

TOKY CO₂ Z KRASOVÝCH PŮD DO VNĚJŠÍ ATMOSFÉRY

CO₂ fluxes from karst soils into external atmosphere

Martin Blecha^{1,2}, Jiří Faimon¹, Jana Podhrázká²

¹ Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: faimon@sci.muni.cz

² Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. (VÚMOP, v. v. i.), Žabovřeská 250, 256 27 Praha 5 – Zbraslav

(24-41 Vyškov)

Key words: atmosphere, CO₂, concentration, fluxes, soil, Moravian Karst

Abstract

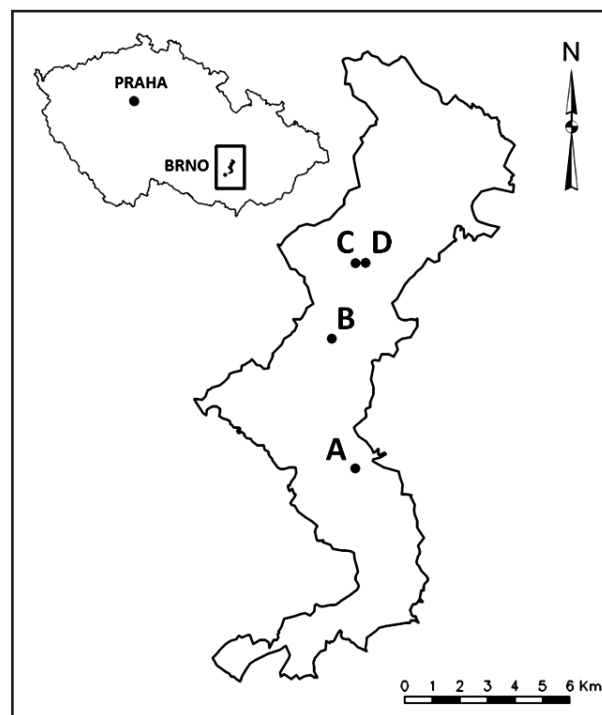
CO₂ fluxes from soils into external atmosphere were studied at selected sites of the Moravian Karst. CO₂ escaping from soil surface was gathered in a special measuring chamber. From time evolution of the CO₂ concentration in the chamber, CO₂ fluxes and soil CO₂ concentrations were calculated. Both the fluxes and concentrations showed strong seasonality at all sites with maximum during the spring-summer season and minimum during autumn-winter season. The maximum of CO₂ fluxes and concentrations reached $6 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and 2000 ppmv, respectively. The CO₂ fluxes were significantly affected by rainfall.

Úvod do problematiky

Role CO₂ je v karbonátových krasových systémech nezastupitelná: parciální tlaky CO₂ jsou řídicí proměnnou krasových procesů jako je (i) rozpouštění karbonátových hornin v epikrasu (Ford – Williams 2007, Stumm – Morgan 1996), (ii) růst speleotém v jeskynních systémech (Faimon et al. 2000, Fairchild et al. 2006), (iii) případně i koroze speleotém (Sarbu – Lascu 1997, Baldini et al. 2006). Významným zdrojem CO₂ jsou půdy, ve kterých je CO₂ produkováno (1) autotrofním dýcháním kořenového systému vegetačního pokryvu a (2) heterotrofní biodegradací organického detritu (Kuzakov – Cheng 2001, Kuzakov 2006). Heterotrofní mikrobiální aktivita, která transformuje organický C na CO₂, převládá ve spodních partiích půdního profilu (Fierer et al. 2005). Kromě vlivu na globální cykly uhlíku lze z toků CO₂ do atmosféry odhadovat i toky do podloží (vadózní zóny), ať už přímo (CO₂ difunduje do všech směrů v závislosti na koncentračním gradientu) nebo zprostředkovaně vsakujícími se krasovými vodami (Ford – Williams 2007).

