



NYOMELEMEKRŐL

Tartalom

Bevezető	5
A Naprendszer és a Föld azonos kémiai elemekből épül fel, de az élővilág sem különbözik ettől	6
Hamvazószerda és az embert alkotó elemek összefüggése a Föld anyagával	11
Miért fontosak a nyomelemek, amikor mennyiségük elhanyagolható?	14
Mi a sok és mi a kevés? Hogyan lesz a milligrammból pikogramm?	16
Hogyan változott a létfontosságú elemek köre és milyen változások* várhatók?	19
Egy-egy adott elem, vagy több együttesen fontos élettanilag?	20
Mi mérgez és miért?	
Az ólom és a szelén mindig mérgező?	24
A nyomelemek mint az emberi egészség alapjai	29
Felhasznált és ajánlott irodalom	33



ÍRTA:

DR. PAIS ISTVÁN

EGYETEMI TANÁR A MEZŐGAZDASÁGI TUDOMÁNY DOKTORA

FŐSZERKESZTŐ:

IFJ. DR. BÉRES JÓZSEF

©BÉRES RT., 1996

ISBN 963 85 15740

A KIADÁSÉRT FELEL: HEIMANN ZOLTÁN,

A BÉRES RT.VEZÉRIGAZGATÓJA

SZERKESZTETTE: BÉRES KLÁRA ÉS KORONCZAI MAGDOLNA

KÉSZÜLT A KOSSUTH KÖNYVKIADÓ NYOMDÁJÁBAN

FELELŐS VEZETŐ: KÁMÁN ANDRÁS



Bevezető

Ma már az élet szinte minden területén találkozunk a nyomelemekkel, illetve fontosságuk a korábbiakhoz képest jelentősen megnőtt. A nyomelemről a napi „hírforrások” részben télszínes, részben félreérthető információkat is tartalmaznak, ezért egy közérthető, mégis szakszerű kézikönyvre talán sohasem volt nagyobb szükség, mint napjainkban.

Egy, a nyomelemekkel - elsősorban a táplálkozás-élettan szempontjából - foglalkozó kézikönyvben elkerülhetetlen az elnevezésekkel kapcsolatos állásfoglalás. Az első fejezet elején írottak alapján előnyben részesíthetnénk a „mikroelem” kifejezést, de ezzel teljesen egyenértékűen használható a „nyomelem” megnevezés is: a könyvben ez utóbbival találkozik az olvasó. A nyomelem kifejezéssel az angol „trace element” és a német „Spurenelement” szóösszetételek jobban megegyeznek.

A „mikrotápelem” kifejezés is azonos értelemben használható. Ez elsősorban akkor indokolt, ha a mezőgazdaságban vagy a táplálkozás-tudományban kívánjuk kihangsúlyozni, hogy ezek az elemek a táplálkozás elengedhetetlen tartozékai. A „mikrotápanyag” kifejezés már távolról sem egyértelmű, hiszen - főleg az orvosi szakirodalomban - a kis mennyiségben szükséges sokféle vegyület (vitaminok, aminosavak stb.) összefoglaló megnevezésére használják. A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy az eddig felsorolt kifejezések más tudományágakban (geokémia, metallurgia stb.) más és más értelmezést kaphatnak.

Bízunk abban, hogy ez a kis könyv is hozzájárul ahhoz, hogy az egészségünk alapját képező táplálkozásunk megfelelőbbé váljon és a nyomelemek a mindennapi életben is elfoglalják az őket méltán megillető, fontos helyet.

A NAPRENDSZER ÉS A FÖLD AZONOS KÉMIAI ELEMKBŐL ÉPÜL FEL, DE AZ ÉLŐVILÁG SEM KÜLÖNBÖZIK ETTŐL

A kémia tudományának egyik alapvető pillére az elemek periódusos rendszere, amelyet 120 éve ismerünk. E periódusos rendszerben (1. ábra) megtaláljuk mindazokat a kémiai elemeket, amelyekből a Föld, és minden bizonnyal a Naprendszert alkotó más égitestek, sőt feltehetően az egész világegyetem felépül.



Azt is meg kell azonban mondanunk, hogy a 93. sorszámú elemtől kezdve, azaz az uránnál nagyobb rendszámú valamennyi elemet mesterséges úton állították elő, illetve négy másik elemet (a 43., a 61., a 85. és a 87. sorszámú elemek) is mesterségesnek kell tekintenünk, így Földünkön 88 állandó elem található. Ezek az elemek, valamint az általuk alkotott vegyületek adják együttesen a Föld anyagát.



A nyomelemek a szervezetünkben kis mennyiségben,
„nyomokban” fordulnak elő, de fontos szerepet töltenek be
A biológiai folyamatok zavartalan működésében.

A 88 állandó elemből - élettani szempontból - 12 elemet ki lehet zárni: ezekről az 1. táblázat alapján tájékozódhatunk. A táblázat bal oldali oszlopában az úgynevezett nemesgázokat találjuk: mint nevük is mutatja, ezek az elemek nem képeznek vegyületeket (molekulákat), ezért az élet szempontjából nem lehet jelentőségük. A jobb oldali oszlopban található radioaktív

1. ábra
Az elemek periódus rendszere



(sugárzó) eleinek viszont a belőlük felszabaduló, az egészségre általában káros sugárzás miatt nem sorolhatók az élettani szempontból pozitív hatású elemek közé. így a 88 állandó elemből mindössze 76 maradt: ezek mindegyike szerepet játszik (vagy játszhat) az élőlények életében.

1. TÁBLÁZAT AZ ÉLETTANI, ILLETVE A KEDVEZŐ ÉLETTANI SZEREBŐL KIZÁRTHATÓ ELEMOK

Nemesgázok	Radioaktív elemek
Hélium	Polónium
Neon	Rádium
Argon	Aktínium
Kripton	Tórium
Xenon	Protaktínium
Radon	Urán

Amikor századunk elején egyre sokoldalúbban kezdték az élőlények szervezetét elemezni, kiderült, hogy a növények, állatok és az ember szervezetének 99 százalékát (vagy még annál is kissé nagyobb részét) 11. elem építi fel, melyek



Azt is megfigyelhetjük, hogy mindössze négy fémeket találunk a makro elemek között: a nátriumot, a káliumot, a kalciumot és a magnéziumot.

Ha a hetvenhatból az említett elemek számát ismét levonjuk, eredményül 65-öt kapunk. Ezek az elemek elég gyakran csak néhány ezred, vagy tízezred százalékban fordulnak elő az élőlényekben, de többségük mennyisége (koncentrációja) még ennél is jóval alacsonyabb. Ezért kapták a nyomelem elnevezést, sőt egyeseket - igen kis mennyiségük miatt – ultra nyomelemeknek neveznek. Az említett 65 elemet találjuk meg a 2. ábrán, amely az elemek periódusos rendszerében ezeket az elemeket ábrázolja.

Joggal vetődik fel a kérdés az olvasóban: ha más elemekhez képest ezek a nyomelemek, még inkább az ultranyomelemek szinte elhanyagolható mennyiségben fordulnak elő az élő szervezetekben, akkor van-e egyáltalán szerepük, jelentőségük az életben? Mielőtt a nyomelemek élettani szerepének részletesebb ismertetését megkezdénénk, az előbb feltett kérdésre nagyon határozott igennel kell válaszolnunk, sőt- talán kis szakmai elfogultságból eredően - azt mondhatjuk, hogy a nyomelemek szerepe sok tekintetben még fontosabb is, mint a makro elemeké!

