

Braun Tibor

■ ELTE Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Információs Központ | dr.braun.tibor@gmail.com

# Kísérleti nukleáris robbantások által létrehozott $^{14}\text{C}$

## A testünkben viselt radioizotóp

### Előszó

A nukleáris robbantásokról nem igazán derűs gondolatok jutnak az olvasók eszébe. Hogy ezen enyhítsünk, nem a robbantások sötét oldaláról számolunk be. Röviden bemutatjuk, hogy a robbantások folytán hogyan képződik a radiokarbon izotóp, aminek felhasználása új tudományos ismereteket szerzett az emberiségnek, és ezek között nagyon hasznosak is vannak. A cikkben csak a robbantással létrehozott radiokarbonnal foglalkozunk.

### Szabadtéri nukleáris robbantások

A nukleáris robbantásokban hirtelen hatalmas energia szabadul fel maghasadás vagy fúzió folytán. Az előbbi esetben az urán- vagy plutóniumatomok maghasadásaként szabadul fel az energia úgy, hogy minden hasadásban egy könnyű és egy aránylag nehéz radioaktív elem keletkezik. A maghasadás által beindított fúzió a trícium és a deutérium reakciójaként a hasadásnál még nagyobb robbanási energiát szabadít fel. Mindkét folyamat radioaktív szennyezéseket hoz létre: aktívakat (olyan elemeket, amik radioaktívak lesznek neutron befogása folytán) és olyan maradék hasítható termékeket, amiket felhasználtak a bomba építésénél, de nem hasadtak a robbanás alatt. A nukleáris robbantás hatalmas tűzfelhőt hoz létre, amiben minden anyag elpárolog. A tűzfelhő földet, vizet és radioaktív hulladékként különböző méretű részecskéket tartalmazva villámgyorsan emelkedik. Az eredetileg felfelé áramló felhő a magasban szétszélőd az éppen előforduló szelek haladási irányában. A felhőben lévő makroszkopikus radioaktív szemcsék visszahullanak a talajra és lerakódnak. A radioaktív felhő általában gomba formájú vagy ahhoz hasonló; az atomkorszak közismert jelképévé vált. Amint a felhő eléri maximális magasságát, az áramló szelek irányában halad, és a benne lévő radioaktív részecskék diszperziója függőleges és oldalirányú szóródást eredményez. Mivel a szelek sebessége és irányai magasságfüggően változhatnak, az általuk mozgatott felhőrészecskék több irányban, nagy felületeken szóródhatnak szét. Mint említettük, a nagyobb részecskék helyben ülepednek, miközben az aprók, valamint a képződött gázok körüljárhatják a Földet. Az eső és a szél a robbantás helyétől aránylag messze is megnövelheti néhol a koncentrációjukat. Nagy légköri robbantások radioaktív anyagot emelhetnek a sztratoszférába 10 km-re vagy még magasabbra a talaj fölé, ahol hosszú ideig megmaradhatnak, majd aránylag egyenletesen ülepedhetnek globális szennyezőként.

Nukleáris kísérleteket általában távoli helyeken végeztek, legkevesebb 100 km távolságra a lakott helyektől. A robbantás he-

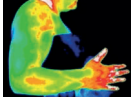
lyétől számítva a helyi lerakódás, szennyezés 50–500 km távolságig juthat, a regionális szennyezés 500–3000 km-ig, a globális szennyezés több mint 3000 km-re is eljuthat. A szennyező felhő idővel szétszélőd, a radioaktivitás egy része leomlik. Általában a lokális szennyeződés területén alakul ki a legmagasabb sugárzás. Az első kísérleti atombomba a *Trinity* nevet viselte; az Egyesült Államok Új-Mexikóban 1945. július 16-án robbantotta fel egy acéltoronyra szerelve. [1] Ezt több mint száz szabadtéri kísérleti robbantás követte az Egyesült Államokban. Az első hidrogénbombát 1954. március 1-jén a *Bikini atollon* robbantotta az Egyesült Államok. Ennek energiája az addigiak közül a legnagyobb volt, körülbelül ezerszerese a Hirosimára dobott bombáénak, és robbanása 10 millió tonna radioaktív anyaggal bevont korallzátonyt és földet emelt a füstfelhőbe.

A Szovjetunió 1949-ben végezte első kísérleti atomrobbantását a kazahsztáni Szemipalatyinszkban. Az Egyesült Királyság is végzett szabadtéri kísérleti robbantásokat 1963-ig, amikor egy korlátozott robbantástilalmi egyezményt írt alá a három ország. Ennek ellenére az egyezményt nem aláíró Franciaország és Kína további légköri kísérleti robbantásokat hajtott végre 1974-ig, illetve 1980-ig. A világon 504 nukleáris szerkezetet robbantottak 13 kiválasztott kísérleti helyszínen, összesen körülbelül 440 megatonna TNT-nek megfelelő robbanóerőben.

