

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Anna Polášková; Ján Chrapan
Radiačný a biologický účinok ^{14}C

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 32 (1987), No. 1, 30--34

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139879>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1987

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Radiačný a biologický účinok ^{14}C

Anna Polášková, Bratislava, Ján Chrapan, Liptovský Mikuláš

Úvod

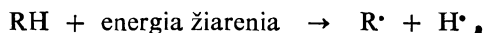
V prírode má uhlík zvláštnu biologickú funkciu. Je základom štruktúry všetkých organických zlúčenín, a teda aj živých organizmov. Nepretržite sa zúčastňuje výstavby bielkovín a geneticky významných štruktúr. V molekulách bielkovín sa nachádza priemerne okolo 52% uhlíka, v molekulách DNK a RNK okolo 37% uhlíka. Jeho priemerný obsah v ľudskom organizme predstavuje 23 hmotnostných percent. Rádiouhlík sa zúčastňuje výmenných procesov spolu s atómami stabilného uhlíka a tak preniká do všetkých orgánov a tkanív ľudského organizmu. Jeho osobitosť tkvie v tom, že vstupuje do molekúl organických zlúčenín a je tak vnútorným žiaričom. Prejavuje sa dvoma účinkami:

- radiačný účinok častíc beta a jadier dusíka, ktoré vznikli rozpadom ^{14}C ,
- účinok zmien chemického zloženia molekúl, vyvolaných zmenou atómov uhlíka na atómy dusíka.

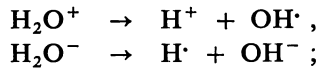
Radiačné účinky jadrového žiarenia v ľubovoľnom orgáne sú určené absorbovanou dávkou a koeficientom kvality daného žiarenia. Koeficient kvality pre ľubovoľné žiarenie beta s energiou väčšou ako 30 keV sa rovná 1 [1]. Absorbovaná dávka pre ^{14}C sa preto rovná jeho dávkovému ekvivalentu.

Mutácie, indukované žiarením beta inkorporovaných rádionuklidov, majú tú istú molekulárno-genetickú štruktúru ako pri vonkajšom röntgenovom žiarení. Podľa dnešných predstáv sú genetické mutácie výsledkom radiačno-chemických modifikácií alebo strát dusíkatých väzieb DNK s príslušným narušením genetického kódu. Týmto spôsobom sa radiačné účinky častíc beta ^{14}C v biologických systémoch (a s nimi viazané genetické efekty) neodlišujú od účinku vonkajších zdrojov röntgenového žiarenia a vysokoenergetického žiarenia beta.

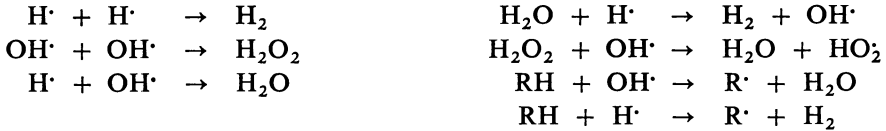
U ionizujúceho žiarenia sa rozlišuje jeho priamy a nepriamy účinok. Priamy účinok sa vysvetľuje priamou absorpciou energie žiarenia v kritických biologicky dôležitých molekulách, ich ionizáciou a vznikom voľných radikálov



kde pod RH rozumieme ľubovoľnú organickú molekulu. Nepriamy účinok ionizujúceho žiarenia v organizme spočíva v jeho pôvodnej interakcii s prítomnými molekulami vody. Žiarenie tieto molekuly ionizuje. Uvoľnené elektróny sa nakoniec zachytia inou molekulou vody. To platí aj pre elektróny premeny beta. Ani H_2O^+ ani H_2O^- nie sú stabilné. Veľmi rýchle (v priebehu 10^{-6} s) vytvárajú ión a voľný radikál:



tu $\text{H}\cdot$ je jednoducho vodíkový atóm so svojím jedným elektrónom. Inak bodkou sme označili voľný radikál s jedným nepárny elektrónom. Voľné vodné radikály môžu reagovať s okolitými molekulami živej tkáne alebo s vlastnými produktami, napríklad:



Z hľadiska konečného efektu nie je dôležité, či je kritická biomolekula poškodená priamym alebo nepriamym účinkom ionizujúceho žiarenia.

V dôsledku zmeny ^{14}C na ^{14}N dochádza k zmene chemického zloženia príslušnej molekuly DNK a RNK s pravdepodobnosťou genetických následkov.