Századunk első évtizedeiben fokozatosan egyre több elemről bizonyították be a kutatók, hogy azok az élőlények élete szempontjából vagy általánosan, vagy részlegesen (csak néhány élőlény-fajta esetében) létfontosságúak, vagyis nélkülük az életjelenségek nem képzelhetők el. A század közepéig 6-8 elemet tekintettek létfontosságúnak, számuk napjainkig több mint 10-re növekedett és nyugodtan leírhatjuk, hogy számuk az elkövetkező évtizedek során jelentősen bővülni fog.

A 3. táblázatban azokat az elemeket foglaltuk össze, amelyeket létfontosságúnak tekinthetünk. Ehhez azonban kötelességszerűen hozzá kell fűznünk, hogy a létfontosság kérdésében nem minden esetben egységes a tudomány álláspontja: amit a táblázat tartalmaz, az a kutatók többségének és természetesen a szerző véleményét is tükrözi.



3. TÁBLÁZAT A LÉTFONTOSSÁGÚNAK TARTOTT NYOMELEMEK

Név	Vegyjel
Bór	B
Cink	Zn
Fluor	F
Jód	I
Kobalt	Co
Mangán	Mn
Molibdén	Mo
Nikkel	Ni
Réz	Cu
Szelén	Se
Vanádium	V
Vas	Fe

HAMVAZÓSZERDA ÉS AZ EMBERT ALKOTÓ ELEMÉK ÖSSZEFÜGGÉSE A FÖLD ANYAGÁVAL

A vallás kérdéseivel nem kívánunk foglalkozni, de a Biblia szövege szerint az Isten úgy alkotta az embert, hogy agyagból (más szavakkal a Föld anyagából) megformálta a testet és lelket lehelt bele. Ezen ősi tanításnak megfelelően a római katolikus vallás szertartása szerint hamvazószerdán a pap szentelt hamuval keresztet rajzol a hívők homlokára és régebben latin nyelven a következőket mondta: „Memento homo, quia pulvis es et in pulverem reverteris”. Ez a hosszú évszázadok óta használt mondás magyarul így hangzik: „Emlékezz, ember, mert porból vagy és a porba térsz vissza!”

Sokan átestek és átesnek ezen a szertartáson, *(elsősorban ez természetesen a Római Katolikus Egyház megkeresztelt és aktív tagjaira vonatkozik. A protestáns egyházak ezt a szertartást nem ismerik D.O.)* mi - természettudományos meggyőződésünknek megfelelően - azt valljuk, hogy ez a mondat minden



szempontból megfelel a korszerű tudomány álláspontjának. Ez más szavakkal annyit jelenti, hogy az ember - és minden élőlény - valóban a földkéreg anyagából „fejlődött” ki.

Vagyis az élőlények szervezete elemi összetételük tekintetében megegyezik a földkéreg összetételével, egyetlen olyan elemet sem ismerünk, amely csak az élőlényekben lenne és nem találnánk meg a földkéregben.

Azt, hogy az ember régen kizárólag a Földön található növényekkel, illetve (később) a környezetében élő állatokkal táplálkozott, úgy gondolom nem lehet vitatni és napjainkban sem változott meg a helyzet alapjaiban. Ma már- első- sorban a fejlett országok lakossága - nagyon sok feldolgozott és nem is a saját országában termelt élelmiszert is fogyaszt, de ez a lényegen nem változtat: mindent a Földön „állítanak elő”.



Az elemek egy jelentős része a földkéregben sokkal nagyobb koncentrációban fordul elő, mint az élővilágban.

Ezek a növényeken keresztül jutnak be a táplálékláncba.

Ha a Föld kérgének elemzéséből, valamint a tengervíz, a növényi és az állati szervezetek elemzéséből adódó értékeket - a legfontosabbnak ítélt 25 elem esetében - összehasonlítjuk (4. táblázat), meglepő összefüggéseket kapunk.* Az elemek egy jelentős része - ilyen a szilícium, az alumínium és a vas - a földkéregben sokkal nagyobb koncentrációban fordul elő, mint az élővilágban. A hidrogén, a nitrogén, a kén, a foszfor, de elsősorban a szén szempontjából a helyzet fordított: ezek az elemek az élőlények szervezetében feldúsultak.

Arról a tényről most nem kívánunk részletesen beszélni, hogy a növényvilágban és az állatvilágban is vannak olyan élőlények, amelyek I-I elem szempontjából nézve „kilógnak a sorból”:

* Az állatoknál szereplő értékek -eltérésekkel - az emberi szervezetre is érvényesek.

4. TABLAZAT



**AZ ELEMENNYISÉGÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ
ADATAI**

Az elem neve	Földkéreg	Tenger víz	Növények	Állatok
	Tömeg %	mg/l	mg/kg	
Oxigén	466000	857 000	41 000	400000
Szilícium	277 200	3,0	<5 000	<6000
Alumínium	81 300	0,01	<500	< 100
Vas	50 000	0,01	140	160
Kalcium	36 300	400	18 000	85 000
Nátrium	28 300	10 500	1200	4000
Kálium	25 900	380	14,000	7 400
Magnézium	20900	1 350	3 200	1 000
Titán	4 400	0,001	< 1,0	0,2
Hidrogén	1400	108 000	55 000	70 000
Foszfor %	1 180	0,07	2 300	40000
Mangán	1 000	0,002	120	0,2
Kén	520	885	3 400	5 000
Szén	320	28	454 000	465 000
Klór	314	19 000	<2 000	2 800
Króm	200	0,0000 5	0,6	0,07
Vanádium	150	0,002	1,6	0,1
Cink	132	0,01	100	250
Nikkel	80	0,0054	3,0	0,8
Réz	70	0,003	14,0	2,4
Nitrogén	40	0,5	30 000	100000
Molibdén	15	0,01	0,9	0,2
Bór	3,0	4,6	50	0,5
Jód	0,3	0,06	0,4	0,4



Szelén	0,09	$\frac{0,0000}{9}$	0,2	1,7
--------	------	--------------------	-----	-----

így például néhány zsákállat vérében pár százalékban található vanádium, amely a legtöbb élőlény szervezetében milliomod százalékot, vagy még annál is kisebb mennyiséget képvisel. Azt is csak az érdekesség kedvéért említjük meg, hogy néhány tengeri élőlény (kagylófélék, osztrigák, különböző növények stb.) a tengervízben igen kis mennyiségben található elemeket közel milliószoros dúsításban képes szervezetében elraktározni.

MIÉRT FONTOSAK A NYOMELEMEK, AMIKOR MENNYISÉGÜK ELHANYAGOLHATÓ?

Mini az előzőekben hallottuk, a nyomelemek egy kisebb része az élő szervezetekben grammonként mikrogramm mennyiséget képez, sőt nagyobb részük koncentrációját grammonként csak nanogrammban lehel kifejezni Ezek - az átlag olvasó számára hihetetlenül kis mennyiségek - jelentős, sőt döntő fontosságú szerepet játszhatnak az éleiben?

E kis könyvnek nem lehet feladata, hogy az élet minden fontosabb összefüggését részletesen tárgyalja, de az enzimek témakörét „hivatalból” vizsgálat tárgyává kell tennünk. Az enzimek azok a rendszerint bonyolult vegyületek, amelyek az élő szervezetek számára alapvető biokémiai folyamatok irányítói, „parancsnokai”.