### A természetes $^{14}\text{C}$ képződése

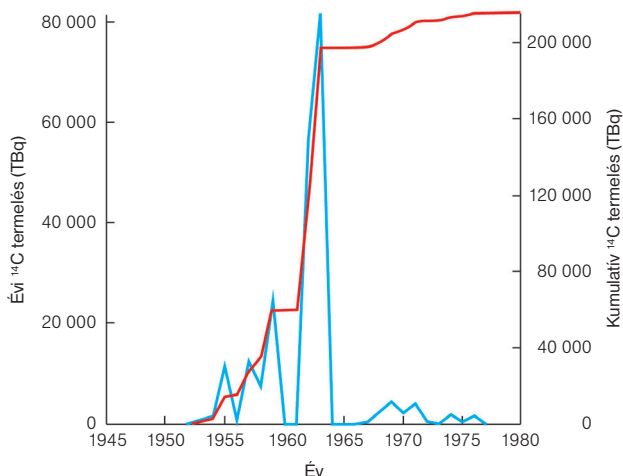
A  $^{14}\text{C}$  a bennünket mindenünnen körülvevő szén egyetlen radioaktív izotópjá, és nagyon kis mennyiségekben jelen van a  $^{12}\text{C}$  és  $^{13}\text{C}$  stabil szénizotópokkal együtt minden szerves anyagban ( $^{12}\text{C} = 98,9\%$ ;  $^{13}\text{C} = 1,1\%$ ;  $^{14}\text{C} = 1$  atom/ $10^{12}$  stabil atom). A  $^{14}\text{C}$  képződését a természetben *Willard Libby* posztulálta először 1946-ban, a légkörben a kozmikus sugárzás neutronjai és a természetben jelen lévő  $^{14}\text{N}$ -magok közötti ütközések révén keletkezik. A magreakció sebességét a természetes  $^{14}\text{C}$  mennyisége alapján  $1,0 \times 10^{15}$  Bq/év-re (ENSZ 1977) következtették, ami jó egyezésben van a kozmikus sugárzás hatásából számított  $1,4 \times 10^{15}$  Bq/év-vel.<sup>1</sup> Képződése után a  $^{14}\text{C}$  oxidálódik, és  $^{14}\text{CO}_2$ -ként bekerül a globális szén ciklusba, mint a nem radioaktív  $^{12}\text{CO}_2$  és  $^{13}\text{CO}_2$ . A  $^{14}\text{C}$ -magok radioaktív bomlásakor egy elektron ( $\beta$ -részecske) lép ki, és stabil  $^{14}\text{N}$ -mag képződik. Az elektronok maximális energiája 156 keV, átlagos energiája 45 keV. A  $^{14}\text{C}$  felezési ideje  $5730 \pm 40$  év. [2]

■ <sup>1</sup> A robbantások által létrehozott radioaktív szennyezés mértéke a becquerel (Bq), ami annak a radioaktív anyagnak a mértékegysége, amelyben másodpercenként 1 atom mag bomlik el.



## Szabadtéri atombomba-robbantás által képződött $^{14}\text{C}$

A szabadtéri atombomba-robbantások során a  $^{14}\text{C}$  a légkörben lévő nitrogén neutronaktiválásából képződik. Az 1980-ig kialakult, feltételezett  $^{14}\text{C}$ -radioaktivitás  $2,2\text{--}3,5 \times 10^{17}$  Bq volt. Ez átlagos,  $4,0 \times 10^{14}$  Bq/Mt képzési sebességnek felel meg, de nyilvánvalóan a robbantott nukleáris szerkezet (atombomba) típusától függ, és attól is, hogy a robbanás a légkörben (például repülőgépről dobták le) vagy a talajon történt-e. Talajon végzett robbantás esetében a légkörben már jelen lévő  $^{14}\text{C}$ -mennyiségnek csak 50%-a képződik, mivel a neutronokat befogja a talaj és víz. [3] Az **1. ábra** bemutatja az 1948 és 1980 között termelt évi és kumulált  $^{14}\text{C}$  meny-