Pri rozpade ^{14}C sú možné tieto typy transmutačných zmien:

- tvorba azozlúčení bez porušenia základných väzieb,
- tvorba azozlúčení s rozštiepením aminoskupín a porušením základných väzieb,
- tvorba azozlúčení so zmenou kódov základných zlúčení,
- konfiguračné zmeny.

Genetické účinky týchto transmutačných zmien ešte nie sú prebádané. Možno však predpokladať, že značná časť transmutačných zmien DNK pri rozpade ^{14}C spôsobí genetické mutácie. Jeden z prvých, ktorí poukázali na možnosti transmutačných účinkov ^{14}C , bol Pauling [2]. Podľa jeho údajov tento proces vyvoláva takmer 10% všetkých zmien (genetických aj somatických), vzniknutých v dôsledku ožiarenia v organizme nahromadeným rádiouhlíkom.

Pri zmene ^{14}C na stabilný dusík sú transmutácie DNK charakterizované predovšetkým lokálnymi zmenami ich chemického zloženia. Pravdepodobnosť zmien, spôsobených časticami beta emitovanými pri rozpade jadier rádiouhlíka je veľmi malá [3]. Energia spätného nárazu pri premene beta rádiouhlíka väčšinou nedostačuje na roztrhnutie chemických väzieb. Preto vzniknuté jadro dusíka zostane v zložení molekuly DNK na mieste pôvodného uhlíka. Úlohu teda hrá aj chemický typ zlúčení, v ktorých vstupuje ^{14}C do organizmu. Antropogénny rádiouhlík sa samozrejme chová v okolitom prostredí rovnako ako rádiouhlík prírodný.

Hromadenie rádiouhlíka v organizme ľudí

Rovnovážna koncentrácia prírodného rádiouhlíka v celej biosfére je daná rovnovážnym izotopovým zložením uhlíka. Predstavuje $(0,25 \pm 0,02)$ Bq na gram uhlíka. Takáto koncentrácia izotopu ^{14}C sa viac-menej zachováva v ľubovoľných orgánoch a tkanivách človeka.

Do ľudského organizmu preniká rádiouhlík dvoma cestami. Základná cesta je potravinová. Ňou tento izotop postupuje vo forme zložitých organických zlúčení rastlinného

a živočíšneho pôvodu. Denne človek skonzumuje potravu, ktorá obsahuje 300 g uhlíka. To zodpovedá $6 \cdot 10^6$ až $7 \cdot 10^6$ premenám beta za deň.

Prirodzený rádiouhlík, ktorý vstupuje do organizmu človeka dýchaním, nemá veľký význam, pretože za deň prechádza pľúcami okolo $2 \cdot 10^4$ litrov vzduchu a ten obsahuje okolo 6 litrov CO_2 , t. j. 3,2 g uhlíka. Toto množstvo predstavuje asi 1% uhlíka vstupujúceho do organizmu človeka zažívacím traktom. Dýchaním sa odovzdáva organizmu len nepatrná časť uhlíka, pričom sa vytvárajú v krvi nestále bikarbonáty, ktorých polčas rozpadu je menší ako jedna hodina [4].

Ak vstupuje rádiouhlík do organizmu potravinovým reťazcom, zdrží sa v organizme niekoľko hodín až niekoľko rokov. Vzdušná cesta je významná len vtedy, ak antropogénny rádiouhlík vstupuje vo forme chemických zlúčenín, ktoré dobre prenikajú do krvi cez pľúca (CO , uhľovodíky atď).

Obsah uhlíka v rôznych orgánoch nie je rovnaký. V tabuľke 1 je obsah stabilného uhlíka, koncentrácia prírodného ^{14}C a absorbovaná dávka v tých orgánoch, ktoré plnia dôležité životné funkcie a v organizme sa prejavujú ako najcitlivejšie k rádioaktívnemu žiareniu. Za najkritickejší orgán, do ktorého preniká rádiouhlík antropogénneho aj prírodného pôvodu sa považuje krvná dreň [1].

