

Rádióaktív sugárzás és élelmiszerek (I. rész)

GÁL ILONA

I.

Alapfogalmak. Élettani hatás. Természetes rádióaktivitás forrásai

Radioaktív sugarak — mint ismeretes — atombomlás alkalmával keletkeznek és képesek arra, hogy az útjukba eső anyagokat ionizálják. Lehetnek energiában gazdag elektromágneses hullámok γ -sugarak) és korpuszkuláris sugarak. A korpuszkulák:

1. Elektronok (negatív töltésű részecskék, β -sugárzás)
2. Pozitronok. Tömegük az elektronokéval egyenlő, de töltésük pozitív
3. Könnyű atomok pozitív töltésű magjai, mégpedig
 - a) protonok (a hidrogén atommagjai)
 - b) deuteronok (a nehéz hidrogén atommagjai)
 - c) α részecskék (a hélium két pozitív töltéssel rendelkező atommagjai)
4. Neutronok. Elektromosan semleges részecskék, tömegük a protonokéval gyakorlatilag egyenlő.

Sugárenergiaák mérésére használatos egységek (sugáregységek)

Mikrofizikai energiamértékül szolgál az *elektronvolt* (eV), vagyis az a kinetikai energiamennyiség, melyet egy elektron egy voltnyi feszültségkülönbség hatására felvesz.

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-12} \text{ erg}$$

Az egység többszörösei:

Kiloelektronvolt	1 KeV = 1000 eV
Mega elektronvolt	1 MeV = 1 millió eV
Giga elektronvolt	1 GeV = 10^9 eV

Az I. táblázat különböző fajta sugarak megaelektronvoltokban kifejezett energiájának összehasonlítására szolgál:

I. táblázat

Sugárfajta	Mev.
<i>Elektromágneses sugarak:</i>	
γ	0,01—2,5
Röntgen	10^{-4} — 10^{-3}
Ultraibolya	10^{-6} — 10^{-5}
Látható	10^{-6}
Infravörös	10^{-7} — 10^{-5}
<i>Korpuszkuláris sugarak:</i>	
α	2—400
β	10^{-2} —250
Protonok, deuteronok	0,07—3000
Neutronok	0,02—10

Az atommagátalakulás mértéke a *curie* (C). Curie egységekben fejezik ki a sugárforrás aktivitását. 1 C erősségű az a sugárforrás, melyben másodpercenként $3,7 \cdot 10^{10}$ atom bomlik el, függetlenül attól, hogy milyen sugárzást bocsát ki. 1 curie éppen 1 g rádiumnak felel meg. A gyakorlatban inkább a μC (10^{-6} C), $\text{m}\mu\text{C}$ (10^{-9} C) vagy $\mu\mu\text{C}$ (10^{-12} C) használatos.

További mértékegység a *MeVcurie*. A curiek számának és a kibocsátott sugárzás energiájának szorzata mértéke annak az összenergiának, amelyet egy sugárforrás másodpercenként kibocsát, feltéve hogy minden egyes bomlás egy foton, vagy egy γ -részecske felszabadulásával jár együtt. (Anglia arra számít, hogy 1970. végéig atomreaktorok hulladékai révén mintegy $2 \cdot 10^{10}$ MeVcurievel rendelkezik majd.)

Az élettani hatás mértéke a *sugárdózis*, vagyis a sugárenergiának az a hányada, amely a kérdéses biológiai hatást kiváltja. A sugárdózis egysége γ vagy röntgensugaraknál a *röntgen* (*r*). Hogy a többi ionizáló sugár hatása ezzel összehasonlíthatóvá váljék, bevezették a *rep* egységet (roentgen equivalent physical):

1 r (illetve 1 rep) 1 ml száraz levegőben 0° -on és 760 Torr-nál $2,083 \cdot 10^9$ ionpárt létesít. Ez megfelel 83,8 erg/g, levegőre vonatkoztatott energia-abszorpciónak, vagy kereken 94 erg-nek élőlény grammjára számítva.

Az abszorbeált sugárdózis egysége a *rad*, amely 100 erg/g energia-abszorpciónak felel meg γ és röntgensugarak esetében. 1 rad gyakorlatilag egyenlő 1 r-rel.

Energiaviszonyok az atomon belül

Bármely atom energiafelvétellel (5–10 eV) *gerjeszthető*, miáltal egy elektron magasabb (nagyobb átmérőjű) pályára kerül. Az energiafelvétel fénykvantum (foton) abszorpciója útján mehet végbe. A gerjesztett állapot időtartama rövid.