Jelenleg kereken 10 ezer enzimet ismer a tudomány és ezeket a mi könyvünk tematikája szempontjából - két nagyobb csoportra oszthatjuk. Az enzimek mintegy 30 százalékáról bebizonyosodott, hogy a rendszerint nagy szerves molekula (molekulatömegük tízezertől tízmillióig változhat) megfelelő működéséért elsősorban a bennük lévő néhány fémion a felelős, ezért is nevezzük ezeket az enzimeket szaknyelven „metallo-enzimek”-nek.

Kezdő példaként megemlíthetjük, hogy cinket tartalmaz nyomelemként mintegy 200 enzim; ezek közül most csak a peroxidációs folyamatokat gátló szuperoxid-dizmutázt, vagy a májat károsító alkoholt lebontó alkohol-dehidrogenázt említjük. A szuperoxid-dizmutáz egyébként rezes is tartalmaz, de ugyancsak réztartalmúak az oxigén-anyagcserét szabályozó „légzési enzimek”, vagy a tirozináz, vagy a polifenol-oxidáz nevű enzim (ennek hatására barnul meg a felvágott, s még gyorsabban a megreszelt alma).

Külön fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a légkörben lévő, kémiaiag nagyon passzív molekuláris nitrogén élettani átalakítását (megkötését) biztosító,



nitrogenáz nevű enzim molibdén! és vasat tartalmaz, de vastartalmúak még az alábbi, közismert enzimek: lipoxigenáz, peroxidáz, valamint a hemin- és a flavin-enzimek.

A metallo-enzimekhez nem sorolható, kerek számmal hétezer enzimről ma azt valljuk, hogy ezek működéséhez is szükségesek fémionok, illetve nyomelemek: ezért is nevezzük ezeket nyomelemek által aktivált enzimeknek. A teljes igazság kedvéért hangsúlyozzuk, hogy a bevezetőben említett makro elemek között található fémek, tehát a nátrium, kálium, magnézium és kalcium is részt vesznek nagyon fontos enzimek aktiválásában. Magnézium tartalmúak például a különböző élettani folyamatokban kulcsszerepet játszó foszfatáz-enzimek, a karboxidáz és a hexokináz nevű enzimek. Kalciumot tartalmaz például az alfa-amiláz, valamint a kalcium aktiválja a béta-amiláz nevű enzimet. Néhány enzimről az 5. táblázat segítségével szerezhethetünk áttekintést.

5. TÁBLÁZAT RÖVID ÁTTEKINTÉS AZ ENZIMEKRŐL

A beépült, vagy aktiváló lém neve és vegyjele		Az enzim neve
Magnézi- um	M g	Foszfatázok, hexokinázok
Kalcium	Ca	Alfa-amiláz, aktiválja a béta-amilázt
Cink	Zn	Szuperoxid-dizmutáz, alkoholdehidrogenáz
Réz	Cu	Aszkorbinsav-oxidáz, citokrónt-oxidáz, polifenol-oxidáz
Vas	Fe	Peroxidáz, lipoxigenáz, flavin és hemin-enzimek
Mangán	M n	Nukleinsav-szintetáz
Molibdén	M o	Nitrogenáz, aldeliid- oxidáz
Szelén	Se	Glutation-peroxidáz, 5'- deiodináz



Nikkel	Ni	Ureáz, alkalikus loszfatáz
Jód	[	Tiroxin (hormon)

A különböző nyomelemek szerepével kapcsolatban nyomatékka kell szólnunk egy olyan kérdésről, amely az egész biokémia, tehát az élettani folyamatok szempontjából is alapvető jelentőségű. A részletek elhagyásával csak annyit emelünk ki, hogy minden szerves vegyület, de elsősorban az élet szempontjából fontos biomolekulák (szénhidrátok, fehérjék, zsírok és nukleinsavak) élettani szerepében döntő fontosságú a térbeli finomszerkezet, vagyis hogy az egyes molekularészek (atomcsoportok) milyen távolságban, milyen szögben és milyen kötési viszonyokban helyezkednek el egymáshoz képest a térben. Ezt a - szaknyelven konformációnak nevezett - finomszerkezetet alakítják ki, illetve változtatják meg a bio-molekulába beépült, vagy azzal szoros kapcsolatban álló fémionok. Maguk a nukleinsavak is tartalmaz(hat)nak fémionokat és az ebbéli szerkezetváltozás új genetikai információt, sőt jelentős változást - mutációt is - eredményezhet. E tudományterületen az ilyen molekulák bonyolult szerkezete miatt ma még elég sok a „fehér folt”, így a nyomelemek ilyen szerepéről ma még csak általánosságban célszerű beszélni.

Lényegében hasonló a helyzet az enzimeken kívül az élő szervezetek működését szabályozó hormonokkal is. Néhány hormonról már évtizedek óta tudjuk, hogy működésükben a „szervetlen” komponens fontos szerepet játszik. A pajzsmirigy által termelt hormonokba beépült jód szerepét régóta ismerjük, de azt, hogy a pajzsmirigy megfelelő élettani működésében a szelénnek is jelentős szerepe van, csak az utóbbi 3-4 évben kezdték felderíteni. Az inzulin működésében a cinknek van és a krómnak lehet jelentős szerepe. Más hormonok, valamint fontos biomolekulák ilyen irányú vizsgálatának eredményeiről várhatóan a századfordulón növekszik meg ugrásszerűen az ismeretanyag.

MI A SOK ÉS MI A KEVÉS? HOGYAN LESZ A MILLIGRAMMBÓL PIKOGRAMM?

Közel 500 évvel ezelőtt írta le Paracelsus (eredeti nevén: Teophrastus Bombastus von Hohenheim, 1493-1541), akit az orvosi kémia megalapítójának szoktak tekinteni, az alábbi, de meglepően nagyon igaz megállapítást: minden anyag mérgező és egyetlen anyag sem mérgező, a kérdés eldöntésénél az a fontos, hogy milyen mennyiségben, koncentrációban van jelen az adott anyag.

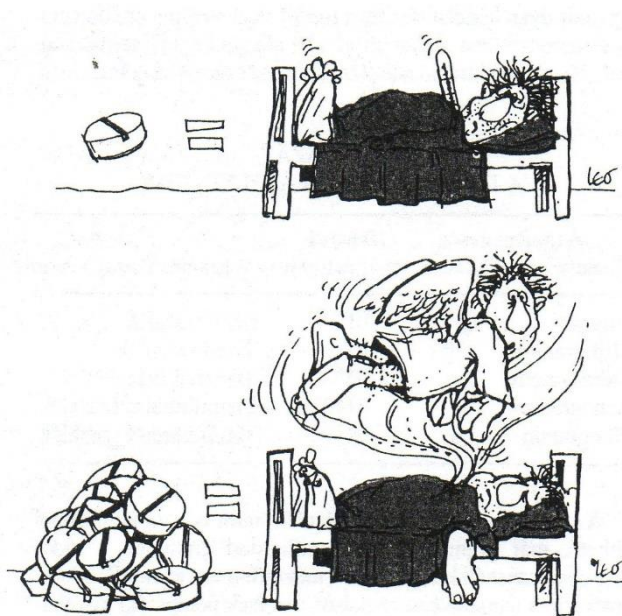


A problémakör megértéséhez először a konyhasó példáját említjük. Ez az anyag (kémiai összetétele: nátrium-klorid) mindennapi étkezésünk egyik legfontosabb ízesítő (részben tartósító) anyaga, amelyből a felnőtt ember átlagosan 5-6 grammot fogyaszt naponta. A konyhasóról azt állítani, hogy mérgező, nyilvánvalóan badarságnak tűnne (bár az említett mennyiségnél többet az orvosok nem tartanak helyesnek!). Ha azonban - rövid idő alatt - mintegy fél kilogrammnyit fogyasztanánk belőle, súlyos mérgezést, sőt halált okozna, mert az emberi szervezet számára oly fontos ozmotikus egyensúlyt végzetesen megbontaná.

