

# Oxid uhličitý – opomíjený výnosový faktor

**Hmotnost rostlin na poli je vyjádřena tzv. svěží hmotností, na níž se největší měrou podílí voda. Tato voda je hospodářsky prakticky bezcenná a v řadě případů by ji zemědělec rád nechával na poli, aby ji nemusel nákladně transportovat a následně se jí sušením zbavovat. Zbaví-li se biomasa vody, zůstane tzv. sušina, která představuje rozhodující základ každého hospodářského výnosu. V této souvislosti lze připomenout, že i nízký obsah vody ve zralých obilkách obilnin nesporně představuje vynikající technologickou přednost těchto plodin a spolupodílel se na tom, že právě kukuřice, rýže a pšenice tvoří celosvětově základ potravin člověka.**

Uvedená sušina rostlin je opět tvořena především **organickými látkami** (cukry, bílkoviny, tuky), zatímco minerální (neústrojně) látky (dusík, fosfor, draslík aj.) přispívají asi jen pěti až deseti hmotnostními procenty k celkové hmotnosti sušiny rostlin.

Z hlediska tvorby biomasy rostlin i utváření hospodářského výnosu všech plodin patří **atmosférický oxid uhličitý mezi nejdůležitější substráty**. S využitím energie slunečního záření jej rostliny zabudovávají do organických látek, které tak tvoří až 90 % veškeré hmotnosti sušiny rostlin. A není jisté obtížné představit si, že větší dostupnost oxidu uhličitého by se měla projevit také větší tvorbou organických látek, a tedy i hospodářského výnosu dané plodiny. Tato skutečnost je rostlinným fyziologům známa už téměř 200 let, přičemž minimálně stouletou tradicí má praktické využití tohoto poznatku při pěstování zahradních rostlin ve sklenicích.

## Změny koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře

Dnes je již obecně známo, že od počátku 19. století se koncentrace CO<sub>2</sub> postupně zvyšuje, takže v průběhu oněch uplynulých 200 let se zvýšila přibližně z 280 ppm na současných 370 ppm, tj. asi o plnou jednu třetinu. (Ppm udává jednu miliontinu, tzv., že v jednotce objemu vzduchu se nachází 370 miliontin této jednotky objemu CO<sub>2</sub>. Jinak vyjádřeno: stávající koncentrace CO<sub>2</sub> odpovídá množství 370 mikrolitrů CO<sub>2</sub> v jednom litru vzduchu.) Průběh změn koncentrace CO<sub>2</sub> v uplynulých 1000 letech ilustruje graf č. 1. Je zřejmé, že při relativně malém kolísání během prvních osmi

století druhého tisíciletí se koncentrace CO<sub>2</sub> udržovala na konstantní hodnotě kolem 280 ppm. Poslední dvě století se vyznačují nárůstem, který neměl obdobu během několika set tisíc roků. Tuto změnu v 2. polovině minulého století ilustruje graf č. 2. Dále pak z grafu č. 3 lze odvodit nejen to, že se každoročně koncentrace CO<sub>2</sub> zvyšuje asi o 1 až 2 ppm, ale že se také rychlost tohoto nárůstu zvyšuje. To je patrné z lineární regrese (přímka v grafu) v uvedeném časovém období. Vzhledem k tomu, že základním zdrojem tohoto zvyšování atmosférické koncentrace CO<sub>2</sub> je spalování fosilních paliv (uhlí, ropa, plyn) a biomasy, nelze během nejbližší budoucnosti očekávat zastavení tohoto trendu.

V souladu s výše uvedenou funkcí oxidu uhličitého můžeme tvrdit, že výrazný vzestup výnosů většiny plodin v minulém století byl alespoň do jisté míry podmíněn také zvyšující se koncentrací CO<sub>2</sub> v atmosféře Země. Pro takové tvrzení existují také experimentální doklady.

Ovšem více než problematika příčin nárůstu výnosů v uplynulém století nás dnes může zajímat, jak stávající zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> co nejučinněji využít pro další zvýšení výnosů. Zatím spíše nebezpečné důsledky zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub>, které se projevují podílem tohoto plynu na zesílení skleníkového efektu s následnými změnami globálního klimatu, by našly také pozitivní a nanejvýš potřebné využití. Také tato skutečnost činí úvahy o cílevědomém využití větší dostupnosti tohoto substrátu pro tvorbu výnosů nanejvýš aktuální. Zkusme si proto připomenout základní cesty, jimiž lze dosáhnout zvýšení účinnosti využití zvyšující se koncentrace atmosférického CO<sub>2</sub> na tvorbu hospodářského výnosu.

V zásadě existují 2 směry: technologický a šlechtitelský.