Tabuľka

Obsah uhlíka, koncentrácia prírodného ^{14}C a absorbovaná dávka v rôznych častiach ľudského organizmu

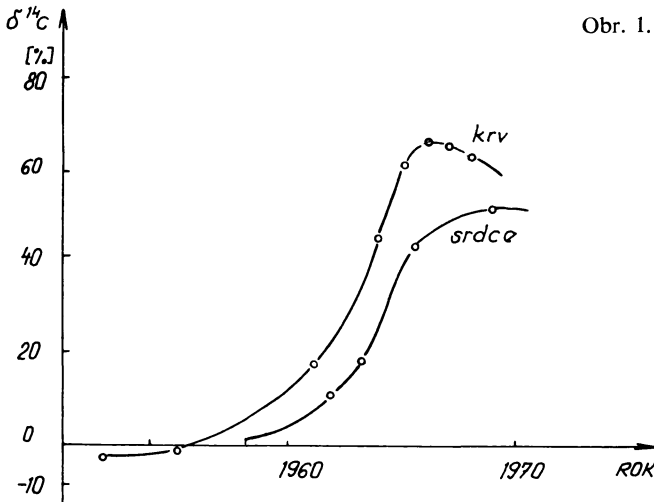
orgán alebo tkanivo	hmotnosť		obsah uhlíka		koncentrácia ^{14}C [mBq/gram tkaniva]	absorbovaná dávka [$\mu\text{Gy}/\text{rok}$]
	[kg]	[%]	[kg]	[%]		
celé telo	70,0	100	16,0	22,86	57,15	14,39
tukové tkanivo	15,0	21,43	9,6	64,0	160,0	40,32
svalové tkanivo	28,0	40,0	9,0	32,14	80,35	20,25
kostné tkanivo	5,0	7,14	0,74	14,8	37,0	9,32
mozgová dreň	1,4	2,0	0,17	12,14	30,35	7,65
červená kostná dreň	1,5	2,14	0,95	63,33	15,83	3,89
žltá kostná dreň	1,5	2,14	0,95	63,33	15,83	3,89
erytrocyty	2,4	3,43	0,41	17,08	42,7	10,76
slezina	0,18	0,26	0,02	11,11	27,77	7,0
pečeň	1,8	2,57	0,26	14,44	36,10	9,10
hormóny	0,035	0,05	0,0031	8,86	22,15	5,58

Skúšky jadrových zbraní v päťdesiatych rokoch spôsobili zvýšenie koncentrácie ^{14}C vo všetkých biologických objektoch, čo sa prirodzene muselo odraziť aj na organizme človeka [5, 6]. Z toho dôvodu sa merala koncentrácia ^{14}C v krvi a v rôznych orgánoch ľudí za obdobie od roku 1952 do roku 1968 [7]. Sledovaný obsah ^{14}C za toto obdobie v krvi a srdci ľudí je na obr. 1.

Obsah bombového ^{14}C v rozličných orgánoch a tkanivách ľudí sa nepretržite zväčšoval

a k roku 1966 až 1967 dosiahol maximálnu hodnotu, ktorá bola pre krv okolo 65% prírodnej hladiny. O niečo nižšia bola v iných orgánoch. Konštatovalo sa, že krv, citlivejšie než iné orgány, reaguje na zmenu obsahu ^{14}C v okolitom prostredí. Jednako však nie všetky komponenty krvi zhromažďujú ^{14}C rovnako rýchle. Najcitlivejšou je krvná plazma, ktorá môže hromadiť ^{14}C až 1,5krát rýchlejšie ako iné krvné zložky. Naproti tomu všetko mäkké tkanivo a mozog hromadia ^{14}C približne rovnako rýchle. Pomaly sa hromadí ^{14}C v kostnom tkanive, kolagéne a v minerálnych častiach. Chrupavka dospelých ľudí prakticky neobsahuje zvýšené množstvo ^{14}C , ale chrupavka detí ho hromadí tým viac, čím je organizmus mladší. Treba poznamenať, že rýchlosť hromadenia ^{14}C v orgánoch a v tkanivách je priamo úmerná rýchlosti uhlíkovej výmeny v nich. Čím pomalšie prebieha proces výmeny uhlíka v orgánoch, tým pomalšie sa v ňom zväčšuje koncentrácia ^{14}C a tým viac zaostáva za jeho koncentráciou v atmosfére. Ak nevystúpi nový antropogénny zdroj ^{14}C , potom by k roku 2000 [8] mala koncentrácia rádiouhlíka byť vo všetkých orgánoch rovnaká a mala by presahovať prírodnú hladinu asi o 3%.

Koncentrácia antropogénneho ^{14}C sa v organizme ľudí oneskoruje voči koncentrácii v rastlinnej zložke biosféry asi o 3 až 4 roky. Príčina oneskorenia je v tom, že ^{14}C vstupuje do organizmu človeka v potravinových produktoch, ktoré sa spotrebávajú 1 až 2 roky po ich vypestovaní.



Obr. 1. Obsah bombového ^{14}C v krvi a srdci ľudí.