Bármelyik szokásos gyógyszert is említhetjük példaként. Az orvos által előírt mennyiségben (naponta néhány tabletta) e gyógyszerek hatóanyagai segítenek leküzdeni a különböző betegségeket előidéző kórokozókat és általában eredményesen használhatók egészségünk helyreállítása (vagy megóvása) érdekében. Egy tabletta általában kevés, nem elég hatásos, de ha húsz, netán annál is több kerül a szervezetünkbe, súlyos mérgezés, sok esetben gyors halál lesz a következménye.

A „sok” és a „kevés” tehát nagyon viszonylagos fogalmak, így a „mérgező” és „nem mérgező” kifejezések is csak akkor érvényesek, ha mindig feltüntetjük mellettük a mennyiségeket, kémikus nyelven szólva a koncentrációkat.

Néhány évtizeddel ezelőtt a kémia tudományának legtöbb területén a milligramm igen kis mennyiségnek számított. Az





Mindenből a mennyiség a meghatározó: a túl kevés nem segít, a túl sok pedig árthat.

általunk akkoriban vizsgált anyagokban lévő különböző összetevők mennyiséget milligramm pontossággal szoktuk megadni és ez - a vizsgálati módszerek akkori fejlettségéhez képest - elegendő is volt. A könyvben tárgyalt tápelemek közül akkoriban elsősorban a makroelemek meghatározására fektettek súlyt, a nyomelemek fontosságát akkor kezdték csak felismerni. (A szerző töredelmesen bevallja, hogy a mikroelemekről a diplomája megszerzése után 15-20 év múlva hallott először!)

Mint ezt már korábban említettük, a természetes növényi, vagy állati termékekben a nyomelemek koncentrációja általában kisebb, mint század százalék, azaz 100 mg/kg. Századunk hatvanas éveitől kezdve egyre több olyan mérési módszert, ezekhez pedig korszerű műszereket dolgoztak ki, amelyek lehetővé tették 1 grammnyi (g) anyagban 1 mikrogrammnyi (μg) komponens pontos mérését. Ezek, az akkor forradalmian új módszerek napjainkban már csak néhány nyomelem esetében és csak a rutinvizsgálatokhoz elegendőek.

Mintegy 15 éve kezdődött meg és ma már a legtöbb vizsgálatnál elengedhetetlen, hogy a nyomelemeket nanogramm/g koncentrációban határozzuk meg: a mikroelemek egy része ugyanis ilyen koncentrációban fordul elő a növényi és állati eredetű termékekben, valamint az élet alapját képező termőtalajban. Ez a koncentráció már tízmilliomod százaléknak felel meg.

6. TÁBLÁZAT A TÖMEGEGYSÉGEK ÁTTEKINTÉSE

A tömegegység		10 hatvá nyaké nt írva	A gramm százalékában
Neve	Jelölése		
Gramm	g	10^0	Száz százalék
Milligramm	mg	10^{-3}	Tized százalék
Mikrogramm	μg	10^{-6}	Tízezred százalék
Nanogramm	ng	10^{-9}	Tízmilliomod százalék



Pikogra mm	pg	10^{-12}	Tízmilliárdod százalék
---------------	----	------------	---------------------------

Az említett tízmilliomod százalék, mint az a 6. táblázatból látható, már grammonként 1 milliárdod grammot, a tudományban használt kifejezéssel 1 nanogrammot jelent. Ez a koncentráció a napjainkban szokásos mérések pontossági követelményeinek teljesen megfelel, így a rutinvizsgálatok szempontjából hosszabb ideig nem lesz szükség ennél nagyobb pontosságra.

Ha azonban arra gondolunk, hogy a finom vizsgálatok során gyakran csak 1 milligrammnak megfelelő, vagy még annál is kisebb vizsgálati anyag áll rendelkezésünkre, vagy ahogy a tudományos irodalomban ki szoktuk fejezni „sejtszinten” kívánjuk a jelenségeket vizsgálni, akkor e korábban említett „finomság” már nem lesz mindig megfelelő, hanem a gramm billiomod részének megfelelő pikogrammig kell a módszereket finomítanunk. Napjainkban - a vizsgálatok egy részénél - ez már a megvalósult gyakorlat részévé kezd válni. így lett tehát a milligrammból pikogramm!

HOGYAN VÁLTOZOTT A LÉTFONTOSSÁGÚ ELEMÉK KÖRE ÉS MILYEN VÁLTOZÁSOK VÁRHATÓK?

A tudománytörténet megállapításai szerint a vas és a jód fontosságát az élőlények életében már a múlt században is ismerték, sőt - természetesen nem a mai élettan szempontjai szerint - több elem fontosságát már az ókori kultúrák során ismerték. Századunk harmincas éveinek végéig ugyancsak létfontosságú elemként vették számba a rezet, a mangánt, a cinket és a molibdént.

Az ötvenes években - új vizsgálati módszerek alkalmazásával - kezdődött meg az élettanilag jelentős elemek számának fokozatos bővülése és 8-10 elem esetében sikerült az általános, vagy részleges létfontosságot tudományosan bizonyítani. Így került előtérbe a króm, a szelén, az arzén, a lítium, a vanádium, a nikkel és a bór, valamint az ón és az ólom. Külön megemlítjük, hogy a növények számára már régóta kiemelt fontosságúnak tartott bórról kiderült, hogy a csontképződésben fontos szerepet játszik, tehát valószínűleg az egész élővilágban létfontosságúnak tekinthető.

Mivel az analitikai kémia vizsgálati módszerei finomodtak és egyben megbízhatóságuk az utóbbi években jelentősen nőtt (és további „töretlen”



fejlődésre számíthatunk), ezzel párhuzamosan a biológiaiailag fontos makromolekulák izolálásának és vizsgálatának módszerei is egyre tökéletesebbé váltak, komoly reményeink vannak arra, hogy a nyomelemeket ábrázoló periódusos rendszerben feltüntetett „kevésbé ismert” nyomelemek

köre a közeljövőben tovább fog szűkülni és ilyen, vagy olyan formában más elemek is bekerülhetnek a létfontosságúnak, vagy a legalább élettanilag kedvező hatásúnak tartott elemek körébe. Ezzel kapcsolatban egy világhírű, amerikai nyomelem kutató, K. Schwarz professzor egyik megállapítását idézzük, amelyet az első, széleskörű nemzetközi részvétellel tartott nyomelem-konferencián (Skócia, 1969) tartott előadásában mondott: „Azt bebizonyítani, hogy az adott elem esszenciális, nagyon nehéz, de azt bizonyítani, hogy nincs létfontossága, nem is lehetséges!”