## Koncentrace CO<sub>2</sub> a technologie pěstování plodin

**Technologickým směrem** rozumíme příslušná opatření, která lze provádět při zpracování půdy a v průběhu vegetace. Základní ideu opět odvodíme z výsledků stovek pokusů prováděných v laboratořích i v přirozených podmínkách doslova na celém světě. Zvýšená dostupnost oxidu uhličitého se často projevuje zvýšeným obsahem cukrů v listech příslušných rostlin, jehož důsledkem je zvýšená hodnota poměru cukrů a bílkovin neboli zvýšená hodnota poměru uhlíku a dusíku – C/N. Větší množství cukrů, které představují první produkty fixace CO<sub>2</sub>, tedy fotosyntézy, „hledá“ v rostlině svoje uplatnění. Pokud je nenajde, omezuje rostlina svými vnitřními mechanismy samotnou rychlost fotosyntézy. To vede k jevu zvanému aklimace rostlin na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> a prakticky to znamená nevhodné využívání dostupného oxidu uhličitého ve fotosyntéze rostlin. Jak tomu zabránit?

V principu je třeba podporovat maximální využití onoho nadbytku vytvářených cukrů na růst a vytváření nových struktur. Prakticky to znamená zabezpečit dostatek minerálních živin a zejména dusíku, který spolu s uvedenými cukry může vytvářet aminokyseliny a bílkoviny. Tyto cukry a bílkoviny mohou být přednostně transportovány do kořenů a podpořit tak vytváření bohatšího kořenového systému, který je následně zase schopen absorbovat z většího objemu půdy více minerálních živin i vody. V závislosti na druhu rostliny a vnějších podmínkách však ony cukry a bílkoviny mohou podpořit větší odnožování, větvení, růst listů nebo přímo i hromadění v orgánech představujících hospodářský výnos – obilkách, bulvách, hlízách apod.

V současné době je třeba provést další polní pokusy, jimiž by se v závislosti na druhu plodiny ověřila optimální technologie zajišťující maximalizaci využití atmosférického CO<sub>2</sub> pro tvorbu výnosu. Ovšem úloha dostatku minerálních živin je

nesporná. Ostatně opět byl tento poznatek potvrzen zahradníky již dávno ve sklenicích. Při pěstování v hydroponiích při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> je třeba zvýšit také koncentraci živných roztoků, aby rostliny mohly zvýšenou dostupností CO<sub>2</sub> účinně fotosynteticky využít. Totéž v zásadě platí pro polní podmínky. V tomto ohledu je právě pokles spotřeby minerálních hnojiv v uplynulém desetiletí krajně nevýhodný také vzhledem k možnostem využití změny přirozeného prostředí – atmosférické koncentrace CO<sub>2</sub> – pro levné a ekologicky výhodné zvýšení účinnosti fotosyntetické tvorby rostlinné biomasy.

**Zemědělský výzkum** musí ještě „doladit“ výsledky teoretické fyziologie rostlin pro optimalizaci využití zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub> na tvorbu výnosů. Již dnes lze však učinit významný závěr: dostatečná dostupnost minerálních živin, zejména dusíku, kořenům rostlin zabezpečí nejen vytvoření dostatečně velkého a účinného fotosyntetického aparátu rostlin, ale také následně účinné využití zvýšené produkce organických látek pro tvorbu biomasy porostu.

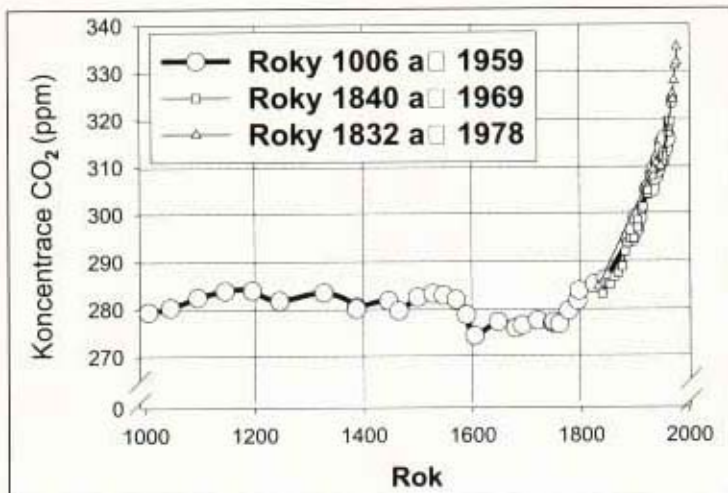
## Koncentrace CO<sub>2</sub> a šlechtění

**Druhý směr** naznačující možnosti lepšího využití zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub> představuje šlechtění. Opět si nejprve připomeňme výsledky některých fyziologických pokusů.

