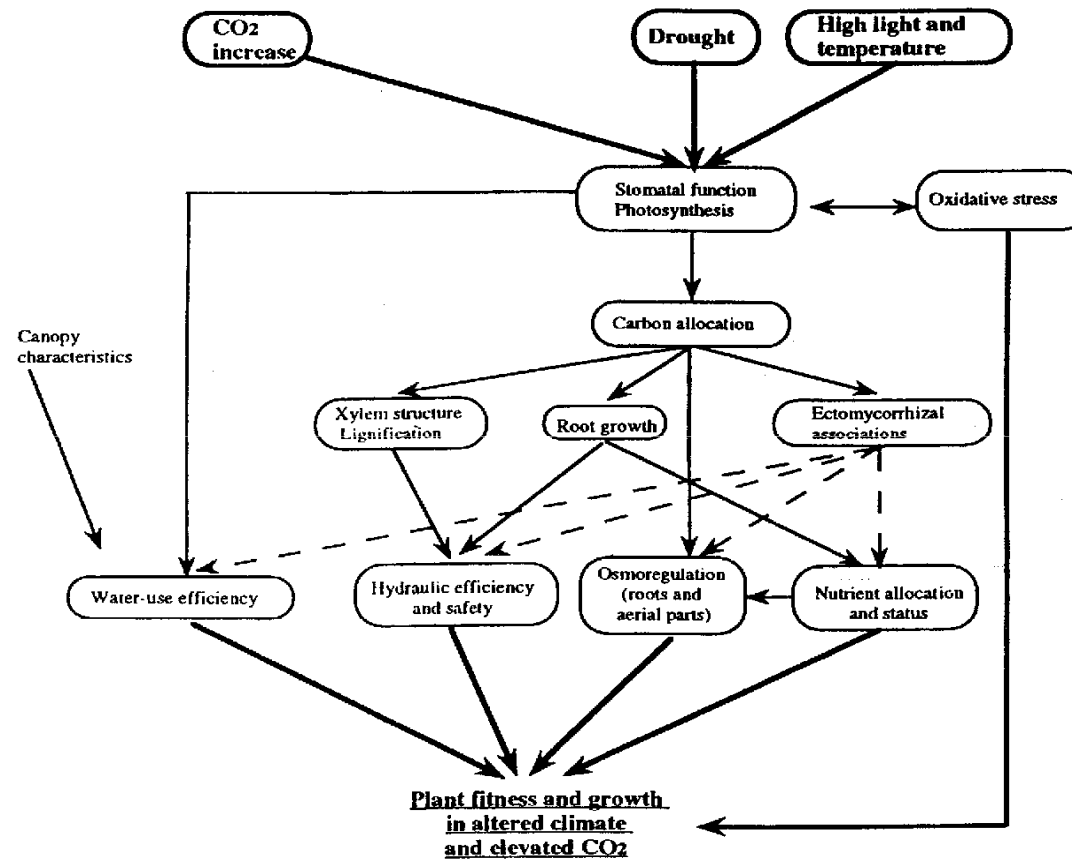


FIGURE 4 Schematic presentation of the structural and functional characteristics investigated for assessing the mechanisms determining plant performance in the context of climate change and elevated CO₂. For sake of clarity, direct effects of drought on growth and allocation processes and the nutrient "dilution" effect linked to increased carbon supply to the different plant components have not been represented. (From Ref. 211.)

Zvýšení koncentrace CO₂

- 1) Při krátkodobém působení zvyšuje P_N
- 2) Při dlouhodobém působení zůstává zvýšená P_N nebo dochází k aklimaci
- 3) E a g_s se nemění nebo snižuje
- 4) WUE se zvyšuje
- 5) Zvýšení růstu
- 6) Spotřeba vody ??

