

### Ajánlott irodalom

1. Kiss Tamás, Gajda Tamás, Gyurcsik Béla:  
Bevezetés a bioszervetlen kémiába (Nemzeti Tankönyvkiadó)
2. Kőrös Endre: Bioszervetlen kémia (Gondolat Kiadó)
3. A. Earnshaw N.N. Greenwood: Az elemek kémiája I – III.
4. S.J. Lippard, J.M. Berg:  
Principles of Bioinorganic Chemistry (University Science Book)
5. W. Kaim, B. Schwederski:  
Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the  
Chemistry of Life, (John Wiley & Sons)

### A bioszervetlen kémia tárgya és kialakulása

**Tárgyköre:** Az élő rendszerekben előforduló nem-szerves eredetű kémiai elemek (*létfontosságú és toxikus*) biológiai szerepének (*felvétel, kötődés módjai, transzportfolyamatok, funkció, kiürülés*) megismerése és modellezése, illetve ezen ismeretek gyakorlati alkalmazásai a gyógyászat, mezőgazdasági termelés és a környezetvédelem területén.

**Kialakulása:** társtudományok fejlődése alapján:

- **biokémia:** pl. színes fehérjék, biológiai redoxifolyamatok értelmezése, stb.
- **analitikai kémiai módszerek érzékenységének növekedése:**  
~ 50 – 70 kémiai elem jelenléte a valós biológiai mintákban rendszeresen kimutatható.
- **klinikai megfigyelések:** nehézfémek anyagcsere zavaraival összefüggő megbetegedések megismerése
- **koordinációs kémia:** fémion – bioligandum kölcsönhatás stabilitása

## A bioszervetlen kémia irodalma



## A biológiai rendszerek elemi összetétele

### **Biológiai minták analízisének eredményei:**

*a korszerű analitikai módszerek segítségével közel a teljes periódusos rendszer (min. 50 – 70 elem) a valós biológiai mintákban is kimutatható.*

### **Csoportosítás:**

#### **- létfontosságú elemek**

meghatározott koncentráció-tartományban fordulnak elő

#### **- szennyező elemek**

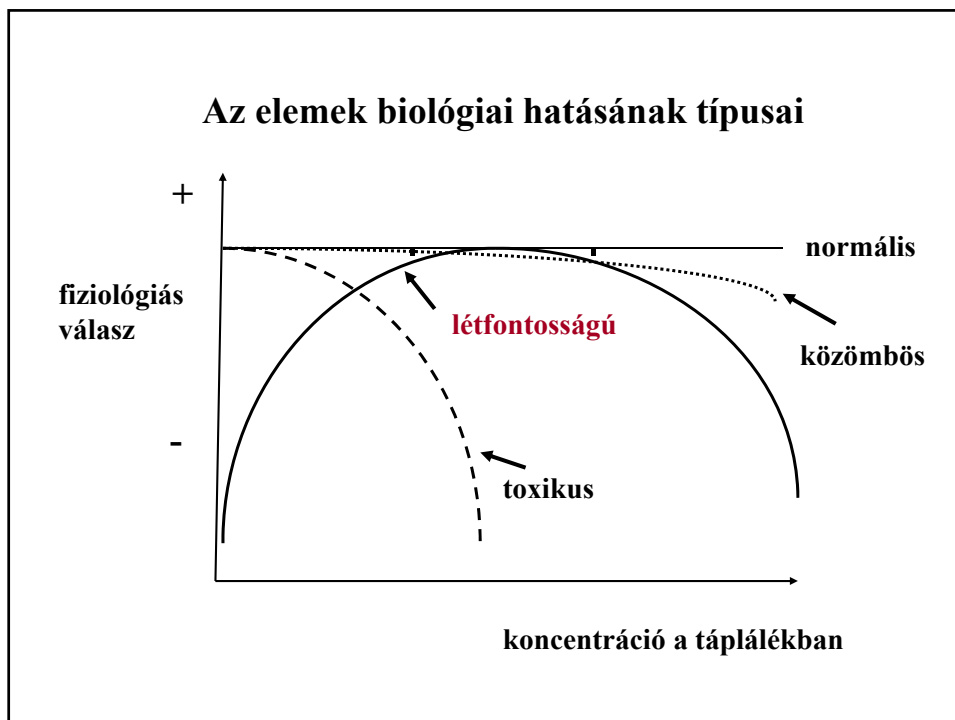
mennyiségük a környezeti hatások függvénye

típusaik:

