

VÝUKA CHEMIE

BIOGÉNNE PRVKY VO VYUČOVANÍ CHÉMIE

DANICA MELICHERČÍKOVÁ^a
a MILAN MELICHERČÍK^b

^aKatedra vlastivedy a prírodovedy, Pedagogická fakulta, Univerzita Mateja Bela, Ružová 13, 974 11 Banská Bystrica,

^bKatedra chémie, Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, Slovenská republika

e-mail: dmelicher@pdf.umb.sk, melicher@fpv.umb.sk

Došlo dňa 6.XII.2001

Kľúčové slová: bioanorganická chémia, periodická sústava prvkov, biogénne prvky, vyučovanie chémie, radikály, kyslíkové radikály, účinky radikálov na ľudský organizmus

Obsah

1. Úvod
2. Biogénne prvky a periodická sústava prvkov
3. Kyslík – kyslíkové radikály
 - 3.1. Význam kyslíkových radikálov pre organizmus
 - 3.2. Nežiaduce účinky kyslíkových radikálov na organizmus
 - 3.3. Zdroje kyslíkových radikálov
 - 3.4. Odbúranie kyslíkových radikálov v organizme
4. Záver

1. Úvod

Vo všeobecnej a anorganickej chémii charakterizujeme jednotlivé chemické prvky na základe ich fyzikálnych a chemických vlastností. Rozdeľujeme ich na kovy a nekovy, určujeme ich skupenstvo za bežných podmienok, ale aj vzájomnú reaktivnosť. Tieto vlastnosti sú symbolicky, alebo farebne vyznačené pri značke jednotlivých chemických prvkov aj v periodických sústavách prvkov (PSP). Zriedkavejšie bývajú zvýraznené toxické účinky chemických prvkov. S upozornením "JED!" sa stretávame v PSP najmä pri chlóre a ortuti. Nie je to tým, že by neexistovalo viac chemických látok s toxickým účinkom na živé organizmy, ale tým, že sú to prevažne zlúčeniny chemických prvkov, a nie samotné chemické prvky.

2. Biogénne prvky a periodická sústava prvkov

V poslednej dobe sa stretávame s PSP, v ktorých je zachytený vzťah chemického prvku (atómov, molekúl, iónov, zlúčenín) k ľudskému organizmu. Bývajú v nich farebne vyzna-

čené biogénne prvky, teda chemické prvky nevyhnutné pre ľudský organizmus. Pri objasňovaní pojmu biogénny prvok na hodinách chémie je žiaduce sa nad pojmom zamyslieť a položiť otázku: Aké kritériá musí chemický prvok spĺňať, aby bol zaradený medzi biogénne prvky?

Aby mohli na položenú otázku odpovedať študenti, je vhodné im predložiť okrem periodickej sústavy prvkov aj tabuľku elementárneho zloženia ľudského tela (tabuľka I).