Energiában eléggé gazdag kvantum abszorpciója révén az elektron teljesen kiszakadhat az elektronburok kötelékéből, az atom pedig mint pozitív töltésű ion marad vissza. Végeredményben tehát egy ionpár keletkezik (pozitív ion és negatív elektron). Ebben az esetben beszélünk *ionizációról*.

Élő szövetekben egy ionpár képződéséhez kereken 32,5 eV szükséges. A molekulában energiafelvétel vegyi kötés szétszakadásához vezethet és a molekula disszociálódik.

Az atommagreakcióknál lényegesen nagyobb energiákról van szó. A kötési energia nukleononként (protonok és neutronok) kereken 8 MeV. Ez az jelenti, hogy ezt a határt nem léphetjük túl, ha nagyenergiájú sugarakkal nem a magot, hanem csak az elektronburkot akarjuk befolyásolni.

Élettani hatás

A sugárhatás élő szervezetre *mindig káros*. Az atomok gerjesztése, valamint az ionizáció a molekulák szokatlan átalakulását idézi elő, anyagcsere-zavarok lépnek fel, melyek a sejt építőköveinek bioszintézisét és a szaporodással és öröklődéssel kapcsolatos biokémiai folyamatokat kisebb-nagyobb mértékben módosítják.

A károsodás mértéke több tényezőtől függ éspedig a sugárzás áthatoló képességétől („keménységétől”), ionizációs képességétől és összenergiájától. A sugarak élettani hatása az élőlény mineműsége, a szerv helyzete, a sugarak adagolási módja, a sejtek mindenkori fiziológiai állapota szerint igen különböző lehet. A sugárzás elsősorban a sejtek makromolekuláris építőköveit (különösen a nukleinsavakat és a fehérjéket) támadja meg, minthogy ezek a leglabilisabbak.

A „beletalálási elmélet” („Treffertheorie”) szerint a makromolekuláris anyagok elváltozásait a sejt sugárérzékeny helyein végbemenő egy vagy több ionizáció idézi elő, ezek ugyanis a fizikokémiai reakcióknak egész láncolatát indítják meg.

Tudásunk jelenlegi állása szerint a sejt legérzékenyebb része a sejt-mag, a legsúlyosabb következményekkel pedig a rendkívül érzékeny csira-sejteket érő sugárhatások járnak.

Ha maga a sugárzó anyag kerül be a szervezetbe, a radioaktív elemből kiinduló sugárak romboló hatása ezek fizikai tulajdonságaitól (a sugárzás fajtája és energiája) az illető elem elért töménységétől és felezési állandójától eltekintve az anyagcsereben tanúsított magatartásától (eloszlás, tárolás, kiválasztás) is függ. Lényeges szerepet játszik e tekintetben a biológiai bomlási félidő, vagyis az az időtartam, mely alatt az illető elem koncentrációja kiválasztás következtében felére csökken.

Természetes radioaktivitás

Bizonyos igen csekély mértékű radioaktivitás minden élőlényben, így az emberben is kimutatható. Két legfontosabb normális sugárzó alkotórésze a K^{40} és a C^{14} . A K^{40} a természetben előforduló nem sugárzó kálium 0,012%-át alkotja, a C^{14} pedig a természetben előforduló szénben 10^{-12} : 1 arányban foglaltatik. Ezekhez járul harmadik radioaktív elemként a rádium.

A felsorolt három elemből az emberi szervezet normális körülmények között a következő mennyiségeket tartalmazza:

C^{14} 0,1 μ C

K^{40} 0,1 μ C

Ra és bomlástermékei: 0,0001 μ C

Mint ahogy *élelmiszereinkkel* folyamatosan veszünk fel káliumot és szenet, azok is feltétlenül radioaktívak. Hogy milyen mértékben, arra vonatkozóan mért adatok nem állnak rendelkezésünkre. Számítás útján azonban könnyűszerrel tájékozódhatunk a táplálékkal felvett radioaktivitás nagyságrendjét illetően:

Feltéve, hogy egy ember naponta 400 g szénhidrátot, 55 g zsírt és 70 g fehérjét fogyaszt (kerekén 2500 kcal értékben), ami a közepes fizikai munkát végző ember napi szükséglete), úgy ebből kerekén 250 g szén kerül a szervezetébe. Mint ahogy 1 g szénben percenként 15 atom bomlik el, 250 g szén radioaktivitás 1,7 $m\mu$ C. Az emberek káliumfogyasztása tág határok között változik, elérheti a napi 3,9 g-ot is. Mint ahogy 1 g K^{40} -ben 1980 atommagbomlás megy végbe percenként, 3,9 g aktivitása 3,5 $m\mu$ C. Az ember szervezetébe tehát naponta átlagosan 5 $m\mu$ C-nek megfelelő radioaktív anyag jut, nehéz fizikai munkánál ennek kétszerese is.