„közömbös” elemek

„előnyös” hatású elemek

mérgező (toxikus) elemek



### Létfontosságú elemek (besorolás feltételei)

1. **Meghatározott koncentráció tartományban** fordulnak elő, valamennyi az adott fajhoz tartozó minta esetén
2. **Elvonásuk** (táplálékból) reprodukálható és hátrányos fiziológias elváltozásokat eredményez. Ezek az elváltozások az illető elem **pótlásával** visszafordíthatók vagy legalább enyhíthetők.
3. **Hiányuk és/vagy fölöslegük** jól meghatározott **betegségekkel** is összefüggésbe hozható.
4. Az elem biológiai előfordulása **meghatározott biokémiai folyamathoz/** folyamatokhoz kapcsolható.

## Létfontosságú elemek

**1. Szerves vázalkotók:** (6 elem)

**C, H, O, N, S, P**

**2. Szervetlen váz- és testnedv alkotók:** (5 elem)

**Na, K, Ca, Mg, Cl**

**3. Nyomelemek:** (14 elem)

- főcsoportbeli: **Se, Si, Sn, F, I**

- átmenetifém: **Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Ni, V, (Cr), Mo**

**Nem létfontosságú (szennyező) elemek:**

- előnyös hatású (beneficial): **B, Ti, W,...** (As, Cd, Pb....)

- mérgező hatású (toxic): **Hg, Cd, Pb, Tl, As, Pt-fémek, Be, Ba,...**

### Létfontosságú elemek átlagos mennyisége az emberi szervezetben (70 kg testsúlyra vetítve)

Elem	tömeg	(m/m) %	(n/n) %	Elem	tömeg	(m/m) %	(n/n)%
<b>O (kg)</b>	<b>45,55</b>	<b>65,1</b>	<b>26,0</b>	<b>Na (g)</b>	<b>70</b>	<b>0,10</b>	<b>0,03</b>
<b>C (kg)</b>	<b>12,59</b>	<b>18,0</b>	<b>9,6</b>	<b>Mg (g)</b>	<b>42</b>	<b>0,06</b>	<b>0,02</b>
<b>H (kg)</b>	<b>6,78</b>	<b>9,7</b>	<b>62,3</b>	<b>Fe (g)</b>	<b>4-4,5</b>	<b>0,007</b>	<b>0,0007</b>
<b>N (kg)</b>	<b>1,82</b>	<b>2,6</b>	<b>1,2</b>	<b>Zn (g)</b>	<b>2-3</b>	<b>0,0035</b>	<b>0,0004</b>
<b>P (g)</b>	<b>680</b>	<b>1,0</b>	<b>0,2</b>	<b>Cu (mg)</b>	<b>80-120</b>	<b>0,00014</b>	<b>0,00001</b>
<b>S (g)</b>	<b>100</b>	<b>0,15</b>	<b>0,03</b>	<b>Mn (mg)</b>	<b>12-20</b>	<b>0,00003</b>	<b>-</b>
<b>Ca (g)</b>	<b>1700</b>	<b>2,42</b>	<b>0,38</b>	<b>Mo (mg)</b>	<b>4-5</b>	<b>0,00001</b>	<b>-</b>
<b>K (g)</b>	<b>250</b>	<b>0,36</b>	<b>0,06</b>	<b>Se (mg)</b>	<b>20</b>	<b>0,00004</b>	<b>-</b>
<b>Cl (g)</b>	<b>115</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>	<b>I (mg)</b>	<b>30</b>	<b>0,00005</b>	<b>-</b>

**Összehasonlításul: Pb: 80 mg/70 kg, Al: 100 mg/70 kg, Sr: 140 mg/70 kg**

## A nyomelemek kiválasztódását befolyásoló tényezők

### 1. Szénalapú élet: C, H, O, N, S, P

*létezik-e élet eltérő kémiai alapon? (B, Si,...)*

(nem ismert és valószínűleg nem is lehet)