A fentiek alapján arra lehet számítani, hogy az élettanilag fontosnak tartott elemek köre fokozatosan bővülni fog. Ezért is javasoltuk 10 éve (Pais, 1985), hogy az akkor még divatos csoportosítást: „létfontosságú”, vagy „nem létfontosságú”, változtassuk meg és, vezessük be széles körben a „jótékony hatású” elemek fogalmát.

Kérkedés szándéka nélkül megemlítjük, hogy az elmúlt 20 évben 3 elem esetében bizonyítottuk a kedvező élettani hatást: ezek az elemek a titán, a gallium és a cirkónium. A titánról (ez egyébként a földkéreg egyik legelterjedtebb eleme, de a talajokban előforduló vegyületei a táplálékláncba természetes körülmények között nem tudnak bekerülni) például kiderült, hogyha vízzoldható vegyület-formában alkalmazzuk, a legtöbb mezőgazdasági haszonnövény termése nő, a termés minősége és a , növények betegségekkel szembeni ellenálló képessége javul, sőt a haszonállatok súlygyarapodására úgy fejti ki kedvező hatását, hogy a termékek minősége és az állatok betegségekkel szembeni ellenállása is előnyösen változik. Kevésbé részletes és alapos vizsgálatok eredményeként, de hasonló megállapítások születtek a másik két elemmel kapcsolatban is.

EGY-EGY ADOTT ELEM, VAGY TÖBB EGYÜTTESEN FONTOS ÉLETTANILAG?



A természetben nagyon ritkán találunk olyan tényezőt, amely önmagában egyértelműen megszabná az élőlények léiével kapcsolatos legfontosabb dolgokat. Közismert tény például, hogy a gyógyszerek egy része, amely az emberek 70-85 százalékánál kedvező hatással alkalmazható az adott betegség gyógyítására, másoknál komoly problémákat okoz: ezt a jelenséget általában gyógyszerérzékenységnek vagy gyógyszerallergiának nevezzük. Felvetődik a kérdés, hogy a nyomelemek esetében számíthatunk-e arra, hogy az adott elem hatása más tényezőktől függetlenül jelentkezik?

Az élőlények szervezete - még a legegyszerűbb fajok esetében is - rendkívül bonyolult rendszert alkot, amelyen belül különböző tényezők egymás hatását segítik (ezt idegen szóval általánosan szinergizmusnak nevezzük), mások viszont egymás hatását csökkentik, vagy meg is szüntetik (ez utóbbi hatás az antagonizmus).

A tápelemek-ezen belül a nyomelemek világában is-közismertek a szinergikus és az antagonista kölcsönhatások. Az egyik ilyen - mintegy 50 éve jól ismert-összefüggés a cink és a réz között áll fenn: nagy cinkfelvétel akadályozza a réz beépülését és fordítva. Teljesen hasonló példát hozhatunk a makrotáp-elemek köréből is: a kalcium és a magnézium antagonistái egymásnak; vagyis egymás hatását, érvényesülését gátolják, rontják.

Bár az ilyen összefüggések nagyon bonyolultak, a 3. ábrán bemutatunk egy Sandstead nevű amerikai szerző egyik tanulmányából (1981) származó rajzot, amely összesen 25 elem esetében mutatja a lehetséges kölcsönhatásokat. Ha az ábrát jól megfigyeljük, néhány elem jelentős számú más elemmel léphet kölcsönhatásba: ezek közül most a cinkre hívjuk fel a figyelmet.

A kölcsönhatás alapja az, hogy a különböző elemek „vetélkednek” a felszívódásért és az enzimek aktív helyeiért és eközben általában gátolják, időnként segítik egymást. Ez a „harc” az élőlények egészségét tekintve az általában mérgező hatású nehézfémek és a létfontosságú nyomelemek között „dúl” és bár gyakran a mérgező elemek alkotnak erősebb kötést az enzimek aktív helyeivel, a koncentráció-viszonyok megváltoztatásával a mérgezéshez vezető helyzeten általában segíteni lehet.

Egy másik ábrán (Chowdhury és Chandra szerzőktől, 1987) bemutatjuk a három legközismertebb mérgező elem: a kadmium (Cd), a higany (Hg) és az ólom (Pb) kapcsolatát összesen hét lét- fontosságú elemmel. Az ábra alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy ha például szelénből, vagy cinkből az élőlények szervezete kellően el van látva, akkor a mérgező fémek hatása gyengébb, sőt szerencsés esetében a mérgezés nem is jön létre.

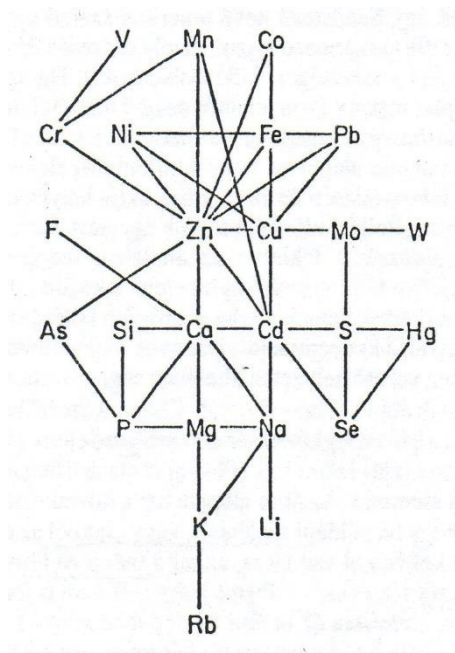


Az ilyen hatásokra az utóbbi 8-10 évben nagyon sok bizonyítékot találunk a tudományos irodalomban, sőt e könyv szerzője és munkatársai (Pais, 1994) is eredményes kutatást végeztek ezen a területen. Az egyszerűség kedvéért most csak egyet len példát említünk részletesen.

A dohányzás közismerten jelentős mértékben árt az emberi szervezetnek. A közhiedelemmel elleniében azonban talán nem is a nikotin, vagy a füstben lévő „kátrányos anyagok" okozzák a fő veszélyt (bár ezek káros vitához sem fér semmi kétség!), hanem az a kadmium, amelyet a dohánynövény szívesen összegyűjt (akkumulál) a szöveteiben és a füsttel együtt a dohányos ember szervezetébe is bekerül. Erős dohányosoknál (30-40 cigaretta naponként) ez olyan mennyiséget (20-25 mikro- gramm) jelent, amely a kadmium mérgezés alsó határa és hosszú időn át mérgezve a dohányos ember szervezetét, különböző betegségekhez, többek között rákos tünetek kialakulásához

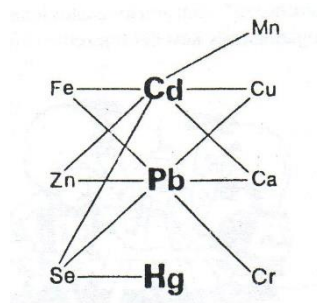
3. ábra

Az elemek kölcsönhatása Sandstead nyomán



4. ábra

A toxikus fémek és létfontosságú elemek kölcsönhatása



vezethet. Ezt a károsító hatást csökkenti, ha az emberi szervezet kellő mennyiségű kalciumot és/vagy cinket tartalmaz, mert ez utóbbi két elem a kadmium megkötődését gátolja. Mondanunk sem kell, hogy az említett „védő elemekből” sem szabad túlzott mennyisége! a szervezetbe juttatni, mert az aránytalanul nagy koncentráció ezekből is különböző ártalmakat okozhat.