Mint ahogy azonban az egészséges embernél kálium és szén tekintetében anyagseregyensúly áll fenn, tehát nem halmozza fel szervezetében a két elemet, sugárzó izotópjaik természetes radioaktivitású táplálék felvétele útján nem gyarapszanak szervezetében. Más a helyzet a rádiumnál, amelyet a szervezet a csontokban raktároz.

A *levegővel* is kerülhet természetes radioaktivitású anyag a szervezetbe. A földkéregben ugyanis radioaktív elemek is előfordulnak, mégpedig urán, tórium és bomlástermékeik: Az uránnak gázalakú radioaktív bomlásterméke a radon. Ennek koncentrációja a levegőben legtöbbször csak mintegy 0,3 $\mu\mu$ C. Olyan vidékeken, ahol sok szénét égetnek, tízszeres mennyiségben is előfordul. Belélegezve bomlástermékei alakjában halmozódik fel a szervezetben.

Az élő szervezetet nemcsak belékerült radioaktív anyagoktól származó sugárhatások érik, hanem rajta kívül maradó sugárforrásokból kiindulók is. Itt elsősorban a *kozmoszus* sugárzást kell megemlíteni. Szerecsene a Föld levegőburka hatásos szűrőként szerepel és ennek a nagyon kemény sugárzásnak nagyobb részét abszorbeálja.

Meg kell még említeni a földkéregből származó, vidékenként természet-szerűleg nagyon különböző földsugárzást (lényegileg γ -sugárzás). Különlegesen erős radioaktivitása a gránit. A talaj radioaktivitása folytán épületeinkből is kiindul ilyen jellegű sugárzás s ez is hozzájárul az ember „sugármegterheléséhez” (Strahlenbelastung).

II.

*Élelmiszerek megnövekedett aktivitása atombomba kísérletek következtében.
A veszélyesség kérdései*

Atombombabarobbanások alkalmával jelentékeny mennyiségben keletkezik radioaktív anyag, amely nagy magasságokba felrepítve ott széles területen nagy távolságokra jut el és azután lassanként mint radioaktív por, vagy esővízben, esetleg más atmoszférikus lecsapódásokban oldva visszahull a Földre. A sztratoszférába fellövelt anyagból évenként kb. 10% esik le a Föld különböző tájaira, a csak a troposzférába eljutott anyag pedig néhány hét múlva gyakorlatilag teljesen visszakerül.

Néhány év óta a föld különböző helyein rendszeresen mérik a *csapadékok radioaktivitását*. Münchenben például 1956 VII. 1. és XII. 31. között azt találták, hogy az esővízben gyakran kimutatható 0,2—0,4 $\mu\text{C/liter}$ radioaktív anyag, sőt az aktivitás egyes napokon eléri az 1—3 $\mu\text{C/litert}$ is. Ez a mennyiség — bár az ivóvíz maximális megengedhető aktivitása mindössze 0,1 $\mu\text{C/liter}$ — gyakorlatilag mégsem jelentős, mert az esővíz beszívárgásakor úgyszólván teljesen átadja radioaktivitását a talajnak. Éppen ezért *ivóvízünkben* mérhető nagyságrendű aktivitás nem mutatható ki.

Az atomrobbantások alkalmával keletkezett radioaktív anyagok közül az ember számára a Sr^{90} a legveszélyesebb. Ennek egyik oka az, hogy aránylag hosszú életű izotop (bomlási félidő 19,9 év), de ártalmas azért is, mert az anyagcserében a kalciumhoz hasonlóan viselkedik, tehát az élő szervezetben felhalmozódik. 1955. év végéig az USA-ban 13 mC Sr^{90} hullott le négyzetméterenként. (A világlátlagot ugyanakkor 8 mC/m²-re becsülték.) A Sr^{90} -t a talajból felveszik a növények, természetesen különböző fajok különböző mértékben. Az ember szervezetébe leginkább főzelék- és gyümölcsfélék, vagy tej fogyasztásával jut, ez utóbbival tekintélyes mennyiségben, mert a tej az ember számára a legjelentősebb Ca forrás. 1955-ben az USA-ban Ca grammonként 7 μC aktivitású Sr^{90} került be az emberi szervezetbe. (A felnőtt ember optimális napi Ca-fogyasztása 1 g.)