### 2. Szervetlen alkotók felhalmozódása

- *mai ember és ősember elemi összetétele*

- *az élet keletkezésének körülményei*

gyakoriság földkéregben/tengervízben és ezek változásai

- *kémiai tényezők szerepe: KOMPLEXKÉPZŐDÉS*

oldékonysági tényezők

redoxipotenciál

hard-soft (kemény-lágy) sav-bázis elmélet szerepe

## A nyomelemek mennyisége az ősember és a mai ember esetén (ppm)

Elem	ősember	mai ember	dúsulás
Fe	60	60	1,0
Zn	33	33	1,0
Cu	1,0	1,2	1,2
Mo	0,1	0,1	1,0
Al	0,4	0,9	2,3
Ti	0,4	0,4	1,0
Cd	0,001	0,7	700
Hg	< 0,001	0,19	> 200
Pb	0,01	1,7	170

### Az élet keletkezése I.

**Kémiai evolúció:** kémiai elemekből egyszerű, majd bonyolultabb szerves molekulák képződése

**Prebiológiai evolúció:** biológiai fontosságú szerves vegyületek halmazából az élő sejtek kialakulása

**Biológiai evolúció:** az élővilág fejlődése

### Az atmoszféra összetétele és változásai

**1. fázis (~ 4·10<sup>9</sup> év)      2. fázis (~ 2·10<sup>9</sup> év)      3. fázis (jelen)**

**Fő komponensek: ( $p > 10^{-2}$  bar)**

CO <sub>2</sub> (10 bar)	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
N <sub>2</sub> (1 bar)		O <sub>2</sub>
CH <sub>4</sub> , CO		

**Kis koncentrációjú komponensek: ( $10^{-2} > p > 10^{-6}$  bar)**

H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
NH <sub>3</sub> , Ar, H <sub>2</sub> (?)	Ar, O <sub>2</sub>	Ar

**Nyomokban jelenlévő: ( $p < 10^{-6}$  bar)**

O <sub>2</sub> (10 <sup>-13</sup> bar)	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub> , CO
	SO <sub>2</sub> ,	NO, SO <sub>2</sub>

### A tengervíz összetétele és változásai

1. fázis (~ 4·10<sup>9</sup> év)      2. fázis (~ 2·10<sup>9</sup> év)      3. fázis (jelen)

pH ~ 2 (→ 5.5),  
T ~ 80 °C

pH ~ 8.0  
T ~ 55 °C

pH ~ 8.0  
T ~ 25 °C

savasság forrása:  
HCl (+ CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>)

redoxipotenciál:  
0,0 – - 0,5 V

0,0 – + 0,4 V

~ + 0,8V

kémiai alkotók:

M<sup>+</sup> és M<sup>2+</sup> ionok növekvő, M<sup>3+</sup> ionok csökkenő koncentrációban

### Szerves vegyületek/élet kialakulása

– 4 milliárd évvel ezelőtt: a Föld kérge véglegesen megszilárdult

a Föld légköre: redukáló jellegű

elsősorban H<sub>2</sub>, He → világűrbe távoztak

legstabilisabb szénvegyületek: CH<sub>4</sub>, CO és CO<sub>2</sub>

további fő komponensek: H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>

– ősóceán: H<sub>2</sub>O + N<sub>2</sub> + NH<sub>3</sub> + SO<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> + CO + ...

és más egyszerű szerves vegyületekből a reaktív körülmények között (+ UV-, kozmikus- és radioaktív sugárzás elektromos kisülések hatására) abiogén úton kialakultak az alapvető szerves vegyületek (pl. aminosavak, nuklein-bázisok,...) ●

→ kialakulhatott az élet anaerób formája (kb. 3,5 milliárd évvel ezelőtt)

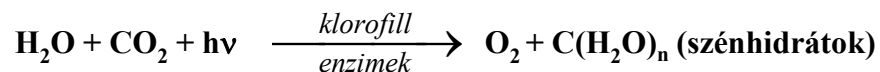
(Az erős UV sugárzás miatt mélyen a tengerfelszín alatt)

### Oxigénatmoszféra kialakulása I.

- légkörbe került  $\text{H}_2\text{O}$   $\xrightarrow{\text{UV-fény, fotodisszociáció}}$   $\text{H}_2, \text{O}_2$
- 11 km magasságban:  $-60\text{ }^\circ\text{C}$ , vízgőz kicsapódik, a  $\text{H}_2$  „elszökik” az  $\text{O}_2$  a jég/víz fölött rétegződik
- a Föld légkörében kialakuló oxigénréteg csökkenti az UV-sugárzást a mai oxigénszint 0,001-részt elérve a fotodisszociáció leáll  
→ további oxigénszint emelkedés csak biológiai úton lehetséges