Produkce CO₂ v půdách závisí na celé řadě faktorů, primárně na teplotě a vlhkosti půdní atmosféry. Dále se uplatňuje hloubka a charakter půdního profilu, množství a povaha organického detritu (odvozená od typu, hustoty a stáří vegetačního pokryvu), úhrny srážek, fotosyntéza rostlin, intenzita slunečního záření a různé antropogenní vlivy (např. intenzivní zemědělská činnost). Koncentrace CO₂ v půdním vzduchu jsou mnohonásobně vyšší (běžně kolem 1,0 obj. %) než v atmosféře (0,038 obj. %). Někteří autoři uvádí, že až 75 % veškerého CO₂ v půdách je produkováno v prvních 20 cm půdního profilu (Jassal et al. 2005). Klíčová je humusová vrstva, která dodává do půdního profilu až 37 % veškerého CO₂ (Zimmermann et al. 2009). Koncentrace CO₂ v půdním profilu vykazují výrazné denní a sezónní oscilace s maximy během letních měsíců.

Předpokládá se, že směrem do hlubších partií půdního profilu narůstá koncentrace CO₂ a dochází k mazání výrazných denních i sezónních výkyvů v produkci půdního CO₂, protože teplota, která tyto výkyvy především řídí, se uplatňuje pouze ve svrchních partiích půdního profilu (Nakadai et al. 2002, Hashimoto et al. 2007). V chladných měsících přispívají nejvýrazněji k celkové produkci CO₂ spodní vrstvy půdního profilu (Hashimoto et al. 2007).



Obr. 1: Mapka místa studia (Moravský kras). Detaily vzorkovacích míst jsou uvedeny v textu.

Fig. 1: Sites of study (Moravian Karst). Details on monitoring sites are given in text.

Metodika

Místo měření

Pro monitoring byly na území CHKO Moravský kras vybrány 4 lokality s odlišným vegetačním pokryvem: (A) lokalita na k. ú. Březina v blízkosti jeskyně Výpustek v listnatém lese, (B) lokalita na k. ú. Rudice v monokulturním jehličnatém lese, (C) neobdělávaná louka na Harbešské plošině s travnatým porostem a (D) zemědělsky využívaná orná půda (pole) tamtéž (viz obr. 1). Monitoring probíhal v měsíčních intervalech od ledna 2011 do ledna 2012. V květnu 2011 byl monitoring proveden 2×, před silnými dešti a bezprostředně po nich.

Způsob měření

CO₂ uvolňovaný z povrchu půdy o celkové ploše $S = 0,09 \text{ m}^2$ byl shromažďován ve speciální měřicí komoře o objemu $V = 91$. Koncentrace CO₂ v komoře byla detekována pomocí univerzálního měřiče ALMEMO 2290-4 V5 s detektorem FT A600-CO2H (Ahlborn, Německo). Krok detekce byl 1 minuta, celková délka měření 25 minut a více, dokud koncentrace CO₂ v komoře nedosáhly stacionárního stavu. Zpracování dat proběhlo v programu Microsoft Excel v. 10.

Výsledky a jejich diskuze

Naměřená data, tj. časové řady $c_{\text{CO}_2} = f(t)$ (kde c_{CO_2} je koncentrace CO₂ v ppmv a t je čas v minutách) byly proloženy obecnou exponenciální funkcí

$$c_{\text{CO}_2} = c_0 + \left(\frac{b_1}{b_2} \right) \left(1 - e^{-b_2 t} \right), \quad (1)$$

kde c_0 odpovídá počáteční koncentraci CO₂ (v čase $t = 0$), t je čas, b_1 a b_2 jsou parametry funkce. Derivace této funkce odpovídá nárůstu koncentrace CO₂ uvnitř měřicí komory v čase

