

Fyziologické aspekty možných dôsledkov zmeny klímy na lesné dreviny

J. Kmeť, T. Priwitzer, K. Střelcová: Possible Consequences of the Global Climate Change on Physiological Processes in the Forest Trees. Život. Prostr., Vol. 34, No. 2, 89–92, 2000.

The CO₂ enrichment of the atmosphere is now well documented and its direct effects on the physiological processes of short-term experiments have shown an increased photosynthetic rate and biomass production of trees. In longer experiments this increase is reduced after few weeks or months (an acclimation process). Elevated CO₂ seems to decrease the dark respiration rate, but the results are still controversial. The atmospheric CO₂ enrichment tends to lower tree stomatal conductances, and this phenomenon reduces tree transpiration rates. The CO₂ enriched plants possess more leaf area from which water may be lost. It is not known how these competing phenomena influence the depletion of soil water and the consequent productivity of trees when water is limiting their growth.

Globálne zmeny v atmosfére a ich predpoveď na nasledujúcich 50 rokov (Eamus, Jarvis, 1989) v súvislosti s vplyvom na zónu temperátnych lesov sú jednou z najdôležitejších oblastí štúdia rastlinných fyziológov. Kontinuálne a dlhodobé sledovanie vplyvu meniacich sa podmienok prostredia na fyziologické procesy prebiehajúce v drevinách je zložité, vzhľadom na ich veľké rozmery a dlhovekosť. Výskum je väčšinou zameraný na sadenice, prípadne mladé dreviny umiestnené v kontrolovaných podmienkach prostredia, iba málo publikovaných prác sa týka dospelých drevín. Vplyv globálnych klimatických zmien treba skúmať komplexnejšie, pri hodnotení fyziologických účinkov zvýšenej koncentrácie CO₂ v atmosfére, teploty, žiarenia a vetra, ich periodicity v priebehu dňa a roka i variability vo vnútri ekosystémov. Odozva drevín rastúcich v prirodzených podmienkach na zmenené prostredie môže byť ovplyvnená procesom adaptácie, teda vplyv zvyšovania CO₂ a teploty na fyziologické procesy môže byť menej výrazný (Kmeť a kol., 1996).

Fotosyntetickú asimiláciu CO₂ možno považovať za kľúčový fyziologický proces v celej biosfére, pretože je základným procesom tvorby biomasy, ako aj zdrojom energie a látok potrebných na zachovanie biomasy už existujúcej. Preto je veľmi dôležité poznať ako vplýva zvyšovanie koncentrácie CO₂ v atmosfére (tento jav je

súčasťou globálnej klimatickej zmeny) na fotosyntetickú aktivitu lesných drevín. Pôsobenie zvýšenej koncentrácie CO₂ na asimilačný aparát možno podľa doby pôsobenia rozdeliť na tri skupiny:

- okamžitá odozva (doba pôsobenia zvýšeného CO₂ sekundy až minúty),
- krátkodobá odozva (dni, týždne, maximálne jedna sezóna),
- dlhodobá odozva (roky).

Krátkodobá zvýšená koncentrácia CO₂ v lesných drevinách spôsobuje zvýšenie rýchlosti fotosyntetickej asimilácie. Tá ale silne závisí od ostatných environmentálnych faktorov (Mousseau, Saugier, 1992). Pri všetkých našich lesných drevinách je zvýšenie najmenšie pri nízkych teplotách a vzrastá so stúpajúcou teplotou. Zdá sa, že dôležitejšie, najmä na zistenie možností prispôsobenia sa lesných drevín globálnej klimatickej zmene, je skúmanie dlhodobého pôsobenia zvýšenej koncentrácie CO₂ na fotosyntetickú asimiláciu. Dlhodobé i krátkodobé pôsobenie zvýšenej koncentrácie CO₂ na asimilačný aparát môže viesť k vychýleniu rovnovážnych procesov – od absorpcie fotosynteticky aktívneho žiarenia až po produkciu. Oproti stimulačnému účinku pri krátkodobom pôsobení veľa autorov uvádza, že pri dlhodobom pôsobení zvýšeného CO₂ klesá fotosyntetická aktivita (nastane aklimačná depresia fotosyntézy). Depresia fo-



tosyntetickej aktivity dosahuje 30–40 %. Iný je jej časový nástup pri bylinách, iný pri listnatých, iný pri ihličnatých drevinách. Výrazná depresia asimilácie CO₂ sa prejavila pri smreku (*Picea abies* L.) na konci vegetačnej sezóny (Marek a kol., 1995), pri iných drevinách, napr. buku lesnom (*Fagus sylvatica* L.), sa výskyt spomínaného javu nepotvrdil (Coulemans, Mousseau, 1994). Aklimačná depresia fotosyntézy pri dlhodobej kultivácii smreka obvyčajného v atmosfére s dvojnásobnou koncentráciou CO₂ sa prejavuje nielen na úrovni sekundárnych, ale aj primárnych reakcií fotosyntézy.