Denní chod rychlosti fotosyntézy, transpirace a WUE

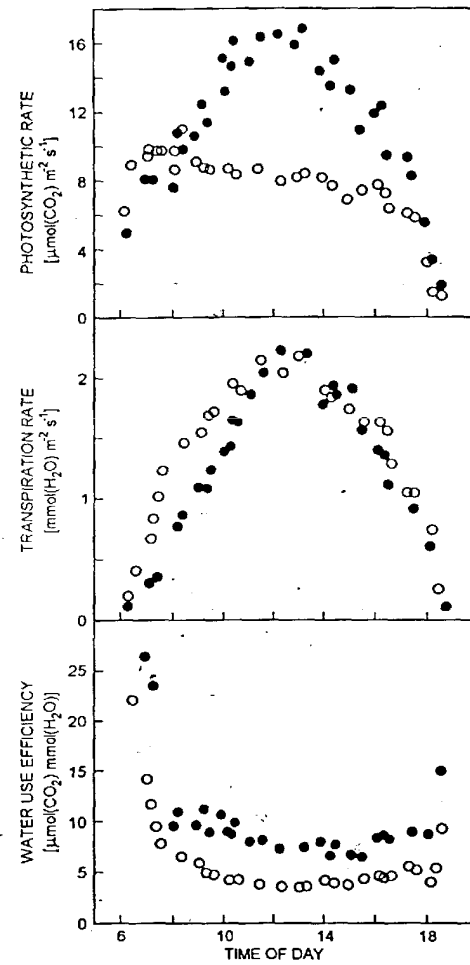


FIGURE 5 Daily course of net photosynthetic rate, transpiration rate and water use efficiency of *Fagus sylvatica* branches grown under ambient (open circles) and elevated (closed circles) CO₂ concentration. (Adapted from Ref. 99 by J. Solárová.)

Dlouhodobý vliv zvýšené koncentrace CO₂

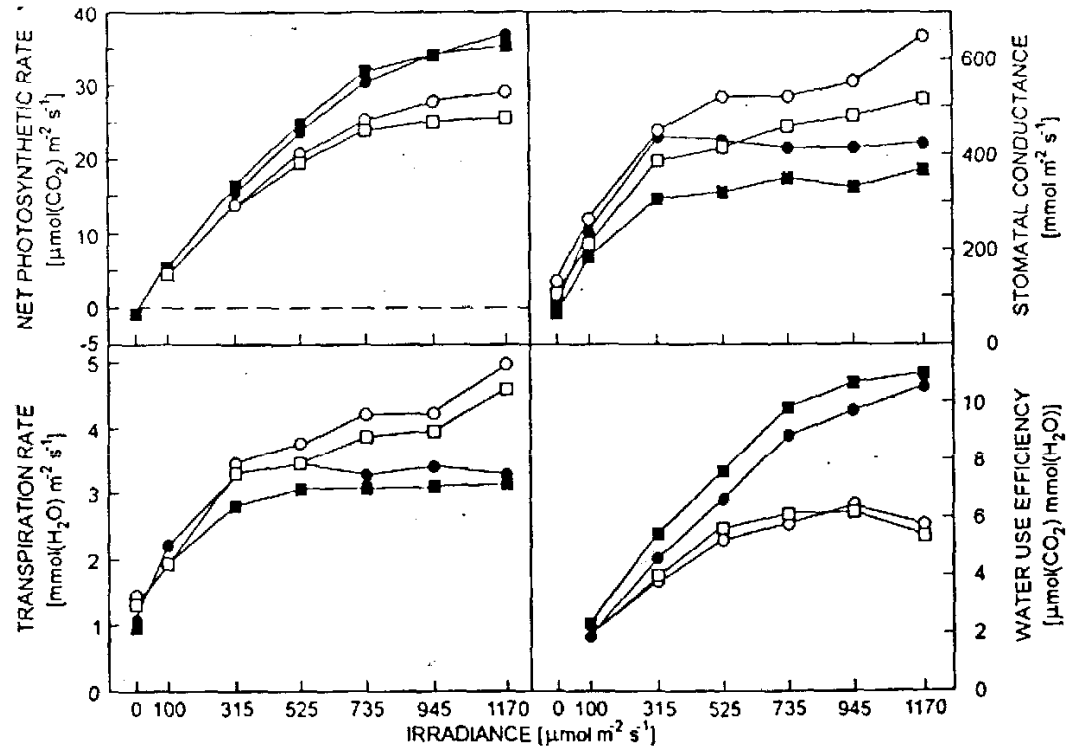


FIGURE 3 Net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, and water use efficiency of young, fully expanded leaves of *Trifolium repens* as a function of irradiance. Plants were grown at ambient (circles) and elevated (squares) CO₂ concentration and measured at ambient (empty symbols) or elevated (closed symbols) CO₂ concentration. (Adapted from Ref. 69 by J. Solárová.)

