

Jiří Kubásek, Tereza Kalistová: Stabilní izotopy pomáhají objevovat a měřit fotosyntézu (Živa 2025, 4: 173–177)

Odpovědi na otázky položené v článku:

str. 173

„Uhlík ^{14}C se s poločasem 5 700 let mění na dusík ^{14}N , přičemž vyžáří elektron... Přesto se můžete zamyslet nad otázkou, kterou jsme nevysvětlili v předchozí kapitole (protože se netýká stabilních izotopů): Co z pohledu elementárního složení jádra znamená, když se ^{14}C změní na ^{14}N , a proč při tom musí vyžářit elektron?“

Počet nukleonů se v součtu nezmění, ale jeden neutron se změní v proton. Z uhlíku ^{14}C , který měl 6 protonů a 8 neutronů, tak vznikne (stabilní) dusík ^{14}N se 7 protony a 7 neutrony.

Vyzařený elektron (β záření) je nutný k zachování náboje. Pro zajímavost: proton je nepatrně lehčí než neutron, a tak musí dojít také k vyzaření jistého množství energie podle Einsteinova vztahu

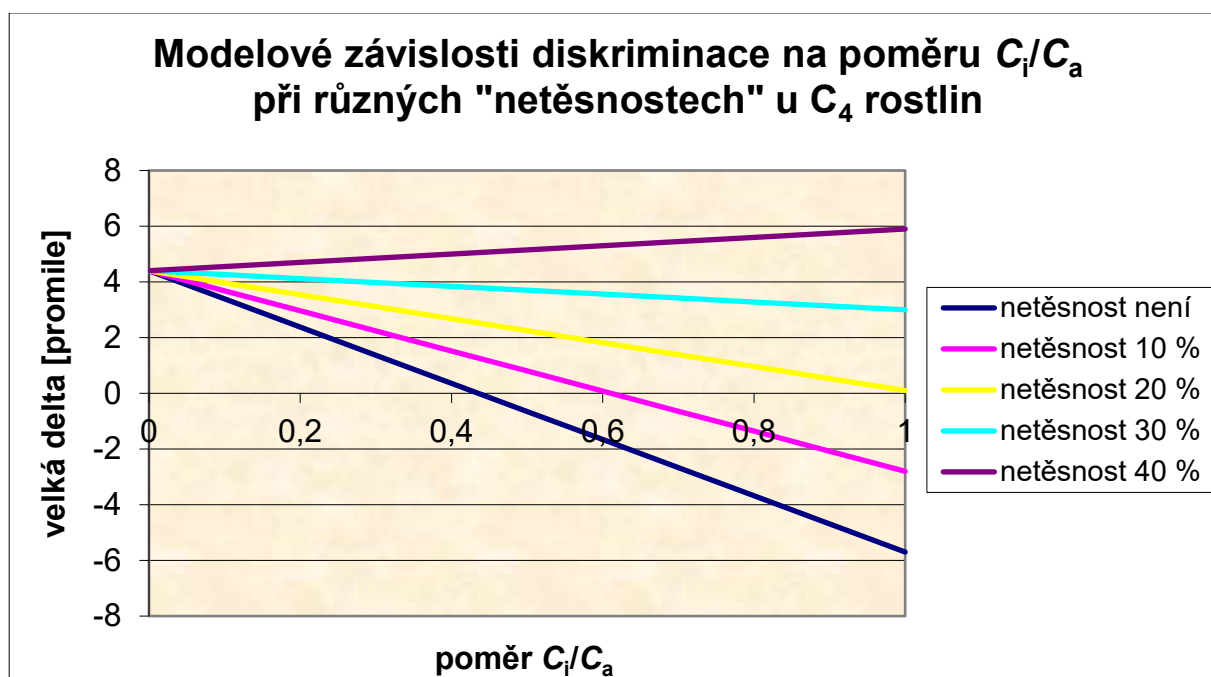
$E = mc^2$. Proto se intenzivně rozpadající izotopy zahřívají (zde je množství uvolněného tepla v přírodních podmínkách neměřitelné, protože poločas rozpadu je dlouhý a ^{14}C se v přírodě vyskytuje jen ve velmi nepatrné koncentraci).

str. 175

„Závěrem opět otázka: Proč a jak z uvedeného vyplývá, že role otevřenosti průduchů na diskriminaci ^{13}C u C_4 rostlin bude mnohem menší než u C_3 rostlin (a proto jsme si ji tu dovolili zanedbat)?“