Tabuľka I

Elementárne zloženie ľudského tela¹

Prvok	Symbol	Rok objavenia	Priemerné množstvo prvku v tele dospelého človeka s hmotnosťou 70 kg		
			celkom [g]	[g.kg ⁻¹]	[%]
Kyslík	O	1773	45500,0	650,0	65,0
Uhlík	C	p.n.l.	12600,0	180,0	18,0
Vodík	H	1766	7000,0	100,0	10,0
Dusík	N	1772	2100,0	30,0	3,0
Vápnik	Ca	1808	1050,0	15,0	1,5
Fosfor	P	1669	700,0	10,0	1,0
Draslík	K	1807	175,0	2,5	0,25
Síra	S	p.n.l.	175,0	2,5	0,25
Chlór	Cl	1774	105,0	1,5	0,15
Sodík	Na	1807	90,0	1,29	0,13
Horčík	Mg	1808	30,1	0,43	0,043
Železo	Fe	p.n.l.	4,5	0,06	0,006
Zinok	Zn	1746	3,0	0,043	0,004
Fluór	F	1771	2,6	0,04	0,004
Kremík	Si	1824	1,4	0,02	0,002
Bróm	Br	1826	0,2	0,003	0,0003
Hliník	Al	1827	0,15	0,002	0,0002
Stroncium	Sr	1808	0,14	0,002	0,0002
Meď	Cu	p.n.l.	0,1	0,0014	0,00014
Olovo	Pb	p.n.l.	0,08	0,0011	0,00011
Antimón	Sb	p.n.l.	0,07	0,001	0,0001
Kadmium	Cd	1817	0,03	0,0004	0,00004
Cín	Sn	p.n.l.	0,03	0,0004	0,00004
Vanád	V	1830	0,03	0,0004	0,00004
Jód	I	1811	0,025	0,00036	0,000036
Selén	Se	1817	0,02	0,0003	0,00003
Bárium	Ba	1808	0,02	0,0003	0,00003
Arzén	As	1250	0,02	0,0003	0,00003
Mangán	Mn	1774	0,02	0,0003	0,00003
Bór	B	1808	0,01	0,0001	0,00001
Nikel	Ni	1751	0,01	0,0001	0,00001
Molybdén	Mo	1781	0,01	0,0001	0,00001
Kobalt	Co	1732	0,003	0,00004	0,000004
Chróom	Cr	1797	0,0028	0,00004	0,000004
Lítium	Li	1817	0,002	0,00003	0,000003
Ortuť	Hg	p.n.l.	0,0007	0,00001	0,000001

Z predložených údajov je možné dospieť k záveru, že kritériom zaradenia chemického prvku medzi biogénne prvky nie je:

- výskyt v ľudskom organizme – pretože v ľudskom organizme boli zistené aj ortuť, kadmium, olovo, ktoré sú zaradené medzi toxické, čiže nebiogénne prvky,
- množstvo v ľudskom organizme – pretože medzi biogénne prvky je zaradený kyslík (65 %), ale aj kobalt (0,000004 %).

Kritériom na zaradenie prvku medzi biogénne prvky je jeho účinok na ľudský organizmus. Sú prvky, o ktorých na základe súčasných poznatkov nevieme s istotou povedať, či sú biogénnymi i napriek tomu, že priaznivo vplyvajú na deje v ľudskom organizme a využívajú sa pri liečení chorôb, ale nebola dokázaná ich významná funkcia v ľudskom organizme. Tieto prvky tvoria skupinu prvkov s terapeutickými účinkami. Pri týchto úvahách je vhodné zdôrazniť, že uvedené delenie prvkov podľa účinku platí pre človeka.

Zaradenie chemického prvku do skupiny biogénnych prvkov sa uskutočňuje na základe dlhodobého výskumu jednotlivých dejov, mechanizmov prebiehajúcich v ľudskom organizme. Rozdelenie nie je konečné, nemenné, na základe nových poznatkov dochádza ku korekciám.

Prvým chemickým prvkom, o ktorom sa zistilo, že je nenahradiateľný (esenciálny) pre ľudský organizmus, bolo železo. Medzi poslednými chemickými prvkami, ktoré boli zaradené medzi biogénne prvky, sú zinok, chróm a selén. Napríklad zinok bol medzi biogénne prvky zaradený až v roku 1963, hoci kovový zinok bol známy v Indii už 1200 rokov pred n. l. U chrómu je zasa taká zvláštnosť, že nie je jednoznačne zaradený ako biogénny prvok, pretože biogénny charakter majú iba chromité ióny Cr^{3+} (cit.¹⁻³). Chrómanovým zlúčeninám Cr^{6+} sa pripisuje karcinogénny účinok pri dlhodobom pôsobení^{2,3}. Biogénne vlastnosti selénu boli úplne uznané až v roku 1980 po zistení čínskych vedcov, že selén má ochranný vplyv na srdce pri tzv. keshanovej chorobe.