Nem véletlen tehát, hogy ha az orvosok a kiegyensúlyozott táplálkozás fontosságára, továbbá a káros szenvedélyek elhagyására hívják fel figyelmünket: minden fontosnak tartott tápanyag a megfelelő arányban szerepeljen étrendünkön és lehetőleg ne szerepeljen semmi olyan külső ártalom, amelyről köztudomású, hogy az egészségnek nem használ.

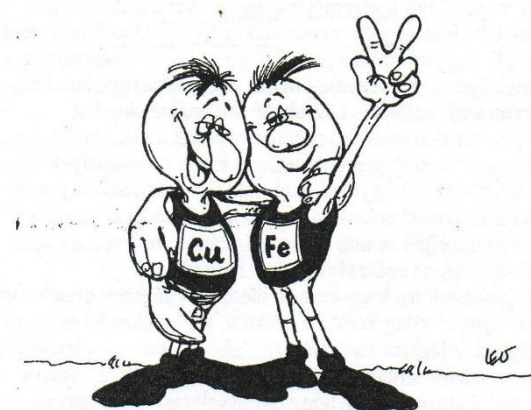
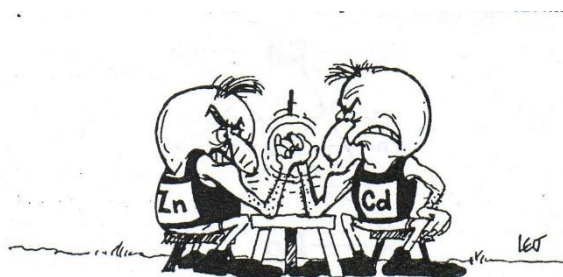
Sajnálatos tény, hogy még az illetékes világszer vezeték - az Egészségügyi Világszervezet (WHO), a Táplálkozási és Mezőgazdasági Világszervezet (FAO) -



sem hozlak nyilvánosságra olyan részletes táblázatot, amelyből a laikus állampolgárok is tájékozódhatnának arról, hogy milyen elemekből mennyire van feltétlenül szükségünk és milyen elemek milyen mennyiségei jelentenek komoly veszélyt egészségünkre.

Szerencsére a helyzet azért nem olyan rossz, hiszen minden szakképzett orvos és táplálkozástudománnyal foglalkozó szakember tisztában van a kedvező, vagy kedvezőtlen mennyiségekkel és gondosan ügyelnek arra, hogy az ember szervezetébe káros anyag ne jusson és egyidejűleg minden fontos tápelemből megfelelő legyen az ellátásuk. Sajnos, a fokozódó környezetszennyezés következtében több fontos nyomelemből rossz az átlagos ellátásunk, néhány mérgező hatású anyagból meg sokkal többhöz jutunk hozzá", mint ami kívánatos lenne.

Erről a témakörrel összefoglalóan egy későbbi fejezetben kívánunk beszélni.



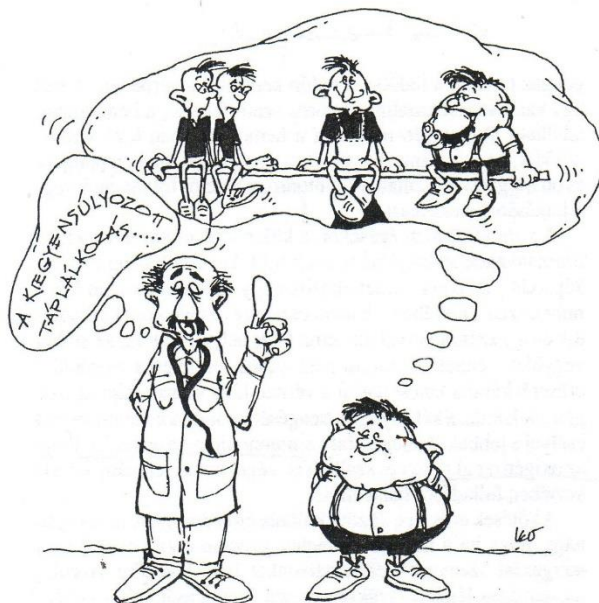
Antagonisták és szinergisták

**MI MÉRGEZ ÉS MIÉRT?
AZ ÓLOM ÉS A SZELÉN MINDIG MÉRGEZŐ?**



Bizonyára emlékeznek még Paracelsus megállapítására: Minden mérgező és semmi sem mérgező, ilyen esetekben a mennyiség, a koncentráció a döntő!

Arról is elég részletesen beszéltünk, hogy az élőlények életének fontosabb folyamataiért főleg az enzimek a felelősek. Az enzimek fehérje-típusú anyagok, amelyekben a többször említett aktív csoport rendszerint az egy hidrogén és egy kénatomból álló szulfhidril-csoport (képlete -SH), amelynél a hidrogén



helyét valamelyik létfontosságú nyomelem foglalja el. Mint az 5. ábrán látható, a létfontosságú nyomelem (esetünkben a cink) helyére olyan fémion (esetünkben az ólom) épülhet be, amely nem biztosítja, sőt gátolja az enzimnek az egészséges szervezetben megszokott normális működését: végül az enzimet hatástalanítja és ezen keresztül gátolja az egészséges életműködéseket.

Más mérgező anyag hatására olyan kémiai változás indul meg, amelynek során a kedvező hatású anyag kémiaiilag átalakul, esetleg elbomlik s így nem tudja eredeti feladatát ellátni: a szervezet megszokott folyamatai vagy nem, vagy más módon játszódnak le. E folyamat szemléltetésére egy sajnálatosan közismert példát: a szénmonoxid nevű gáz okozta mérgezést említjük.

Gondolom, hogy minden olvasó előtt közismert, hogy a légzés során a levegőben lévő, kerekén 21 térfogat-százaléknyi oxigéngáz bekerül a tüdőbe, a tüdön keresztül a vérbe, amelyben egy vas-ionokat tartalmazó vörös színű fehérje, a hemoglobin található. Az oxigén-molekula a hemoglobinban lévő vashoz kötődik, a vérárammal együtt eljut a szervezet minden pontjára és ott a



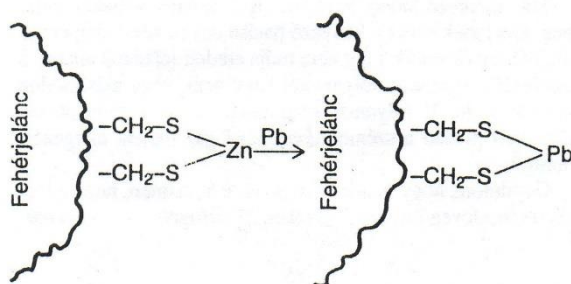
légzési folyamattal együtt járó oxidációs folyamatok végrehajtásában vesz részt.

A szén tökéletlen égésekor, a különböző motorokban elégő üzemanyagok átalakulása során is több-kevesebb szénmonoxid képződik, melynek molekulájában egy szénatomra nem két - mint a szén-dioxidban - hanem csak egy oxigénatom kapcsolódik és így szénmonoxid jön létre: CO_2 helyett CO . Ez az utóbbi vegyület - ennek okát most nem tudjuk részletesen megadni - erősebb kémiai kötést létesít a vérben lévő vassal, mint az oxigén-molekula: a két anyag versengésében sajnos a szénmonoxid esélyei a jobbak. A megkötött szénmonoxid nem engedi, gátolja az oxidén megkötését és szállítását: végül az oxigénhiány következtében fulladásos halál áll be.