Aj efektívnosť využitia fotosynteticky aktívneho žiarenia (FAR) pre fotochemické procesy klesá pri jedincoch smreka v prostredí s dvojnásobnou koncentráciou CO₂ a so vzrastajúcim FAR. Primárne (fotochemické) procesy

sa v bežnom rozsahu teplôt menia len veľmi málo. Citlivejšie sú sekundárne (biochemické) procesy fotosyntézy. Ich rýchlosť sa so stúpajúcou teplotou zvyšuje až po zhruba 40 °C, pri ktorej začína denaturácia enzýmov.

Aklimačnú depresiu fotosyntézy často sprevádza preukázateľná akumulácia sacharidov v asimilačnom pletive ihlíc (nárast o 34 %). Chloroplasty v dôsledku výraznej akumulácie asimilátov praskajú, čím je priamo ohrozená ich funkčnosť. Výskyt a mieru aklimačnej depresie fotosyntetickej aktivity výrazne ovplyvňujú aj ďalšie faktory vonkajšieho prostredia. Ide predovšetkým o úroveň výživy dusíkom, čo je rozhodujúce aj pre konečnú produkciu.

V dôsledku zoslabovania stratosférickej ozónovej vrstvy vzrastá podiel ultrafialovej zložky žiarenia ako sprievodného javu globálnej klimatickej zmeny. Ultrafialové žiarenie (UV) predstavuje elektromagnetické žiarenie v rozmedzí 200–400 nm. UV-B žiarenie (280–320 nm) ovplyvňuje rast a funkcie rastlín prostredníctvom jeho absorpcie bielkovinami a nukleovými kyselinami a nasledujúcim zhubným vplyvom na ich celistvosť a funkčnosť. Vplyv tohto žiarenia na fotosyntézu je výrazný vo fotochemických a biochemických procesoch, menší v činnosti prieduchov (Stewart, Hoddinott, 1993).

Zmeny v respiračnej aktivite môžu byť dôležitým faktorom pôsobiacim na celkovú bilanciu uhlíka drevín ras-

túcich v podmienkach zvýšenej koncentrácie CO₂. Názory odborníkov na pôsobenie zvýšeného množstva CO₂ na respiračné procesy drevín sa rôznia. V dostupných vedeckých prácach je veľmi málo údajov o vplyve zvyšovania obsahu CO₂ na respiráciu drevnatých častí stromov a koreňov drevín.

Zvyšovanie asimilácie vedie k nárastu objemu biomasy celých rastlín v dôsledku krátkodobého vplyvu vyššieho obsahu CO₂. V takých podmienkach sa veľmi často vyskytuje zväčšovanie listovej plochy a hmotnosti listov, ako aj nárast biomasy koreňov, ktorá je často proporcionálne väčšia ako biomasa výhonkov. Ceulemans a Mousseau (1994) uvádzajú, že priemerný prírastok biomasy drevín rastúcich pri zvýšenej koncentrácii CO₂ sa zvýšil o 38 % pre ihličnaté a o 63 % pre listnaté dreviny,

príčom priemerný nárast fotosyntézy na jednotku plochy sa zvýšil o 40 % pre ihličnaté a o 61 % pre listnaté dreviny. Asimilačná plocha ihličnatých drevín sa zvýšila v priemere o 24 %, v prípade listnatých drevín o 33 %. Tieto údaje sa však týkajú len juvenilných jedincov (do veku 5 rokov), ktoré vo viacerých prípadoch mali obmedzený rastový priestor. Pri starších drevinách, na rozdiel od sadeníc a semenáčikov, zrejme nevyhnutne nemusíme očakávať dramatickú reakciu rastu na zvýšenú koncentráciu CO_2 .

Pri posudzovaní vplyvu zvýšenej koncentrácie CO_2 na transpiráciu a celkovú evapotranspiráciu porastov treba brať do úvahy možnú zmenu indexu listovej pokrývnosti (LAI), zmenu biomasy koreňov, akumuláciu opadu a ďalšie skutočnosti, ktoré môžu ovplyvniť celkovú evapotranspiráciu na jednotku plochy porastu. Nárast koncentrácie CO_2 pri súčasnom zvýšení teploty ovzdušia má na celkovú evapotranspiráciu protichodný účinok. Je predpoklad, že buk a smrek, naše najvýznamnejšie hospodárske dreviny, budú reagovať na zmenené podmienky odlišne, čo vyplýva z uskutočnených meraní transpirácie na jednotlivých asimilačných orgánoch. Kvantifikovanie zmeny transpirácie jednotlivých druhov drevín vplyvom meniacej sa klímy je však komplikované závislosťou tohto procesu od mnohých faktorov a protichodnosťou jednotlivých účinkov.