Bylo prokázáno, že nejen mezi jednotlivými druhy rostlin, ale i mezi odrudami téhož druhu existují mimořádně velké rozdíly v konkrétních projevech, jimiž rostliny reagují na zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub>. Jeden z příkladů je uveden na grafu 4. S mírným zjednodušením můžeme konstatovat, že příčinou je rozdílná distribuce asimilátů vytvářených při fotosyntéze. Představme si, že například odrůda A „investuje“ velkou většinu vytvářených asimilátů do kořenů. To znamená, že velikost a účinnost listů – fotosyntetického aparátu – se příliš nemění. Zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> tedy zvýší množství fixovaného CO<sub>2</sub>, a tím i množství vytvářených biomasy, ale tu rostlina vede do kořenů. Naproti to-

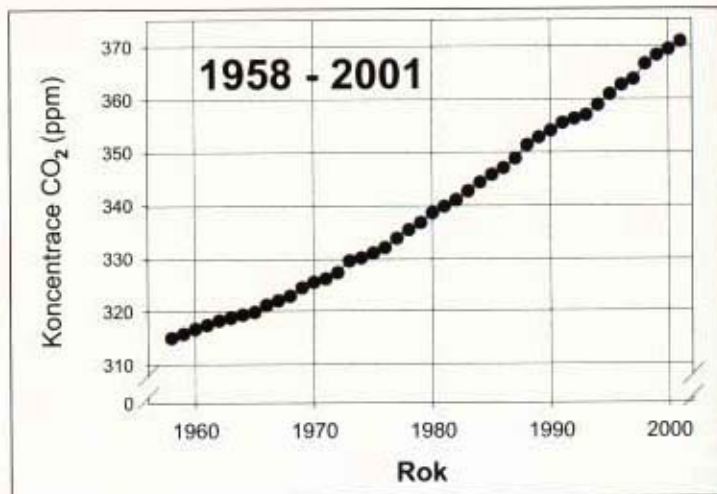
GRAF 1

PRŮBĚH KONCENTRACE  $\text{CO}_2$  (PPM) BEHEM UPLYNULÝCH 1000 LET. ANALYZOVÁNY BYLY VZDUCHOVÉ BUBLINY UZAVŘENÉ V RŮZNÉ HLoubCE LEDOVCE V LAW DOME VE VYCHODNÍ ANTARKTIDĚ A ODEBRANÉ ZE TŘI SAMOSTATNÝCH VRTŮ. PRO OBDOBÍ PO ROCE 1800 UVEDENY PŘEKRÝVAJÍCÍ SE VÝSLEDKY ZE TŘI NEZÁVISLÝCH VRTŮ. GRAF SESTAVEN PODLE ÚDAJŮ ETHERIDGEHO ET AL. (1996).



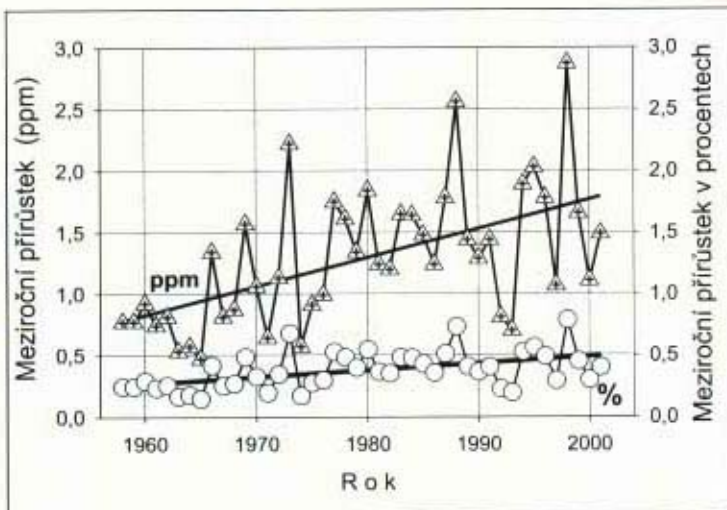
GRAF 2

KONCENTRACE  $\text{CO}_2$  (PPM) V ATMOSFÉRE ZEMĚ OD ROKU 1958 DO ROKU 2001 PODLE DLOUHODOBÝCH MĚŘENÍ NA OBSERVATORII MAUNA LOA NA HAVAJI. GRAF SESTAVEN PODLE ÚDAJŮ KEELINGA A WHORFA (2002).