Az  $\text{O}_2$  azonban jelen van, ami toxikus az anaerób életformák számára → megindul az aerób életforma kifejlődése:

→ **fotoszintézis**



### Oxigénatmoszféra kialakulása II.

- **2,5 – 3 milliárd évvel ezelőtt** az  $\text{O}_2$ -szint eléri a mai szint 0,01 részét → anaerob fermentáció helyett légzés → fejlettebb szervezetek, óceánok 30 cm mélységében
- **600 - 700 millió évvel ezelőtt** az  $\text{O}_2$ -szint eléri a mai szint 0,1 részét, az ózonréteg megvastagodott → **az élet kiléphetett a szárazföldre**
- **300 millió évvel ezelőtt kialakul a légkör mai formája**  
→ **állandósul a biológiai rendszerek elemi összetétele (további változás csak az emberi tevékenység hatására)**

**A földkéreg és tengervíz átlagos elemi összetétele (ppm)**

Elem	tengervíz	földkéreg	dúsulás (t/f)
<b>Na</b>	<b>10050</b>	<b>28300</b>	<b>0,37</b>
<b>Cl</b>	<b>19000</b>	<b>130</b>	<b>146</b>
<b>Al</b>	<b>0,01</b>	<b>81300</b>	<b><math>10^{-7}</math></b>
<b>Si</b>	<b>3,0</b>	<b>277000</b>	<b><math>10^{-5}</math></b>
<b>Ti</b>	<b>0,001</b>	<b>4400</b>	<b><math>10^{-7}</math></b>
<b>Cr</b>	<b>0,0005</b>	<b>100</b>	<b><math>10^{-6}</math></b>
<b>Mo</b>	<b>0,01</b>	<b>1,5</b>	<b>0,01</b>
<b>Ln</b>	<b><math>10^{-7}</math></b>	<b>1 – 100</b>	<b><math>10^{-8}</math></b>
<b>Cu</b>	<b>0,003</b>	<b>55</b>	<b><math>10^{-5}</math></b>

**Hard-soft (kemény-lágy) sav-bázis elmélet (HSAB)**

*Lewis sav: elektronpár akceptor*      *Lewis bázis: elektronpár donor*

Csoportosítás: polarizálhatóság (*ionméret + töltés*) alapján

Hard (kemény): *nehezen polarizálható = kis méret + nagy töltés*

Soft (lágy): *könnyen polarizálható = nagy méret + kis töltés*

	<b>sav</b>	<b>bázis</b>
<i>hard (<math>s^2p^6</math>)</i>	<b>Li<sup>+</sup>, Be<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ln<sup>3+</sup></b> <b>Ti(IV), Mn(VII)</b>	<b>F<sup>-</sup>, O<sup>2-</sup>,...</b>
<i>soft (<math>\sim d^8 - d^{10}</math>)</i>	<b>Cu(I), Ag(I), Hg(II)</b>	<b>F<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>, CN<sup>-</sup>,...</b> <b>többszörös kötésű</b> <b>szerves vegyületek</b> <b>(tiolok, aromás-N)</b>
<i>közbenső (<math>3d^x</math>)</i> <i>(borderline)</i>	<b>Cu(II), Zn(II),...</b>	<b>Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O,</b> <b>NH<sub>3</sub>,...</b>

## A nyomelemek szerepének csoportosítása

### 1. Kismolekulák szállítása és tárolása

pl. O<sub>2</sub> szállítása: hemoglobin (Fe), hemeritrin (Fe), hemocianin (Cu)

O<sub>2</sub> tárolása: mioglobin (Fe),...

### 2. Molekulák aktiválása: metalloenzimek

a/ redoxi folyamatok katalízise:

Fe<sup>III</sup>/Fe<sup>II</sup> és Cu<sup>II</sup>/Cu<sup>I</sup> redoxirendszerek (+ Mn, Co, Mo,....)

b/ sav-bázis folyamatok katalízise (hidrolitikus reakciók)

Zn<sup>II</sup>-komplexek (+ Ca, Mg, (Mn,...))

### 3. Elektronszállító fehérjék

(citokrómok [Fe], vas-kén fehérjék [Fe], kékréz fehérjék [Cu])

### 4. Makromolekulák konformációjának stabilizálása

a/ metalloenzimek (a fém nem aktív centrum)

b/ cinkujjak (szerkezetalkító)

### 5. Nyomelemek tárolása, szállítása:

pl. ferritin, transferrin (Fe)