Vodný režim drevín v našich podmienkach môže byť determinovaný okrem iného i klesajúcim trendom množstva zrážok, hlavne počas vegetačného obdobia. Deficit zrážok v poslednom desaťročí, ale aj v r. 1961–1990 (Faško, Lapin, 1994), častý výskyt suchých a veľmi suchých období spôsobuje okrem iného zvyšovanie deficitu pôdnej vlhky vo vegetačnom období. Táto zmena sa najvýraznejšie prejavuje v smrekových porastoch (prekorenením v povrchových vrstvách pôdy), stále častejšie sú tu vlhkostné pomery narušené, s obmedzenou, resp. nedostatočnou zásobou využiteľnej vody. Z fyziologického hľadiska veľmi nepriaznivo pôsobia júlové deficity zrážok, pričom v minulosti väčšina staníc Slovenska zaznamenávala maximálne zrážkové úhrny práve v tomto mesiaci. Zdá sa, že osobitne ohrozenou drevinou v súvislosti s rastúcim deficitom zrážok vo vegetačnom období je smrek, predovšetkým v oblastiach mimo prirodzeného areálu rozšírenia, vzhľadom na jeho vysokú náročnosť na vodu. Otvorená však ostáva otázka upresnenia hraníc intervalov prístupnosti vody pre dreviny. Tento problém sa dnes správne posudzuje ako dynamická, procesná záležitosť, v ktorej sa uplatňuje individualita a prispôbivosť dreviny (Kmeť a kol., 1996).

Pri dostatočne vlhkej pôde transpirácia závisí hlavne od atmosférických podmienok, kým pri vysychajúcej pôde a dehydratácii pletív sa prieduchy uzatvárajú a transpirácia je obmedzená. Sprievodný vodný stres re-



dukuje rast buniek a výhonkov, zapríčiňuje uzatvorenie prieduchov, inhibuje fotosyntézu a ovplyvňuje ďalšie fyziologické procesy. V konečnom dôsledku vedie k zúženiu letokruhov v rokoch s výskytom sucha. Ak je absorpcia vody koreňmi dlhodobejšie príliš malá na to, aby nahradila straty vody, môže dôjsť k trvalému vädnutiu. Vplyv sucha na dreviny sa obvykle najviac prejavuje koncom leta, pretože na začiatku tohto ročného obdobia (aj pri malých zrážkach) môžu dreviny ešte využiť zásoby vody v pôde naakumulované počas zimy. V období sucha môžu plytkokorenné a hlbokokorenné dreviny v tom istom poraste reagovať úplne odlišne. Plytkokorenné druhy (napr. smrek) reagujú na sucho v prvom rade zvýšenou hydraulickou vodivosťou, zatiaľ čo dreviny s hlbším koreňovým systémom (dub, buk, borovica) môžu i v takýchto podmienkach transpirovať dlhšie bez väčšej zmeny (Čermák, 1996).

V znečistenom ovzduší sa vyskytujú aj látky so značným negatívnym vplyvom – fotooxidanty. Pojem “fotooxidanty” zahŕňa sekundárne škodliviny v ovzduší, ktoré vznikajú fotochemickými reakciami za prítomnosti oxidov dusíka a organických látok, najmä nenasýtených uhľovodíkov, pri pôsobení slnečného žiarenia. Hoci fotooxidanty predstavujú mimoriadne heterogénnu skupinu látok, prevažná časť ich účinkov na fyziologické reakcie drevín súvisí s ozónom. Toxicita troposférického (prízemného) ozónu pre asimilačné orgány drevín je výsledkom súboru chemických reakcií. Najaktívnejšie z rozkladných produktov sú hydroxylové radikály, tie pravdepodobne poškodzujú bunkové membrány. Prvým prejavom chronického poškodenia ozónom je obvykle úbytok chlorofylu, prejavujúci sa blednutím zeleného zafarbenia ihlič a listov, prípadne vznikom chlorotických a neskoršie nekrotických škvŕn. Nasleduje postupné vysychanie a odumieranie ovplyvneného pletiva. Fytotoxicita ozónu je veľmi dobre zdokumentovaná a zahŕňa širokú škálu fyziologických efektov skúmaných na veľkom množstve rôznych druhov drevín. V podmienkach globálneho znečistenia atmosféry však nepôsobia komponenty imisíí jednotlivo, ale v zmesiach a v súvislosti s drevinami ide o jasný synergický efekt. Koncentrácia troposférického ozónu v ovzduší stúpa s nadmorskou výškou. Interakcie ozónu, mrazu, sucha a intenzívnej slnečnej radiácie sú dôležité faktory, ktoré prispievajú k poškodeniu smrekov vo vyšších polohách (obzvlášť silné stresové zaťaženie ihlič predstavuje kombinácia nízkych teplôt s vysokými intenzitami svetelného stresu – *photochilling*).