Dlouhodobý vliv zvýšené koncentrace CO₂

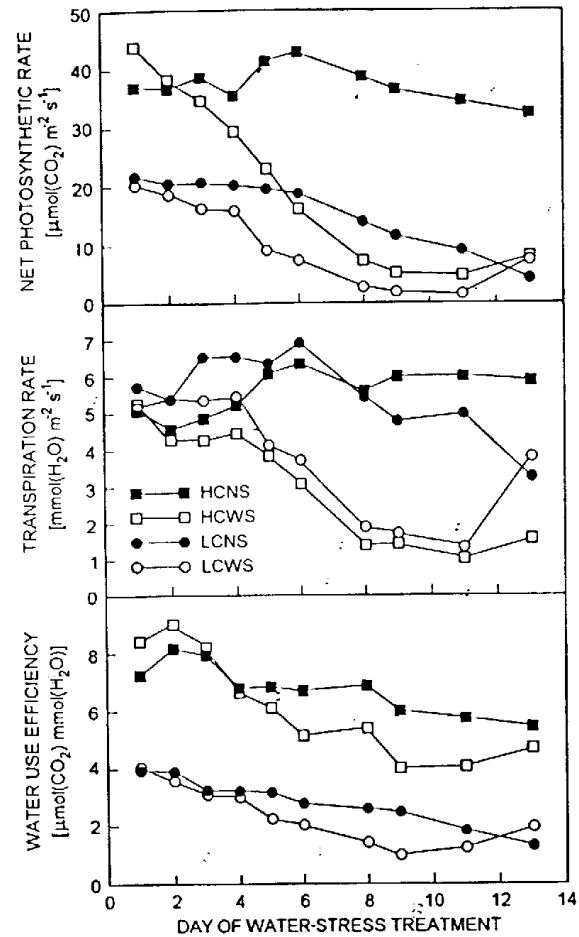


FIGURE 4. Net photosynthetic rate, transpiration rate, and water use efficiency of leaflets of *Glycine max* plants grown under ambient (LC, circles) or elevated (HC, squares) CO₂ concentration. Plants were measured during development of water stress (WS, empty symbols) or under sufficient water supply (NS, closed symbols). (Adapted from Ref. 93 by J. Solárová.)