Významnou charakteristikou biogénnych prvkov, ktorú je žiaduce pri objasňovaní pojmu biogénny prvok vo vyučovaní chémie zdôrazniť, je, že ľudský organizmus má mechanizmy, ktoré regulujú množstvo (vstrebávanie, vylučovanie) daného biogénneho prvku v organizme. Tieto mechanizmy sú ovplyvňované množstvom faktorov, napr. koncentráciou biogénneho prvku v organizme, koncentráciou iných látok v organizme, zložením potravy a pod. Ako príklad uvádzame horčík. Aby sa zachovala vyváženosť v organizme, z potravy bohatej na horčík sa ho absorbuje len 25 %, kým z potravy chudobnej na horčík až 75 % cit.^{4,5}). Absorpciu horečnatých iónov zvyšuje tekutá strava a acidita črevného obsahu, vitamín D a jeho metabolity (kalcidiol a calcitriol), nízky príjem vápenatých iónov aj inzulín^{6,7}. Absorpcia horečnatých iónov je znížená pooperačnými stavmi, ťažkými hnačkami, alkoholizmom, zvracaním^{8,9}. Absorpcia horečnatých iónov závisí aj od zloženia prijatej stravy. Horečnaté ióny sa viažu na mastné kyseliny, fytáty, fosfáty a šťaveľany, takže ich prítomnosť v trávenine znižuje možnosti absorpcie iónov Mg^{2+} .

Ak sledujeme priemerné množstvá prvkov v ľudskom organizme (tabuľka I), ľahko zistíme, že prvé tri chemické prvky, kyslík, uhlík a vodík, tvoria až 93 % hmotnosti ľudského tela. Chýbajúcich 7 % však zabezpečuje veľké množstvo prvkov, avšak v malých, až stopových množstvách. Na základe množstva prvku v ľudskom organizme biogénne prvky rozdeľujeme na:

- makrobiogénne prvky – O, C, H, N, Ca, P, K, S, Cl, Na, Mg, Fe ($m > 5$ g) sa podieľajú na tvorbe 99,33 % ľudského organizmu,
- mikrobiogénne prvky – Zn, F, Si, Br, Cu, I, Se, Mn, Mo, Co, Cr ($m < 5$ g), ktorých podiel na tvorbe organizmu nedosahuje ani 1 %.

Na základe prieskumu, uskutočneného v roku 2001, ktorého sa zúčastnilo 126 učiteľov chémie základných a stredných škôl (SOŠ, SOU) Žilinského a Banskobystrického kraja, možno konštatovať, že ani učitelia chémie nemajú ujasnené delenie prvkov vzhľadom k ľudskému organizmu (podľa hmotnosti a účinku).

Na otázku: „Ako rozdeľujeme prvky nachádzajúce sa v ľudskom tele podľa ich účinku na organizmus?“ iba 17,6 % respondentov odpovedalo správne a 23,5 % čiastočne správne (uviedli iba biogénne prvky). Zarážajúce je zistenie, že až 47,1 % respondentov (učiteľov chémie) neodpovedalo na položenú otázku. Medzi nesprávne boli zaradené tie odpovede, kde boli prvky delené podľa hmotnosti (makro, mikro), alebo iných kritérií (enzýmy, hormóny).

Aby žiaci získali pevnú asociáciu, že tie isté chemické prvky tvoria základné stavebné častice v anorganickej i organickej chémii, je potrebné vo vyučovaní venovať pozornosť aj ich deleniu podľa výskytu a účinku v ľudskom organizme. Treba hľadať čo najviac možností aj efektívnych metód na poskytovanie informácií o účinkoch chemických látok na ľudský organizmus, resp. živý organizmus. V spomínanom prieskume sme učiteľom chémie položili aj nasledujúcu otázku: „V poslednej dobe sa hovorí o kyslíku nielen ako o prvku života, ale aj smrti. Viete to vysvetliť?“

V tabuľke II sme porovnali odpovede učiteľov chémie a študentov stredných škôl (gymnazií, stredných zdravotných škôl, stredných priemyslových škôl, obchodných akademií), ktorí na položenú otázku odpovedali v predchádzajúcom prieskume, realizovanom v rokoch 1998–1999. Prieskumu sa zúčastnilo 521 študentov stredných škôl. Údaje v tabuľke potvrdzujú skutočnosť, že vedomosti žiakov sú zrkadlom vedomostí, schopností a zručností ich učiteľov.