$$\frac{dc_{\text{CO}_2}}{dt} = b_1 e^{-b_2 t} \quad (2)$$

Hodnota derivované funkce v čase $t = 0$ je úměrná toku CO₂ z půdy

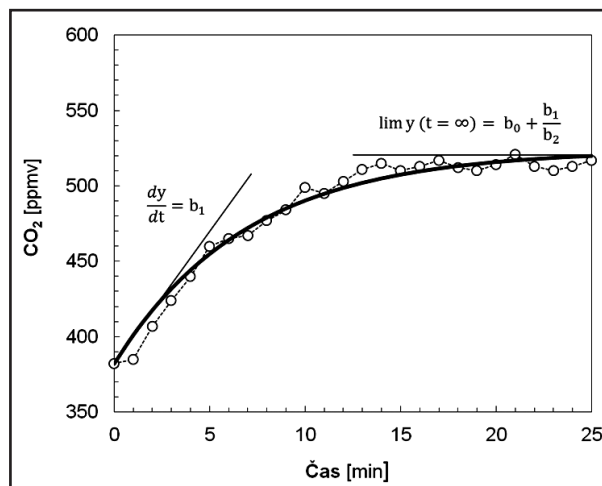
$$\frac{dc_{\text{CO}_2}}{dt} (t = 0) = b_1 \quad (3)$$

Pro koncentraci CO₂ ve stacionárním stavu $c_{\text{CO}_2}^{\text{ss}}$, tj. v čase $t = \infty$ platí

$$c_{\text{CO}_2}^{\text{ss}} = c_0 + \frac{b_1}{b_2} \quad (4)$$

Regresí dat (proložení dat rovnicí (1) metodou nejmenších čtverců za pomoci funkce SOLVER/ŘEŠITEL v programu MS EXCEL) byly pro každou sadu měření určeny parametry c_0 , b_1 a b_2 (obr. 2). Dosazením parametrů do rovnice (4) byla zjištěna koncentrace $c_{\text{CO}_2}^{\text{ss}}$. Po přepočtu monitorované plochy povrchu půdy z $0,09 \text{ m}^2$ na 1 m^2 , koncentrace CO₂ v měřicí komoře o objemu $V \sim 9$ litrů na látkové množství v molech a času z minut na sekundy byly z hodnot parametru b_1 určeny hmotové toky CO₂ v $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

V jehličnatém lese dosahovala maxima v tocích CO₂ (červen a červenec) až $6 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Koncentrace CO₂ v půdní atmosféře lehce překročily 1 000 ppmv. Minima v koncentracích a tocích CO₂ odpovídala období



Obr. 2: Regrese dat exponenciální funkcí.

Fig. 2: Data fitting by exponential function.

vegetačního klidu od listopadu do února. V listnatém lese byly pozorovány zvýšené koncentrace půdního CO₂ od května do července a to až 2 000 ppmv. Maxima v tocích CO₂ (květen) dosahovala $5 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Půdy staré louky dosahovaly maxima (květen–červenec) 900 ppmv, tok CO₂ byl $4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Útlum v produkci CO₂ nastal koncem září a trval až do konce února (minimální až nulové toky). Koncentrace CO₂ a toky z půd obdělávaného pole vykazovaly pozvolný nárůst od měsíce března a útlum v srpnu po sklizni. Koncentrace se pohybovaly kolem 500 ppmv a toky kolem $1 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Výrazný nárůst a maxima byla zaznamenána v červenci, až 1 000 ppmv a tok $4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ bezprostředně před sklizní řepky olejné. Toky z půd směrem do vnější atmosféry tak dosahovaly řádově hodnot tuny CO₂ na hektar a rok.

Zásadní vliv na monitorované proměnné měly srážky: v období po vydatných deštích se koncentrace CO₂ v detekční komoře blížila koncentraci ve vnější atmosféře s minimálními až nulovými toky. Díky dešti zřejmě došlo k zaplnění půdních pórů a k nasycení půdy vodou. Důsledkem tohoto jevu bylo snížení difúzní schopnosti CO₂ a omezená migrace do atmosféry.

Výsledky jsou v dobré shodě s jinými autory. Např. Frank et al. (2002) uvádí na semiaridních loukách, kde se teplota v době vegetačního růstu pohybovala kolem 10 °C, průměrný tok kolem $1 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (tato studie pro podobné teploty na louce cca $2 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Jassal et al. (2005) uvádí pro boreální les při $t = 18 \text{ °C}$ maximální toky CO₂ až $7 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ se 40% poklesem po výrazném dešti (tato studie určila toky z půd v jehličnatém lese až $6 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ s poklesem o 50 %).