Po zákaze skúšok jadrových zbraní koncentrácia ^{14}C v atmosfére klesá [9]. Od roku 1963 sa pozoruje vyrovňovanie obsahu ^{14}C v atmosfére a v organizmoch. Ku zhode došlo v rokoch 1967 až 1968. Ak už v budúcnosti nebudú jadrové skúšky a prijmu sa proti vypúšťaniu reaktorového ^{14}C do atmosféry účinné opatrenia, tak bude klesať koncentrácia ^{14}C v atmosfére a biosfére, a to tak, že na prelome tisícročí, ako sme už povedali, dosiahne 3% prírodnej úrovne.

Záver

Otázky tvorby rádiouhlíka a jeho rozloženia a hromadenia v biosfére, otázky kontroly jeho obsahu v životnom prostredí, normovanie rádioaktívnych odpadov, to všetko ešte nezahrnuje jeden dôležitý aspekt danej problematiky, a to otázku o rozmiestňovaní jadrových energetických reaktorov. Táto otázka je aktuálna predovšetkým na území ekonomicky vyspelých krajín a potom aj na celej zemeguli. K roku 2000 sa očakáva celosvetový výkon jadrových elektrární rádove TW. Možno teda očakávať, že takéto množstvo energie bude vyrábať niekoľko tisíc jadrových reaktorov. Pri takýchto počtoch sa stane dôležitou otázkou rozumného rozmiestnenia jadrových reaktorov. Preto je dôležitou otázkou o možnom hromadení rádioaktívnych produktov, teda aj ^{14}C , v blízkosti centier rádioaktivity. Vzniká očividné protirečenie v umiestnení jadrových elektrární. Ak by sa nachádzali vo vzdialených, málo osídlených oblastiach, ktoré sú výhodné z hľadiska radiačnej ochrany, nevýhodnou by bola ich vzdialenosť od veľkých miest a priemyselných centier. Pri hľadaní optimálneho rozmiestnenia jadrových reaktorov je nevyhnutné starostlivo sledovať možné lokálne znečistenie životného prostredia rádioaktívnymi produktami. Globálne zvýšenie ^{14}C sa prakticky nemení pri ľubovoľnom rozmiestnení jadrových reaktorov. Globálna prípustná koncentrácia antropogénneho ^{14}C sa udáva na 111 TBq za deň.

Rozvoj jadrovej energetiky bude prinášať stále nové a nové úlohy zviazané s rozšírením a nahromadením reaktorového ^{14}C do životného prostredia. Pre zabezpečenie nepretržitej kontroly obsahu ^{14}C v ovzduší sa ukázalo výhodné odoberať vzorky atmosferického CO_2 v mesačných intervaloch vo forme BaCO_3 a koncentráciu tohto izotopu merať po jeho vbudovaní do molekuly benzénu [10]. Takáto metodika dlhodobej kontroly obsahu ^{14}C v atmosfére zabezpečuje zaznamenanie počiatočného narastania jeho koncentrácie, umožňuje skúmať zákonitosti migrácie ^{14}C v prírode, čo pri známej koncentrácii rádiouhlíka v atmosfére dáva možnosť pomerne presne odhadnúť koncentráciu ^{14}C v biosfére, a teda perspektívne sledovať znečisťovanie životného prostredia.

Literatúra

- [1] *Normy radiacionnoj bezopasnosti NRB-76*. Moskva, Atomizdat 1978, 86.
- [2] PAULING L.: *Science* 128 (1958), 1183.
- [3] POMERANCEVA M. D.: *Radiobiologia* 4 (1964), 810.
- [4] ZAPOESKAJA N. A., FEDOROVA A. V., PAVLICKAJA E. D.: *Gigiena i sanitarija* 5 (1968), 49.
- [5] HARKNES D. D., WALTON A.: *Nature* 240 (1972), 302.
- [6] LIBBY W. F., BERGER R., MEAD J. F., ALEXANDER Q. V., ROSS J. F.: *Science* 146 (1964), 1170.
- [7] HARKNES D. D., WALTON A.: *Nature* 223 (1969), 1216.
- [8] *Raspredelenie jestestvennogo i iskusstvennogo ^{14}C i sozdavaemyje im tkanevyje dozy*. Doklad nauč. Kom. OON po dejstviju atomnoj radiacii A/A6 (1961) 82/R.
- [9] CHRAPAN J., POLÁŠKOVÁ A.: *Pokroky MFA XXIX*, 2 (1984) 89.
- [10] POLÁŠKOVÁ A.: *Zborník VVTŠ-ČSSP, Liptovský Mikuláš II*, 2 (1984) 107.