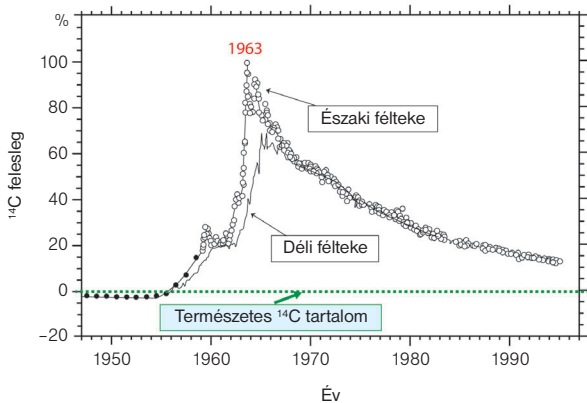


**1. ábra.** Nukleáris robbantások által képződött  $^{14}\text{C}$  évi és kumulált mennyisége 1945–1980 (külföldi adatbázisból)

nyiségét. Mint látható, 1980 volt az utolsó légköri nukleáris robbantás időpontja. [3] A kísérleti nukleáris fegyverek által a légkörben létrehozott  $^{14}\text{C}$  fajlagos aktivitások drámaian megnöttek 1963–64-ben, amikor elérték a természetes  $^{14}\text{C}$ -érték kétszeresét. A **2. ábrán** látható adatok a  $^{14}\text{C}$ -et tartalmazó légköri  $\text{CO}_2$  mérésén alapulnak a déli és az északi féltekén. [4] Összességében a nukleáris fegyverkísérletek zöme az északi féltekén történt, és ez a mért  $^{14}\text{C}$  magasabb fajlagos aktivitásában is tükröződik.

Ez alátámasztja a keveredést a két félteke esetében, kimutatva az alacsonyabb szélességi fokok közbeeső értékeit. A legnagyobb  $^{14}\text{C}$ -mennyiséget 1963–64-ben mérték, ami azt mutatja, hogy a  $^{14}\text{C}$  képződése a sztratoszférában történt, és azt is, hogy a troposzférával való egyensúly kialakulását késési periódus előzte meg.

**2. ábra.** A  $^{14}\text{C}$  képződése légköri robbantásokban a déli és a keleti féltekén [4]



A legnagyobb fajlagos aktivitás kialakulása óta a légkör  $^{14}\text{C}$ -tartalma csökkent a bioszférával és az óceánokkal való csere folytán.

## A $^{14}\text{C}$ a bioszférában

A bioszféra a  $^{14}\text{C}$ -et  $\text{CO}_2$  formában nyeli el. Indokolt a feltételezés, hogy a bioszféra  $^{14}\text{C}$ -tartalma ugyanaz, mint a légköré, viszont ez csak körülbelül igaz a földi növények esetében. A tengeri növények és a plankton  $^{14}\text{C}$ -tartalma összehasonlítható az óceánéval. Visszatérve a szabadtéri atombomba-robbantásokhoz, mint említettük, a  $^{14}\text{C}$ -et tartalmazó légszennyezés idővel lerakódik többek között a földi növényekre is. Az emberek és állatok azokat megeszik, illetve az emberek az állatokat is fogyasztva jutattják a  $^{14}\text{C}$ -et az emberi szervezetbe.

Az emberi test széntartalma az elfogyasztott élelemből származik. Ennek megfelelően az emberi szervezetben a szénizotópok aránya az élelem eredetére utal. [5]

## A $^{14}\text{C}$ és a DNS

Mivel a bombából származó  $^{14}\text{C}$  általában bekerül az emberi szervezetbe, az Egyesült Államok és a Szovjetunió, de az Egyesült Királyság és Kína is az 1945 és 1980 között végzett légköri kísérleti atombomba-robbantásokkal az egész emberiséget radioaktívan jelöltté tette. Az emberi test anyagcseréje a  $^{14}\text{C}$ -et minden sejthez eljuttatta. Ezért a DNS szénatomjai is radioaktívan jelzetté váltak. A DNS  $10^{11}$  C-atomot tartalmaz. A  $^{14}\text{C}$  gyenge energiájú  $\beta$ -sugárzó, és az emberi testbe olyan kis mennyiségben kerül, hogy az egészségi, illetve sugárveszély jelentéktelen. [6]

## A robbantásból származó $^{14}\text{C}$ a tudományos kutatásban

A kísérleti atombomba-robbantásokból származó  $^{14}\text{C}$  kitérő nyomjelző radioizotópnak bizonyult például a légköri és óceáni mozgások vizsgálatában [7], kriminalisztikai [8], orvosi biológiai [9–11] kutatásokban, műtárgyak kormeghatározásában [12], borhamisítás felderítésében [13]. Példaként egy orvosi biológiai kutatási eredményt röviden bemutatunk.