To je pro nepoučeného čtenáře asi poněkud obtížná otázka, vysvětlení snad poskytne následující graf. Uzavřenost Rubisco v cévních svazcích mění sklon závislosti diskriminace ^{13}C na poměru koncentrace CO_2 uvnitř listu vůči volné atmosféře (tedy de facto na otevřenosti průduchů). Opakem uzavřenosti je „netěsnost“ – parametr sledovaný u C_4 rostlin. 100% netěsnost by znamenala, že koncentrační mechanismus vůbec nefunguje a závislost by šla od 4,4 k přibližně 30 promile (‰), jak o tom píšeme u C_3 rostlin. Naopak zcela uzavřený systém vykazuje netěsnost 0 ‰ a diskriminace Rubisco se neprojeví. Proč tedy klesá diskriminace ^{13}C od (průduchových) 4,4 ‰ do záporných hodnot? To je další zjednodušení, kterého jsme se

v článku dopustili. Enzym primárního příjmu CO_2 u C_4 rostlin – PEP karboxyláza má téměř nulovou diskriminaci ^{13}C . Na rozdíl od Rubisco, která přijímá rozpuštěné CO_2 , PEPc přijímá hydratovaný ion HCO_3^- . A právě při hydrataci oxidu uhličitého dochází k záporné frakcionaci (je upřednostňován těžký ^{13}C) přibližně 0,5 ‰ (5,7 ‰). Výsledkem tohoto povídání má být ale pochopení, že při netěsnostech kolem 35 ‰ (pro většinu C_4 rostlin typických) je závislost diskriminace na otevřenosti průduchů nulová (vodorovná čára) a určující pro ni je naopak netěsnost systému.



str. 173 a 175: Vztah velkého a malého delta

Čtenář si možná povšiml, že v textu používáme současně velké (Δ) a malé (δ) řecké písmeno delta. Jejich vztah je jednoduchý, ale přesto ho vysvětlíme.

Δ vyjadřuje diskriminaci, tedy to, o čem zde většinou píšeme. Jde tedy o rozdíl izotopového složení produktu a substrátu. Ale substráty jsou různé (např. i izotopové složení CO_2 ve vzduchu se mění v prostoru a čase, třeba díky emisi antropogenního CO_2). Je proto potřeba izotopové složení vztahovat k něčemu jasně definovanému. Tím je pro uhlík sedimentární vápenec velmi konkrétního původu (VPDB, viz obr. 1 v článku). Dobře je vztah Δ a δ vidět na obr. 5 v článku. $\delta^{13}\text{C}$ v atmosférickém oxidu uhličitém je nyní asi -9 ‰. To znamená, že oproti VPDB je nepatrně ochuzen o ^{13}C . Pro fotosyntézu rostlin je ovšem substrátem, tedy $\Delta^{13}\text{C} = 0$ a složení rostlin je vztahováno k němu. Takže $\Delta^{13}\text{C}$ všech přírodnin, které čerpaly

z atmosférického oxidu uhličitého, je přibližně o 9 ‰ posunuto (a navíc s opačným znaménkem) oproti $\delta^{13}\text{C}$. Když je průměrné složení C_3 biomasy ochuzeno o ^{13}C o 18 ‰ od svého zdroje, znamená to, že $\delta^{13}\text{C} = -27$ ‰. Aby to bylo ještě složitější, prosté odčítání δ a Δ je správné jen pro malé rozdíly. Pro větší rozdíly musíme použít složitější vzorek, který tu není třeba uvádět. Za to ovšem nemohou izotopy. Za to může nelineární definice procenta a promile. Když je něčeho o 100 % více, je toho dvojnásobek, že? Když je něčeho o 100 % méně, je toho nekonečněkrát méně, tedy nula.

str. 177, komentář k obrázku 9

Čtenář si nejspíše povšiml rozporu. V textu píšeme, že ke značení většinou používáme výrazný přídavek minoritního izotopu (zde ^{13}C), zatímco v popisu obr. 9 se uvádí, že les je fumigován vzduchem ochuzeným o ^{13}C . Důvod je ten, že $^{13}\text{CO}_2$ je velmi drahý (viz popis jednoho z videí), a pokud ho potřebujeme stovky nebo tisíce litrů, výzkum by byl neufinancovatelný. Naopak CO_2 (mírně) ochuzený o ^{13}C vzniká běžně spalováním fosilních paliv a lze ho zakoupit v obrovském množství. Přestože je třeba desettisíckrát slabší značkou, jeho cena je nižší dejme tomu milionkrát (jen okamžitý, naprosto nepřesný odhad) a stále se to vyplatí. Nevýhodou je, že zde je rozdíl souměřitelný s fotosyntetickou diskriminací (kterou fosilní paliva ostatně vznikla), a tak ji nemůžeme zanedbat, nýbrž se musíme snažit ji ve výpočtech různě korigovat.