Dlouhodobý vliv zvýšené koncentrace CO₂

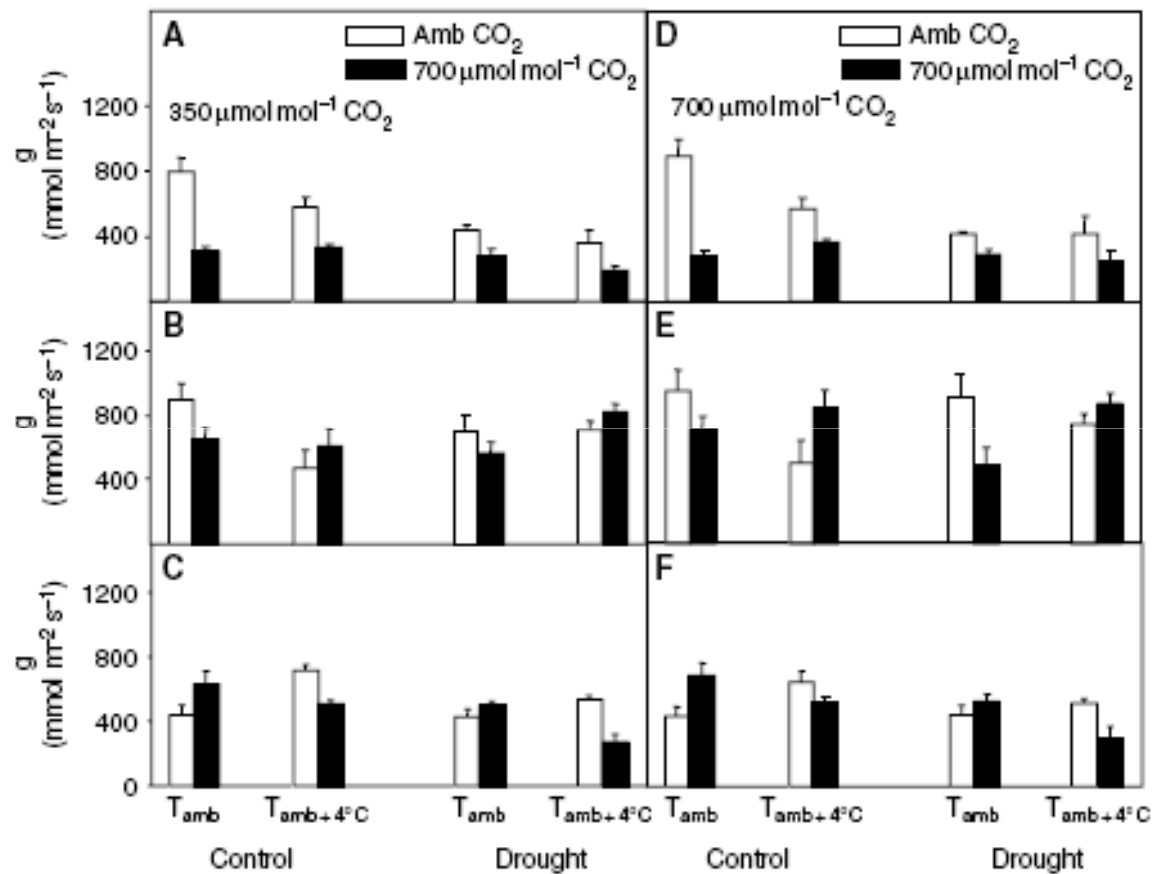


Fig. 2. Effect of CO₂, temperature and water availability on leaf conductance (g) in nodulated alfalfa at the end of the vegetative normal growth period (A and D), after 15 days (B and E) and 30 days of regrowth (C and F) measured at 350 and 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Otherwise as for Fig. 1.

Antitranspiranty

- 1) tvořící film s omezenou propustností (např. polyvinyliden chlorid, polyvinyl chlorid, polystyren, polyetylen, polypropylén, silicon) - nebyla nalezena látka více propustná pro CO₂ než pro vodu
- 2) ovlivňující otevřenost průduchů (např. CO₂, ABA, octan fenylměďnatý, octan fenylrtuťnatý, kyselina jantarová, kyselina acetylsalicylová) - často finálně náročné nebo jedovaté
- 3) zvyšující odraz světla (např. kaolin)
- Vždy dochází nejen k omezení transpirace ale také fotosyntézy a růstu, proto praktické použití pouze ve speciálních případech

Časová a prostorová škála procesů spojených s vodním režimem rostlin

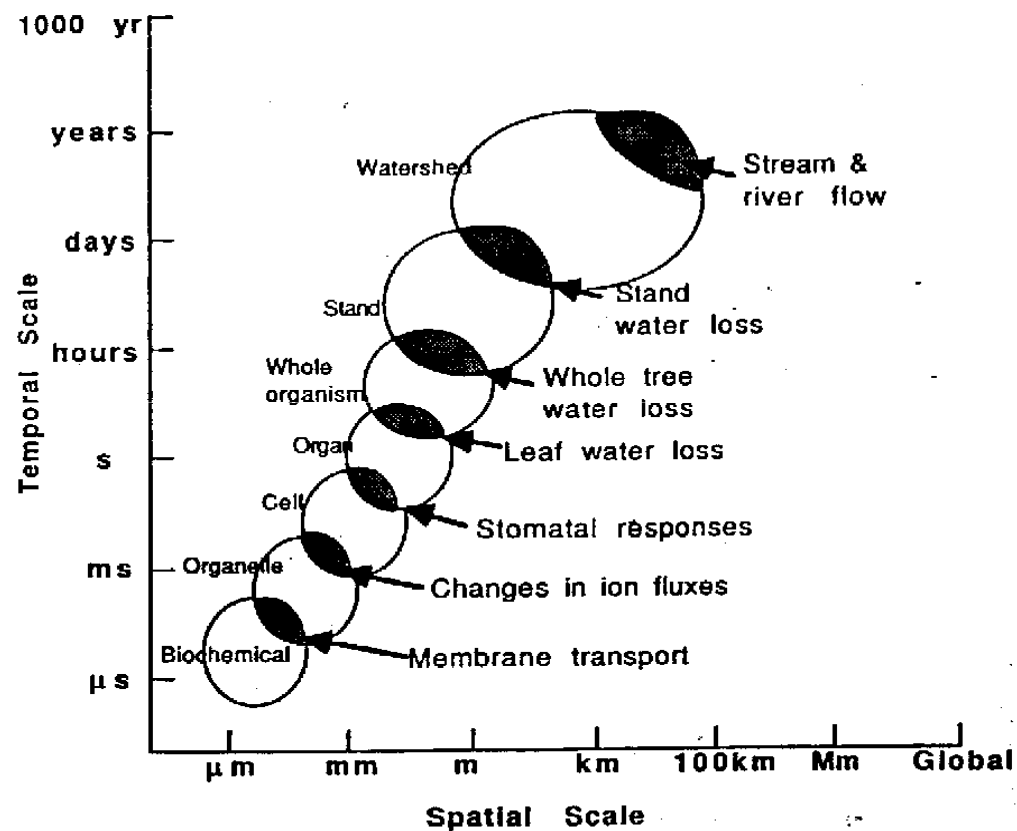


Figure 4 Temporal and spatial scales of processes associated with stomata. Bubbles represent hierarchical levels while shaded areas between bubbles indicate areas where exchange and feedbacks from one level to another may occur.