## Zsírsejtek az emberi szervezetben

Az emberi test több milliárd zsírsejtet tartalmaz. Egy ilyen zsírsejt miniatűr zsírtároló edénynek tekinthető. Amikor mikroszkóp alatt nézünk egy zsírsejtet, látható, hogy csaknem az egész sejtet zsírcsepp tölti meg. Közismert, hogy egyes embereknek több a zsírsejtjük, mint másoknak. De mielőtt a  $^{14}\text{C}$ -vel sejt kutatásokat végeztek, a tudomány nem tudta, hogy mennyi ideig élnek ezek a sejtek. Azt sem, hogy olyan zsírsejtmennyiséggel születünk-e, ami teljes életünkben megmarad vagy a sejtek élnek, elpusztulnak vagy sokszorozódnak.

Klinikai zsírszívásokból származó zsírsejtekben megmérték a robbantásokból származó  $^{14}\text{C}$  mennyiségét. [10] Az eredmények azt mutatták, hogy az emberi szervezet nagyon ellenőrzötten kezeli a benne lévő zsírmennyiséget. Ha valaki szokatlanul kövér, és ezért részleges műtéti gyomoreltávolítást végeztet, annál biztos jelentős a súlyvesztés. Bizonyították, hogy ennek ellenére a test megtartja a gyomorrész eltávolítása előtti zsírsejtmennyiséget. Ha pedig a test felszed körülbelül 10–15 kg súlyt, zsírsejtjeinek mérete megnő, de a számuk nem sokszorozódik. A  $^{14}\text{C}$ -es zsírsejtkutatások azt is kimutatták, hogy a zsírsejtek nem élnek



örökké. Akár kövér, akár sovány valaki, a szervezet zsírsajtjeinek körülbelül 10%-a megújul. Lényegében a szervezet több milliárdal növeli zsírsajtjeinek számát, hogy eleget tudjon tenni a 10%-os helyettesítési aránynak.

## Utószó

Mint említettük, a kísérleti nukleáris robbantások zömét 1945-től 1953-ig, illetve 1980-ig végezték. A kutatások kimutatták, hogy a légkörben kísérleti atomrobbantásokból keletkezett <sup>14</sup>C mennyisége azóta folyamatosan csökkenést mutat, és körülbelül 2050-ig teljesen eltűnik.



## IRODALOM

- [1] N.-O. Bagquist, R. Fern, Nuclear explosions, 1940–1994, Defence Research Establishments, Stockholm, 2000.
- [2] H. Goodwin, Nature (1962) 195, 984.
- [3] K. R. Lassey, M. R. Manning, B. J. O'Brien, IAEA-TECDOC IAEA, Vienna, 1988, 481, 7.
- [4] Q. Hua, M. Barbetti, Radiocarbon (2004) 46, 1273.
- [5] P. N. Atwihl, Eur. Pollution (1971) 1, 249.
- [6] A. D. Sakharov, Sci. Social Security (1990) 1, 176.
- [7] Q. Hua, M. Barbetti, A. Rakowski, Radiocarbon (2013) 55, 2039.
- [8] U. Zotti, et al., Nucl. Instr. Phys. Res. B (2004) 223, 990.
- [9] K. L. Spalding et al., Cell (2013) 153, 1219.
- [10] K. L. Spalding et al., Nature (2008) 453, 783.
- [11] L. Caforio et al., Eur. Phys. J. Plus (2014) 129, 5.
- [12] D. D. Hawkness, A. Woltan Nature (1972) 240, 3020.
- [13] I. Hajdas, Carbon (2009) 59, 99.



## KÓDPISZKÁLÓ

## Egy orrspray, amely (még) nem véd meg a koronavírustól

Járványos időszakban nemcsak a járvány, a vírus létét tagadók, a járványügyi intézkedéseknek ellenszegülők, hanem a betegség elleni védelmet nyújtó gyógyszerekkel alaptalanul kecsegtetők is sokat tudnak ártani. Ha ugyanis sikerül elhitetni, hogy ennek vagy annak a (gyógy)szernak a fogyasztása megvéd a megbetegedéstől, a lakosság egy része óvatlanabbá válik, és fitytyet hány az elővigyázatossági szabályokra – mindezt úgy, hogy valójában jelenleg nem tudunk olyan szerről, ami hatásosan védene a fertőződés ellen.

Pikáns helyzet, amikor egy bizonyítatlan hatású szert propagáló levél egy befolyásos tanácsadótól származik. Sajnos, az üzenet az ország számos pontjába eljutott már, mivel címzettjei az iskolaigazgatók: „Mint tudják, a Covid-19 az egész országban terjed, beleértve a kistelepüléseket is, ezért szeretném a figyelmükbe ajánlani az alábbiakat.