A kötések erőssége közötti különbség szerencsére nem olyan nagy, hogy ha a mérgezés tüneteit gyorsan észrevesszük és a mérgezést szenvedett embertársunkat friss levegőre visszük, mesterséges légzést (szükség esetén „oxigénsátrat”) alkalmazunk, a szénmonoxidot ki lehet „kergetni” a szervezetből: a beteget meg tudjuk menteni.

A mérgezéssel kapcsolatos példatárunkat újabb, jellegzetes példával kívánjuk kiegészíteni. A szelén nevű elemről és vegyületeiről sok évtizede tudjuk, hogy mérgezőek, sőt a jelen században egyre részletesebben tanulmányozott rákbetegségek szempontjából pedig rákkeltőek (tudományos kifejezéssel: karcinogének) lehetnek. E lényekhez semmi kétség nem fér!

5. ábra Különböző fémek kötődése az enzimek aktív helyére





Nem minden elem és molekula szolgálja
jó közérzetünket.

Az óriási kiterjedésű, ma már az 1 milliárdot is meghaladó népességű országban, Kínában mintegy 30-40 éve figyeltek fel az orvosok arra, hogy az országot délnyugatról északkeleti irányban átszelő hatalmas sávot alkotó területen - elsősorban fiatal anyák és csecsemők - egy korábban nem ismert szívbetegségben nagy számban haláloznak el. Amikor a kínai orvos-kutatók, majd később több más ország kutatói is intenzíven tanulmányozták a jelenséget, kiderült, hogy a betegség okát a talajból gyakorlatilag hiányzó, ezért a táplálékokban is a szükségesnél kisebb mennyiségben jelenlévő szelén hiánya okozza. Az említett „sáv” egyik tartománya Keshan néven ismert, ezért kapta a betegség is a „keshan-kór” elnevezést. Rövidesen kiderült az is, hogy a betegséget egy fontos (glutation-peroxidáznak nevezett) enzim hiánya okozza. Az enzim ugyanis szelént tartalmaz, a szelén hiányában nem képződik, a szívizmokat nem tudja megvédeni a kóros folyamatoktól. Ha a betegeknek (illetve a megelőzés érdekében a terület lakosainak) szelén tartalmú gyógyszert adnak, a betegség megszüntethető.

A további kutatások során az is kiderült, hogy nemcsak Kínában, de Új Zélandon, hozzánk közel pedig a skandináv országokban is komoly szelénhiánnyal lehet számolni, amit a talajhoz, vagy a növényekhez juttatott szelén vegyületekkel, illetőleg az ottani lakosoknak adott szeléntartalmú gyógyszerekkel lehet megszüntetni.

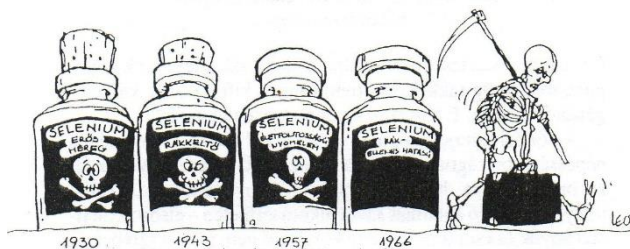
Csak a teljesség kedvéért jegyezzük meg, hogy hazánkban komoly szelénhiánnyal nem kell számolnunk.

Ugyanarról az elemről megállapítottuk, hogy milyen súlyos mérgezést okozhat, s hiánya esetén ugyancsak halálos veszélynek vagyunk kitéve. Ezt a kettősséget kívánjuk szemléltetni a 6. ábrával, amit egy Vernie nevű holland kutató egyik



cikke (1984) nyomán szinte az egész világon használnak arra, hogy egyes elemek eltérő sajátságait szemléltessék.

6. ábra
A szilén mérgező és gyógyhatású is lehet



Külön és nyomatékosan kiemeljük, hogy az ábrán látható megállapítások együttesen igazak: azt, hogy mikor mérgező, netán rákkeltő a szelén, illetve azt, hogy mikor létfontosságú vagy rákellenes gyógyszer, mindig a szervezetbe jutó mennyiség és kémiai forma dönti el. A további érdeklődés felkeltése érdekében megemlíti, hogy napjainkban a szelénkutatással nagyon sok tudós foglalkozik: a szakirodalomban található, a nyomelemekkel foglalkozó minden harmadik-negyedik cikk a szelénkutatással kapcsolatos!

E fejezet végén még arról teszünk említést, hogy mindnyájunknak naponta 20-70 mikrogramm szelénre van szükségünk: ha ennél tartósan kevesebb jut a szervezetünkbe, vagy napi 1milligrammnál több szelén terheli az embert, betegségek, köztük rákos elfajulások fellépésével kell számolnunk!

A NYOMELEMEK MINT
AZ EMBERI EGÉSZSÉG ALAPJAI

Bízunk abban, hogy az eddigiek alapján az olvasók meggyőződtek arról, hogy a nyomelemek hiánya és feleslege is betegségeket okoz, tehát a megfelelő nyomelem ellátás az egészség megőrzésének egyik fontos tényezője.

Az orvostudomány egyik távoli előfutáraként tisztelt Hippokratész nevű görög tudós mintegy 2300 éve a következő mondatot írta így „Az vagy, amit megeszel.” A nagyon rövid mondás esetleges téves értelmezésétől aggódva azt mondhatjuk, hogy az emberi egészség jórészt a táplálkozás függvénye. Sokkal később, 30-40 éve jelent meg egy Voisin nevű francia kutató könyvében a következő mondat: „Az élőlények az alattuk lévő talaj biokémiai fényképei.” A szerző nyilván arra a régóta ismert tényre kívánta ráirányítani a figyelmet, hogy az élőlények (köztük



az ember is) szervezetük működéséhez szükséges tápelemeket a talajból szerzik meg (e megállapítás teljesen összecseng a hamvazószerdáról írott résszel).

Ez utóbbi mondás ma is érvényes a kisebb falvak lakóira, a kevésbé civilizált országokra, de az olyan fejlettebb országokban, ahol a fogyasztott élelmiszerek jelentős része máshonnan származik, vagy ugyanazon ország más vidékeiről került az élelmiszerboltokba, nyilvánvalóan kevésbé állja meg a helyét. Általánosan tekintve a dolgot azonban mégis igaznak kell tartanunk, hiszen a tápelemek szerepét kellően megvilágítottuk már ahhoz, hogy a táplálkozás és az egészség összefüggéseiben ne alakíthatnánk ki egyértelmű álláspontot. Az öröklődéssel szerzett tulajdonságoktól eltekintve - ezek szerepét 20-30%-ra becsüljük - 70-80 százalékban táplálkozásunkat okolhatjuk akkor is, ha egészségesek, akkor is, ha betegek vagyunk!

Hazánk egészségügyi helyzete sajnálatosan rossz: a várható legmagasabb életkor, a leginkább pusztító betegségek szempontjából nagyon elmaradtunk a világlágtól. Ennek több oka lehet, de hogy a hazai táplálkozási viszonyokban kell a legfontosabb okokat keresnünk, arról mélységesen megvagyunk győződve. Ezért a könyv hátralévő részében e kérdéssel kívánunk foglalkozni.