Závěr

Na všech sledovaných lokalitách Moravského krasu vykazovaly koncentrace půdního CO₂ a toky CO₂ do venkovní atmosféry podobnou sezónní závislost, tedy maxima během jarních/letních měsíců a minima v podzimních/zimních. Maximální hodnoty koncentrací půdního CO₂ se pohybovaly kolem 2 000 ppmv a toky CO₂ kolem $6 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Zvýšené toky byly pozorovány v listnatém lese, naopak toky CO₂ z obdělávaného pole byly oproti ostatním

lokalitám nižší. Zásadní vliv na velikost výstupních toků měly dešťové srážky, které snižovaly propustnost půd.

Panuje všeobecný konsensus, že toky CO₂ do krasového podloží jsou zhruba o řád nižší než do vnější atmosféry, především díky výrazně nižší propustnosti a vyšší mocnosti vadózní zóny. Pokud jsou tedy měřené hodnoty toků CO₂ z krasových půd Moravského krasu do vnější atmosféry řádově $X \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, nelze uvažovat toky ve směru vadózní zóny resp. jeskyní převyšující $X \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Poděkování

Autoři děkují recenzentovi J. Zemanovi za věcné připomínky. Příspěvek vznikl za podpory výzkumných záměrů MSM0021622412 MŠMT a MZE0002704902 MZe ČR.

Literatura

- Baldini, J. U. L. – Baldini, L. M. – McDermott, F. – Clipson, N. (2006): Carbon dioxide sources, sinks, and spatial variability in shallow temperate zone caves: Evidence from Ballynamintra Cave, Ireland. – *Journal of Cave and Karst Studies* 68, 4–11.
- Faimon, J. – Štelcl, J. – Zimák, J. – Slavík, P. (2000): Dynamika skapových vod (Císařská jeskyně, Moravský kras). *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1999*, 147–149.
- Fairchild, I. J. – Tuckwell, G. W. – Baker, A. – Tooth, A. F. (2006): Modelling of dripwater hydrology and hydrogeochemistry in a weakly karstified aquifer (Bath, UK): Implications for climate change studies. – *Journal of Hydrology* 321, 213–231.
- Fierer, N. – Chadwick, O. A. – Trumbore, S. E. (2005): Production of CO₂ in Soil Profiles of a California Annual Grassland. – *Ecosystems* 8, 412–429.
- Ford, D. C. – Williams, P. (2007): *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. – Wiley; Revised edition.
- Frank, A. B. – Liebig, M. A. – Hanson, J. D. (2002): Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands. – *Soil Biology & Biochemistry* 34, 1 235–1 241.
- Hashimoto, S. – Tanaka, N. – Kume, N. – Yoshifuji, N. – Hotta, N. – Tanaka, K. – Suzuki, M. (2007): Seasonality of vertically partitioned soil CO₂ production in temperate and tropical forest. – *Journal of Forest Research* 12, 209–221.
- Jassal, R. – Black, A. – Novak, M. – Morgenstern, K. – Nestic, Z. – Gaumont-Guay, D. (2005): Relationship between soil CO₂ concentrations and forest-floor CO₂ effluxes. – *Agricultural and Forest Meteorology* 130, 176–192.
- Kuzyakov, Y. – Cheng, W. (2001): Photosynthesis controls of rhizosphere respiration and organic matter decomposition. – *Soil Biology & Biochemistry* 33, 1 915–1 925.
- Kuzyakov, Y. (2006): Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. – *Soil Biology & Biochemistry* 38, 425–448.
- Nakadai, T. – Yokozawa, M. – Ikeda, H. – Koizumi, H. (2002): Diurnal changes of carbon dioxide flux from bare soil in an agricultural field in Japan. – *Applied Soil Ecology* 19, 161–171.
- Sarbu, S. M. – Lascu, C. (1997): Condensation corrosion in Movile cave, Romania. – *Journal of Cave and Karst Studies* 59, 99–102.
- Stumm, W. – Morgan, J. J. (1996): *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. – Wiley-Interscience; 3rd edition.
- Zimmermann, M. – Meir, P. – Bird, M. – Malhi, Y. – Ccahuana, A. (2009): Litter contribution to diurnal and annual soil respiration in a tropical montane cloud forest. – *Soil Biology & Biochemistry* 41, 1 338–1 340.