Szerencsére a radioaktív stroncium viselkedése csak hasonló a kalciuméhoz, de nem azonos vele. Ca és Sr közti konkurencia esetében az élő szervezet (a növényé is) a Ca-t részesíti előnyben (így pl. a Sr a bélből rosszabbul szívódik fel, a vesében jobban választódik ki). A vérben tehát lényegesen kisebb lesz a Sr koncentrációja, mint a Ca-é és ezáltal a csontokba való beépülése emennél jóval csekélyebb mértékű. Ehhez járul még az a szerencsés körülmény is, hogy a tejbe elsősorban a Ca megy át, így a Ca—Sr arány a tejben kedvezőbb, mint a takarmányban. Különböző mérések arra engednek következtetni, hogy az emberben a Sr koncentráció csupán 1%-a annak a töménységnek, mely leírt biológiai hígtársa nélkül létesült volna.

Az ember veszélyeztetettsége mértékül választható a csontokban felraktározódott Sr^{90} mennyisége. Ennek megállapítására világszerte számos mérést végeztek emberi és állati csontokon. Ezek eredményeképpen a világlátlag 1955-ben az ember csontvázában 0,12 μC -nek adódott kalcium-

grammonként, a növényevőknél (juhok) lényegesen nagyobbak (14 μC). Megállapították azt is, hogy a gyermekek veszélyeztetettsége sokkal nagyobb a felnőtteknél, mert a gyermekek csontjai a Ca-t nagyobb mértékben cserélik ki Sr^{90} -re, mint a felnőttek csontjai. A II. táblázat világátlagértékeket tartalmaz emberi csontok Sr^{90} tartalmára vonatkozólag különböző életkorokban (J. L. Kulp, W. R. Eckelmann és A. R. Schulert szerint).

II. táblázat

Életkor években	μC Sr^{90} csontokban Ca grammonként	Mérések száma
0—4	0,31	62
5—9	0,14	33
10—19	0,12	70
20—29	0,09	118
30—39	0,08	106
40—49	0,07	47
50—59	0,06	22
60-on felül	0,09	26

A radioaktív porban foglalt *plutonium-izotop*, Pu^{239} (bomlási félidő 24,000 év) nem jelent komolyabb veszélyt az élőlényekre, mert aktivitása a radioaktív porban igen csekély és az elem gyakorlatilag nem szívódik fel. (A szájon át felvett mennyiségnek csak mintegy 0,1%-a tud felszívódni.)

Atombombák robbanása alkalmával *radioaktív jód* is keletkezik J^{131} . A jód, mint ismeretes, főleg a pajzsmirigyben halmozódik fel, ezért 1955/56-ban az USA-ban széleskörű vizsgálatokat folytattak, összesen 853 szarvasmarha- és 1165 emberi pajzsmirigyen. Kiderült, hogy a radiojódtartalom mindkettőnél erősen függ az atomrobbantások számától és intenzitásától, továbbá lényeges szerep jut a robbanások helyétől való távolságnak is: a maximumot Nevada—Utah államban mérték, ahol emberek pajzsmirigye 0,030, szarvasmarháké 0,15 μC J^{131} -et tartalmazott grammonként. Az Sr^{90} -hez hasonlóan itt is bebizonyosodott, hogy a növényevő állatok szervezete nagyobb mennyiségeket tárol a radioaktív elemből, mint az emberé. Az emberi pajzsmirigy J^{131} tartalmát átlagosan grammonként 0,005 μC -nek találták. Tekintettel arra, hogy az USA National Committee in Radiation Protection 15 $\mu\text{C/g}$ -t tart maximális, még megengedhető mennyiségnek, a mért átlagértékek a jelzett időpontban még nem adtak aggodalomra okot. Hasonló a helyzet a tejet (legfontosabb jódforrás) illetőleg is. Az 1955-ös maximálidőszakban a tej 100 ml-ében átlag 0,02 μC aktivitású sugárzó jódot találtak. A még megengedhető mennyiséget 3 $\mu\text{C}/100$ ml (víz-jre becsülik).

Élelmiszerekben és emberben még *radioaktív céziumot* (C^{137}) is kimutattak. (Bomlási félidő 27 év, főleg γ -sugarakat bocsát ki.) A cézium kémiaiilag a káliummal van közeli rokonságban és az anyagcserében is hasonló tulajdonságú. A nem sugárzó, stabil cézium mint nyomelem fordul elő a szervezetben és élettani szerepe látszólag nincs. A szervezet a K-hoz hasonlóan nem raktározza, biológiai félideje nem nagy: 140 nap, de hosszabb a káliuménál (58 nap). A káliumhoz képest tehát kissé feldúsul a szervezetben éspedig 2,4 faktossal. (A helyzet éppen fordítottja a Ca—Sr viszonyánál leírtnak.) A III. táblázat tájékoztat néhány élelmiszer Cs^{137} tartalmáról és az ember havi C_3^{137} felvételéről az USA-ban E. C. Anderson, R. L. Schuch, W. R. Fisher és W. Langham szerint.