Az emberiséget napjainkban sújtó betegségeket gyakran nevezik „civilizációs betegségek”-nek, sőt egy a közelmúltban megjelent közlemény „nyugati”, azaz a legfejlettebb országok lakóit sújtó betegségekről beszél. Ennek okát abban kell keresnünk, hogy bár újabban a fejlett (egyben gazdag) országok sokai áldoznak környezetvédelemre, elsősorban náluk jelentkeztek a nagymértékű iparosítás első negatív következményei: a nagy higanymérgezés (Minamata-betegség) és kadmium mérgezés (itai-itai kór: japánul -jajj-jajj) Japánban történt és azóta kezdődött meg a tudatos környezetvédelem. A civilizációs betegségek okaként ugyanis elsősorban a környezetbe került mérgező fémeket és más veszélyes kémiai anyagokat jelölhetjük meg.

Hazánk nem tartozik az iparilag fejlett országok sorába, ennek ellenére itt is sok a civilizációs ártalom. Gondoljunk csak az iparvidékek és Budapest szennyezett levegőjére, felszíni vizeink - így a magyar tengerként emlegetett Balaton - megbomlott kémiai és ennek következtében megváltozott biológiai egyensúlyára. A környezetszennyeződés eredményeként szervezetünkbe sokkal több mérgező anyag kerül be, mint a második világháború előtt élt generációk idején, amikor alig volt hazánkban gépkocsiforgalom, vegyipar: általánosan kifejezve a természet és az emberi környezet lényegében tiszta volt. A szerző részletes cikkében fejtette ki a mezőgazdaság kemizálása (tegyük hozzá: hibákkal terhes kemizálása!) által okozott tápelemegyensúlyi-zavarok várható következményeit (Pais, 1971).



Általánosan fogalmazva sem a táplálékaink, sem a környezetünk nem felel meg az egészséges élet követelményeinek. E helyzeten - a jövő érdekében - minél sürgősebben segíteni kell. A környezet „gátlástalan” szennyezésének megszüntetése, vagy legalábbis a szennyezés radikális csökkentése csak egy részét jelenti a szükséges lépéseknek.

Tudós orvosok véleményét idézve már leírtuk, hogy az egészség biztosítója a változatos táplálkozás. Arról azonban nem szabad megfeledkeznünk, hogy a termőtalajok által szolgáltatott táplálékok nagyon sok létfontosságú tápelem esetében nem biztosítják a szükséges mennyiséget, néhány - mérgező hatású - elemből pedig a kívánatosnál többet kapunk a környezetből. Egyértelműnek tűnik, hogy a civilizációs betegségek elkerülése érdekében megelőző védekezést célszerű folytatni. Az egyénnek is könnyebb, a társadalomnak is olcsóbb, ha nem a betegségek orvoslására költjük a nemzeti jövedelem jelentős részét, hanem olyan táplálék-kiegészítőkre, amelyek a betegségek kifejlődését gátló vitaminokat és nyomelemeket tartalmaznak. A közelmúltban egy Lachanche nevű amerikai tudós (1994) fejtette ki cikkében, hogy mennyivel egyszerűbb és olcsóbb, ha „minimális kockázat és kis költség ráfordításával védjük meg a társadalmat a civilizációs betegségektől”.

Mivel a napjainkban legnagyobb mértékben pusztító betegségekről - a keringési betegségekről és a rák néhány formájáról - a legújabb szakirodalom, mint „oxidációs betegségekről” ír, általánosságban azt mondhatjuk, hogy ezek gátlására, részben gyógyítására „antioxidánsokat” kell használnunk. Ilyen köztartozásment antioxidánsok a C-, az E- és az A- vitaminok, továbbá azok a nyomelemek (a cink, a szélén és a mangán), amelyek az oxidációs folyamatokat szabályozó enzimek alkotórészei. Ezért arra kell törekednünk, hogy napi táplálékunk ezekből a természetes anyagokból a kívánatos mennyiségeket biztosítsák, illetve - szükség esetén - a hiányzó mennyiségeket készítmények formájában pótoljuk. Így várhatjuk azt, hogy immunrendszerünk meg tud birkózni az egészségünket veszélyeztető különböző tényezők támadásával.

Utolsó mondatként a tápelemek, köztük a nyomelemek fontosságára kívánjuk az olvasó figyelmét ismételten és nyomatékosan ráirányítani.

Felhasznált és ajánlott irodalom

Chovvdhury, B.A., Chandra, R.K.: Biological and health- implications of toxic heavy metál and essential element inter- action (A mérgező nehéz fémek és a



létfontosságú elemek kölcsönhatásának biológiai és egészségügyi vonatkozásai), Prog. Food Nutr.Sci., 1987, 11,55-113.

Lachance, P.A.: To supplement or not to supplement: is it a question? (Kiegészíteni, vagy nem kiegészíteni: ez kérdéses lehet?), J.Am. Coll. Nutr., 1994,13,113-11-5.

Newnham, R.E.: Boron - its essential nature for human wellbeing (A bór és annak létfontossága az emberi jóléthez), Toxicology of Metals (Szerkesztők: S.S. Brown és Y. Kodarna), IUPAC Publ., 1987,71-72.

Pais, I.: A kémia, a mezőgazdaság és az ember, Tud. Mező- gazd., 1971,9 (6), 9-13.

Pais, I.: A mikroelemek jelentősége a mezőgazdasági termelésben. Kutatásuk helyzete a világban. Egyetemi Nyomda (Irodalmi értékelés) 1984,1-224.

Pais, I.: The biological importance of titanium (A titán biológiai fontossága), J. Plánt Nutr., 1983,6,3-131.

Pais, I.: Some aspects of the development in the research of the hardly known trace element and the importance of the inter- disciplinary trace element research work (A kevésbé ismert nyomelemek kutatásában a fejlődés néhány szempontja és az interdiszciplináris nyomelem-kutatás fontossága), Proc. I. Internál. Tr. El. Symp., Budapest, 1985, 3-14.

Pais, I.: A mikroelemek fontossága az életben, Egyetemi Nyomda (Irodalmi értékelés), 1989,1-292.

Pais, I.: Element-interactions in the food chain (Elem-kölcsönhatások a táplálékláncban), Proc. VI. Internat. Tr. El. Symp., Budapest, 1994,235-140.

Sandstead, H.H.: Trace element interactions (Nyomelemek kölcsönhatása), J. Labor. Clin. Med., 1981,98,457-462.

Schwarz, K.: Control of the environmental conditions of trace element research: an experimental approach to unrecognized trace elements requirements (A nyomelem-kutatás környezeti feltételeinek ellenőrzése: a kevésbé ismert nyomelemekből való szükséglet kísérletes kutatása), Proc. Internat. Symp., Aberdeen 1970,25-52.

Sies, H.: Oxidative stress: from basic research to clinical medicine (Az oxidatív stressz: az alapkutatástól a klinikai gyakorlatig), Trace Elements and Free Radicals in Oxidative Diseases (Szerkesztők: A. Favier, J. Nève és P. Faure) AOCS Press, 1994.

Vernie, L.N.: Selenium in carcinogenesis (A szelén és a rákkeltés), Biochem. Biophys. Acta, 1984,738,203-207.

Voisin, A.: A talaj és a növényzet. Az állat és az ember sorsa, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1964,1-146.