Priebeh počasia – alebo všeobecnejšie charakter klímy – veľmi podstatne ovplyvňuje aj populačnú dynamiku hmyzu. Klimatické zmeny, predovšetkým otepľovanie, môžu pôsobiť v zásade dvojakým spôsobom. Buď vývin hmyzu podporujú (častejší prípad), alebo ho obmedzujú. Klimatické faktory pôsobia na populácie hmyzu jednak priamo, urýchlením alebo spomalením ich vývinu, jednak nepriamo, prostredníctvom vplyvu na zdravotný stav hostiteľa. Vhodné podmienky na premnoženie fytofágneho hmyzu viazaného na lesné dreviny vznikajú práve v dôsledku primárneho oslabovania hostiteľských rastlín rôznymi poruchami, najmä suchom pri hlbokom zrážkovom deficite, dlhodobým pôsobením vysokých teplôt počas vegetačného obdobia, príp. veľmi miernou zimou s nedostatčným vegetačným pokojom. V našich podmienkach treba brať do úvahy aj ďalší zdroj primárneho oslabovania adrevín – imisný impakt, ktorý môže klimatické vplyvy ešte zosilňovať. V súčasnosti je najviac postihnutý smrek. Kalamitné hynutie smreka má pandemický charakter v celej Európe a urýchľuje ho premnoženie kôrovcov.

Na predpovedanie reakcie drevín a porastov na zmenené podmienky prostredia v budúcnosti sú potrebné

dlhodobé sledovania fyziologických procesov (fotosyntézy, respirácie, transpirácie a transportu vody v drevinách i v pôde), čo umožní procesy modelovať a na základe toho prognózovať správanie sa drevín a lesných ekosystémov.

Literatúra

- Ceulemans, R., Mousseau, M., 1994: Effects of Elevated Atmospheric CO₂ on Woody Plants. *New Phytol.*, 127, p. 425–446.
- Čermák, J., 1996: Direct Measurements of Transpiration in Forest Stands and its Dynamics under Contrasting Environmental Conditions. In: Nemešová, I. (ed.): Climatic Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation, Proceedings of the Regional Workshop Prague, p. 171–186.
- Eamus, D., Jarvis, P. G., 1989: The Direct Effects of Increase in the Global Atmospheric CO₂ Concentration on Natural and Commercial Temperate Trees and Forests. *Advances in Ecological Research*, 19, p. 1–55.
- Faško, P., Lapin, M., 1994: Pozoruhodné zrážky na Slovensku v apríli a máji 1994 v dlhodobom rade pozorovaní. *Bulletin SMS pri SAV*, V, 2, p. 7–16.
- Kmeť, J., Štrelcová, K., Priwitzter, T., 1996: Vplyv globálnych zmien klímy na ekofyziologické procesy lesných drevín. In: Mindáš, J., Lapin, M., Škvarenina, J. (eds): Klimatické zmeny a lesy Slovenska. NKP SR, 5, p. 63–68.
- Marek, M. V., Kalina, J., Matoušková, M., 1995: Response of Photosynthetic Carbon Assimilation of Norway Spruce Exposed to Long-term Elevation of CO₂ Concentration. *Photosynthetica*, 31, 2, p. 209–220.
- Mindáš, J., Lapin, M., Škvarenina, J., 1996: Klimatické zmeny a lesy Slovenska. NKP SR, 5, 98 pp.
- Mousseau, M., Saugier, B., 1992: The Direct Effect of Increased CO₂ on Gas Exchange and Growth of Forest Tree Species. *J. Exp. Bot.*, 43, p. 1121–1130.
- Stewart, J. D., Hoddinott, J., 1993: Photosynthetic Acclimation to Elevated Atmospheric Carbon Dioxide and UV Irradiation in *Pinus banksiana*. *Physiologia Plantarum*, 88, p. 493–500.

Doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD. (1957), vedecko-pedagogický pracovník Katedry fytoľógie Lesníckej fakulty TU Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen
E-mail: kmet@vsld.tuzvo.sk

Ing. Tibor Priwitzter, PhD. (1968), vedecký pracovník Lesníckeho výskumného ústavu, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen. E-mail: tibor.priwitzter@fris.sk

Ing. Katarína Štrelcová (1963), vedecko-pedagogická pracovníčka Katedry prírodného prostredia Lesníckej fakulty TU Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen
E-mail: strelcova@vsld.tuzvo.sk