Tabuľka II

Porovnanie odpovedí učiteľov chémie a študentov stredných škôl na otázku „prečo je kyslík nielen prvok života, ale aj smrti“

Zdôvodnenie odpovede	Vyjadrenie respondentov [%]	
	učitelia chémie	študenti stred. škôl
Bez odpovede	47,1	50,4
Škodlivosťou ozónu	35,2	34,8
Škodlivosťou vysokých koncentrácií	11,8	14,8
Účinkom kyslíkových radikálov	5,9	0

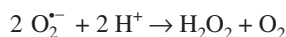
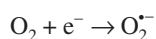
3. Kyslík – kyslíkové radikály

Podľa vzdelávacích cieľov učebných osnov chémie pre základné školy¹⁰ i gymnázií^{11,12} majú žiaci vedieť vysvetliť

význam a najdôležitejší zdroj kyslíka pre život na Zemi. Keďže v učebných osnovách sa nič nespomína o účinkoch kyslíka na živé organizmy, len málo učiteľov chémie a zrejme aj biológov venuje pozornosť účinkom nadbytku kyslíka, ako aj kyslíkovým radikálom, hoci o účinkoch voľných kyslíkových radikálov na ľudský organizmus sa môžeme dozvedieť bežne z masovokomunikačných prostriedkov (denná tlač, rozhlas, televízia, reklamy). Škola uvedenej problematike nevenuje dostatočnú, ba takmer žiadnu pozornosť. Kyslíkový radikál sa v učive chémie môže spomínať v súvislosti s tvorbou ozónu z molekuly kyslíka. Zaužívaným pojmom pri tomto deji je atóm kyslíka a nie kyslíkový radikál. Pojem radikál sa v chémii používa až v učive organickej chémie.

V ďalšej časti upozorňujeme na informácie o účinkoch kyslíka a voľných kyslíkových radikálov na ľudský organizmus, ktoré sú vhodné na začlenenie do učiva chémie, resp. biológie a ekológie¹³.

V zdravej bunke sa 95 % kyslíka redukuje na vodu H₂O a asi 5 % sa redukuje za vzniku superoxidového radikálu a peroxidu vodíka:



Vzniknuté produkty sú síce málo reaktívne, ale zúčastňujú sa na tvorbe reaktívnejšieho hydroxylového radikálu HO•, ktorý je schopný iniciovať poškodenie bunky.



Hydroxylový radikál je jedna z najreaktívnejších zlúčenín. Jeho doba života je merateľná v nanosekundách, reaguje prakticky na mieste svojho vzniku. Na tvorbe kyslíkových radikálov sa môžu podieľať aj komplexy prechodných kovov viažuce kyslík. S toxicitou kyslíka najužšie súvisia ióny železa a medi¹⁴.

3.1. Význam kyslíkových radikálov pre organizmus

Živé organizmy využívajú voľné radikály na ničenie baktérií, vírusov a parazitov. Napríklad zvýšenie koncentrácie

voľných radikálov sa zistilo v hnise. T-lymfocyty využívajú voľné radikály na usmrcovanie nádorových buniek. Voľné radikály sa podieľajú aj na prasknutí folikuly pri ovulácii. Oplodnenie vajíčka spermou je umožnené narušením vajíčka pôsobením voľných radikálov.