A gyógyszerárakban, gyógyszerkönyvileg engedélyezve megjelent egy funkcióját tekintve allergiaellenes, de bizonyítottan baktériumok és vírusok elpusztítására is alkalmas orrspray, az XXX, amelyet egy magyar cég gyárt, külföldi licenz alapján, és mivel generikus gyógyszerről van szó, elérhető áron forgalmaz. Az orrspray 4 órán keresztül biztosítja, hogy az orron keresztül ne jusson Covid-19 vírus a szervezetbe. 6 éves kor alatt nem alkalmazható!

Természetesen a maszkviselést ez nem váltja feltétlenül ki, de mindenki esetében plusz védelmet biztosít, és ami még fontosabb, hogy a 6–10 év alatti gyermekeknél, akikre nehéz ráerőltetni az iskolában a maszk többórás viselését, megkönnyíti mind a pedagógusok, mind az ő helyzetüket, feltéve, ha a pedagógus figyel arra, hogy a 4 órás időtartam után még egyszer spricceljenek az orrukba.

Nagyon kérem, tájékoztassák erről a szülőket, javasolják nekik az orrspray beszerzését, különösen, ismétlem, a 6–10 év alatti gyerekek esetében.”

A jó hír az, hogy az említett (egyébként német gyártású) gyógyszer valóban létezik. A rossz hír pedig az, hogy ez egy allergiaellenes gyógyszer, szénanátha és egész éven át tartó allergiás nátha tüneti kezelésére javasolt. Hatóanyaga, az azelasztin-hidroklorid a H<sub>1</sub> hisztaminreceptorokat gátolja a sejteken. A hisztamin az ún. hízósejtekben tárolódik, és allergiás reakciók esetén nagy mennyiségben felszabadul, ennek hatására gyulladás, hörgőszűkület

alakul ki. Az azelasztin a hisztamin hatását megakadályozva fejti ki allergiaellenes hatását.

A vegyület akkor került az érdeklődés középpontjába, amikor 2020 júliusában pécsi virológusok bejelentették: számítógépes modellezéssel az azelasztint potenciális vírusellenes szerként azonosították, majd az előzetes laboratóriumi tesztek megerősítették a vírusellenes hatást. Már az első bejelentésnél hangsúlyozták: a hatóanyag nem megelőzésre, hanem a már kialakult fertőzés, megbetegedés kezelésére ígéretes. Egyébként lehetséges hatásának nincs köze jelenleg már kiaknázott gyógyhatásához.

Az azelasztin lehetséges koronavírusellenes hatásáról (a szakirodalom tanúsága alapján) elsőként iraki kutatók számoltak be 2020 márciusában, amikor leírták, hogy modellezésük szerint a hatóanyag képes kapcsolódni azokhoz a proteázokhoz, amelyek szükségesek a vírus sejtbe jutásához. Ez érdekes, további kutatásokat ösztönző eredmény, de önmagában semmit nem bizonyít. Az elmúlt fél évben tanúi lehettünk annak, hogy egymás után bukott meg (vagy nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket) számos olyan hatóanyag (pl. klorokin, hidroxiklorokin, lopinavir, ritonavir), amelyet a betegség kezelésére ígéretesnek tartottak. A számítógépes modellezés, a laboratóriumi tesztek és az embereken kimutatható gyógyhatás közötti távolság Makó–Jeruzsálem nagyságrendű. Természetesen lehet, hogy az azelasztinról sikerül igazolni, hogy hatásos a betegség ellen, de ettől még nagyon távol vagyunk.

Mindezt figyelembe véve hajmeresztő, hogy egy mélyebb gyógyászati ismeretekkel nem rendelkező tanácsadó olyan levelet terjeszt, amely egy gyógyszer nem engedélyezett célú felhasználásra buzdít kisiskolások körében. Aki a levelet írta, az valószínűleg nincs tudatában annak, hogy milyen felelőtlenséget vállal a levél terjesztésével. Az ilyen levelek ugyanis önálló életre kelnek, és egyáltalán nem biztos, hogy a cáfolatot tartalmazó levél (ha lesz ilyen) eljut azokhoz, akik az ősforrást olvasták. Akik ilyen levelet írnak, azt is végiggondolhatnák, hogy a közbizalmat nem igazán építi, ha a szülők a gyermekek gyógykezeléséről az információkat az iskolaigazgatókon keresztül a tanároktól kapják meg – az ilyen információk normál esetben a szakemberek közvetítésével jutnak el az érintettekhez. A szakértelem és megfontoltság nélküli lelkesedés nem jó tanácsadó...

Csupor Dezső