Élelmiszer	Cs ¹³⁷ m μ C-ben 100 lb-nként	Cs ¹³⁷ felvétel m C-ben, havonta
Tejtermékek (szárazanyagra sz.)	14	0,81
Hús	3,3	0,38
Gabonatermékek	1,0	0,13
Főzelék	nem kimutatható	?
Burgonya	nem kimutatható	?
Citrusgyümölcsök	2,4	0,21
Összesen		1,5

Az ember összes Cs¹³⁷ tartalma 1956-ban az USA-ban 0,005 μ C volt, ami évenként 0,001 r sugármegterhelésnek felel meg. Tekintettel arra, hogy ez az érték csak 1%-a a természetes cézium összemennyiségének, továbbá mérlegelve azt a körülményt, hogy az izotop a szervezetben nem raktározódik, ez idő szerint a radioaktív cézium nem jelent komoly veszélyt az emberre.

A IV. táblázatban fel vannak tüntetve a legutóbb tárgyalt három radioaktív izotóp maximálisan megengedhető mennyiségei folyamatos felvétel esetében.

IV. táblázat

Elem	Normáltartalom emberben, μ C	Maximálisan megengedhető μ C	Maximálisan megengedhető koncentrációk μ C/lm-ben	
			Levegő	Víz
Sr ⁹⁰	0	1	2,10 ⁻¹⁰	8,10 ⁻⁷
J ¹³¹	0	0,6	6,10 ⁻⁹	6,10 ⁻⁵
Cs ¹³⁷	0	98	2,10 ⁻⁷	2,10 ⁻³

A többi, atombombabarobbanás alkalmával keletkező radioaktív elemet, és pedig a cirkonium-niobium 95-t, ruténium-ródium 106-ot és cerium 144-t mindezideig sem az élelmiszerekben, sem az emberi szervezetben nem mutatták ki.

Legfontosabb élelmiszereink összaktivitására vonatkozólag is számos mérési adat áll rendelkezésünkre.

Ivóvizünk jelenleg — mint már említettük, nem mutat mérhető aktivitást. Az V. táblázat néhány élelmiszer γ -sugárzását tünteti fel C. G. Clayton szerint.

V. táblázat

Élelmiszer	Impulzusok percenként és 100 g-onként	$\mu\mu$ C/100 g
Tej	2,5—3,3	1,0—1,5
Káposzta	30—110	14—50
Karfiol	25	10
Liszt	2,5	1
Karotta	3	1,5
Szárazborsó	30—55	15—25

Tengeri halak fertőzöttségére vonatkozólag is vannak bizonyos ismereteink. Köztudomású, hogy pár hónappal egy 1954-ben a Marshall szigeteken ledobott atombomba robbanása után a japán partoktól néhány mérföldnyire olyan halakat fogtak, melyek jelentős mértékben voltak radioaktívak. Az izmokban és belső szervekben grammonként 0,0001—0,1 μC aktivitásokat mértek. Mindezekből nyilvánvaló, hogy a tengerben élő parányi élőlények képesek arra, hogy az atombombák hasadási termékeit saját szervezetükben feldúsítsák és tovább adják a halaknak.

Összefoglalólag megállapítható, hogy az élelmiszerek jelenlegi aktivitása általában olyan kismértékű, hogy nem ad aggodalomra okot. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy még nem érkezett vissza Földünkre minden, az atmoszférába felrepített radioaktivitás. Az emberi csontok pl. világátlagban 1955 végén a legveszélyesebb izotópból, a Si^{90} -ből csak 0,12 μC -t tartalmaztak kalciumgrammonként, de a számítások szerint ez a mennyiség 1960-ig megtízszereződik, illetve meghúszszorozódik, vagyis eléri a 1—2 μC -t. Ez az érték ugyan még mindig jóval alatta marad a veszélyességi küszöbértéknek, de nem szabad megfedkezni arról a körülményről sem, hogy sajnos, 1955 után is voltak atomrobbantások, amit az akkori számítások figyelmen kívül hagytak. A helyzet jelenleg teljesen áttekinthetetlen és ha pillanatnyilag a felnőtt egyén nincs is veszélyben, az öröklés tekintetében helyrehozhatatlan károk állhatnak elő. Ezért a problémának csak egy gyökeres megoldása van: A továbbiakban beszüntetni minden olyan jellegű atomkísérletet, amely az ember környezetének további radioaktív fertőződését vonná maga után.

(Folytatjuk.)