3.2. Nežiaduce účinky kyslíkových radikálov na organizmus

Reaktívne formy kyslíka poškodzujú všetky typy biologických molekúl, vrátane nukleových kyselín, lipidov, proteínov a sacharidov. Voľné kyslíkové radikály, ako poukazujú mnohé výskumy, sa podieľajú na vzniku a priebehu rozličných ochorení, ale aj starnutí organizmu^{14–16}; napr. na poškodení srdca a ciev pri kardiovaskulárnych ochoreniach, aj na poškodení sliznice tráviaceho ústrojenstva¹⁷. Pacienti s cukrovkou, zápalovými reumatickými ochoreniami, rozličnými poškodeniami mozgu (Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba), bronchiálnou astmou a pod., majú v plazme zvýšené koncentrácie voľných kyslíkových radikálov¹⁸. Medzi tkanivá s najvyššou antioxidačnou schopnosťou, t.j. najlepšie odolávajúce nežiaducemu pôsobeniu voľných radikálov, patrí pľúcne tkanivo.

3.3. Zdroje kyslíkových radikálov

Kyslíkové radikály vznikajú v každej bunke ako produkty prebiehajúcich metabolických procesov. Najvýkonnejším producentom kyslíkových radikálov v bunkách sú enzýmy membrán, najmä tie, ktorých koenzýmy sú schopné redukovať kyslík O₂ jedným elektrónom na superoxid O₂⁻. Sú to predovšetkým koenzýmy s chinoidnou alebo flavinovou štruktúrou, hémové koenzýmy a enzýmy s meďou v aktívnom centre. Najvýdatnejším zdrojom kyslíkových radikálov v bunke je respiračný dej mitochondrií.

K tvorbe voľných kyslíkových radikálov v organizme môže prispievať aj nevyvážená strava. V posledných rokoch sa zistilo, že vysoký podiel polynenasýtených mastných kyselín, ktoré sú v niektorých rastlinných olejoch (repkovom, slnečnicovom a kukuričnom), podieľajúcich sa na peroxidácii lipidov, je zdrojom kyslíkových radikálov. Veľké množstvo kyslíkových radikálov sa do organizmu dostáva fajčením. Jedno vdýchnutie cigaretového dymu obohatí fajčiara až o 10¹⁴ voľných kyslíkových radikálov.

Tabuľka III

Niektoré zdroje voľných radikálov¹⁹

Zdroje tvorby voľných radikálov	
vnútorné	vonkajšie
Fagocyty	cigaretový dym
Mitochondrie	znečistenia životného prostredia
Peroxidázy	radiácia
Xantinoxidáza	chemoterapeutiká
Kaskáda kyseliny arachidónovej	ultrafialové svetlo
Reakcie zahrňujúce ióny prechodných prvkov	niektoré lieky, pesticídy, anestetiká, organické rozpúšťadlá
Zápal	ozón
Ischemicko-reperfúzne stavy	
Intenzívne cvičenie	

3.4. Odbúravanie kyslíkových radikálov v organizme

Živé bunky a organizmy sú vybavené viacerými ochrannými systémami, ktoré zabezpečujú kontrolu nadproduktie voľných kyslíkových radikálov. Predovšetkým sú to enzýmy, ktoré premieňajú voľné kyslíkové radikály na molekulový kyslík a vodu. Napríklad enzýmy katalázy, superoxidázmu-táza a glutathionperoxidáza. Ich aktivita sa zvyšuje fyzickou námahou²⁰. V organizme sa na odstraňovaní voľných kyslíkových radikálov zúčastňujú aj neenzýmové antioxidanty, medzi ktoré zaraďujeme predovšetkým β -karotén, vitamín E, vitamín C, kyselinu močovú, sulfhydrylové skupiny bielkovín, ceruloplazmín, flavonoidy, redukovaný glutathion (GSH), ale aj selén^{14,15}. V rastlinách sa vyskytujú látky, ktoré sú známe antioxidantnými aktivitami, napr. štandardizovaný extrakt z listov artičoky zeleninovej (*Cynara scolymus*). Výťažok získaný z 1 mg cesnaku siateho (*Allium sativum*) má rovnaký antioxidantný účinok ako 30 nmol vitamínu C alebo 3,6 nmol vitamínu E.