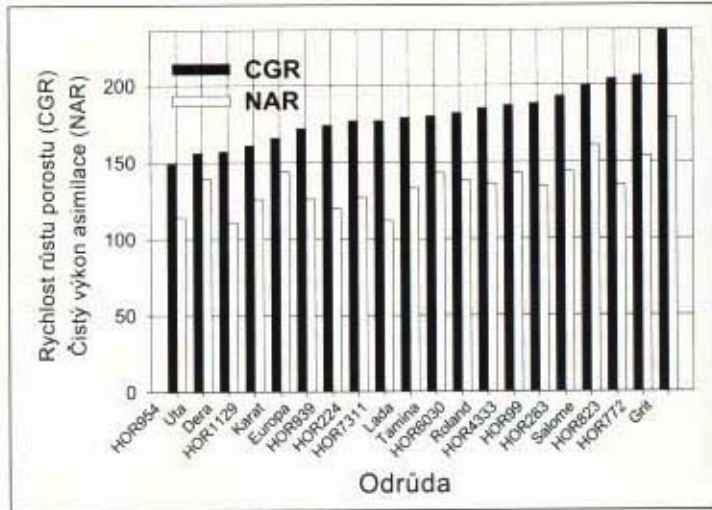
GRAF 3

MEZIROČNÍ NĀRŮST KONCENTRACE  $\text{CO}_2$  V OBDOBÍ OD ROKU 1958 DO ROKU 2002 VYJÁDRĚN JEDNAK V ABSOLUTNÍCH HODNOTÁCH (PPM) A JEDNAK V PROCENTECH KAŽDĚHO PŘEDCHÁZEJÍCÍHO ROKU (%). OBE PŘÍMKY VYJÁDRŮJÍ PRŮMĚRNOU LINEÁRNÍ ZÁVISLOST ZMĚNY KONCENTRACE (PPM NEBO %) V UVEDENÉM OBDOBÍ. GRAF SESTAVEN NA ZÁKLADĚ ÚDAJŮ UVEDENÝCH V GRAFU 2.



GRAF 4

ODRŮDOVĚ ROZDÍLY VLIVU ZVÝŠENÉ KONCENTRACE  $\text{CO}_2$  (1500 PPM) U JARNÍHO JEČMENE VYJÁDRĚNĚ HODNOTAMI FOTOSYNTETICKÝCH PARAMETRŮ, A TO RYCHLOSTI RŮSTU POROSTU (CGR) A ČISTÉHO VÝKONU ASIMILACE U 20 ODRŮD PĚSTOVANÝCH V KLIMATIZOVANÝCH KOMBORÁCH. VYJÁDRĚN JE POMĚR HODNOT PŘI ZVÝŠENÉ KONCENTRACI  $\text{CO}_2$  K HODNOTAM PŘI STANDARDNÍ (350 PPM) KONCENTRACI  $\text{CO}_2$ . (APRIL 1985, POUŽITÝ ÚDAJE PRO GRAF).



mu odrůda B „investuje“ většinu vytvářených asimilátů do svého fotosyntetického aparátu: prostě vytváří větší listovou plochu, více listů, prodlužuje životnost listů apod. Tím se také soustavně zvyšuje fotosyntetická „výrobní kapacita“, takže větší listy s účinnějším fotosyntetickým aparátem jsou schopny velmi účinně využívat zvýšenou koncentraci  $\text{CO}_2$ .

Je nasnadě, že příčin velkých odrůdových rozdílů v reakci na zvýše-

nou koncentraci oxidu uhličitého bude více. Ale ona výše uvedená **rozdílná distribuce (alokace) biomasy mezi listy a kořeny** hraje jednu z nejvýznamnějších úloh. A mělo by být již dnes cílem šlechtitelů, aby se záměrně orientovali na **selekcí takových genotypů**, které budou na zvýšení koncentrace  $\text{CO}_2$  reagovat především rozvojem fotosyntetického aparátu a následnou maximalizací transportu látek do zásobních orgánů před-

stavujících vlastní hospodářský výnos.

UVĚDOMUJI SI, ŽE šlechtění nových odrůd je mimořádně náročná činnost a zavedení dalšího kritéria – příznivá reakce na zvýšenou koncentraci  $\text{CO}_2$  – ji ještě více komplikuje. Na druhé straně jsou však už velmi dobře ověřené systémy pro pěstování rostlin v polních podmínkách a při zvýšené koncentraci  $\text{CO}_2$ . Příslušnými pokusy by bylo možno vcelku jed-

noduše testovat velké série genotypů, a to i bez podrobných a náročných fyziologických testů. **Není to levné. Ale představuje to jeden z nehumánnějších úkolů lidstva 21. století – zajištění dostatku potravin na naší planetě.**

Prof. RNDr. Lubomír Nátr, DrSc.  
Katedra fyziologie rostlin  
Přírodovědecká fakulta Univerzity  
Karlovy v Praze