4. Záver

O účinkoch kyslíkových radikálov na ľudský organizmus už súčasná veda získala veľa poznatkov. Vieme, že sú nevyhnutné pre vývoj života, ale môžu život aj významne ohrozovať.

O účinkoch radikálov v ľudskom organizme možno hovoriť aj pri ďalšom makrobiogénnom prvku, dusíku. V poslednom období sa výskum sústreďuje na objasnenie významu NO v mozgu, ktorého biologický polčas je asi 5 sekúnd. Tento reaktívny voľný radikál spoluzodpovedá za „smrť“ neurónov¹⁵.

O význame výskumu účinkov voľných radikálov na ľudský organizmus svedčí skutočnosť, že oxid dusnatý NO bol v jednom z najznámejších vedeckých časopisov súčasnosti, v časopise Science, vyhlásený za „Molekulu roka 1992“.

LITERATÚRA

- Kaim W., Schwederski B.: *Bioinorganic Chemistry. Inorganic Elements in the Chemistry of Life*. Wiley, Chichester 1994.
- Senft V., Kohout J.: Cas. Lek. Cesk. 135, 150 (1996).
- Buchancová J., Vrlík M., Gálíková E., Mušák L.: Pracov. Lek. 44, 190 (1992).
- Miko M.: *Základy výživy*. STU, Bratislava 1993.
- Vizinová H., Bártek J.: Cas. Lek. Cesk. 132, 587 (1993).
- Jaroš Z.: Cas. Lek. Cesk. 66, 29 (1994).
- Günter T.: Magnesium Bull. 1981, 91.
- Komárek J.: Cas. Lek. Cesk. 128, 955 (1989).
- Kazda A.: Klin. Biochem. Metab. 2, 217 (1994).
- Adamkovič E.: *Učebné osnovy chémie pre 5. až 9. ročník základnej školy*. MŠ SR, Bratislava 1997.
- Adamkovič E.: *Učebné osnovy chémie pre gymnáziá. Štvorročné štúdium*. MŠ SR, Bratislava 1997.
- Adamkovič E.: *Učebné osnovy chémie pre gymnáziá. Osemročné štúdium*. ŠPÚ, Bratislava 1996.
- Melicherčík M., Melicherčíková D.: *Bioanorganická chémie. Chemické prvky a ľudský organizmus*. Príroda, Bratislava 1997.
- Đuračková Z.: *Voľné radikály a antioxidanty v medicíne I*. Slovak Academia Press, Bratislava 1998.
- Đuračková Z.: *Voľné radikály a antioxidanty v medicíne II*. Slovak Academia Press, Bratislava 1999.
- Štípek S.: *Antioxidanty a voľné radikály ve zdraví a v nemoci*. Grada, Praha 2000.
- Mojžiš J., Kohút A.: Cesk.-Slov. Gastroenter. Vyziva 47, 275 (1993).
- Jiráček R.: Remedia 7, 92 (1997).
- Langseth L.: *Oxidants, Antioxidants, and Disease Prevention*. ILSI Europe, Brussels 1995.
- Kaplán P., Lehotský J.: Vesmír 76, 313 (1997).

D. Melicherčíková^a and M. Melicherčík^b (^aDepartment of Civics and Natural History, Pedagogical Faculty, ^bDepartment of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, Matej Bel University, Banská Bystrica, Slovak Republic): **Biogenic Elements in Education of Chemistry**

Attention is paid to conditions and the history of integration of chemical elements in biogenic elements and their role in chemistry teaching. A part of results of the research is shown, which was made among chemistry teachers and students at primary and secondary schools. Inclusion of findings about the impact of oxygen radicals on human body, a topic often mentioned in media, in chemistry teaching plans for secondary schools is suggested. A brief survey of sources, direct and indirect effects, and degradation of oxygen radicals in human body is given.