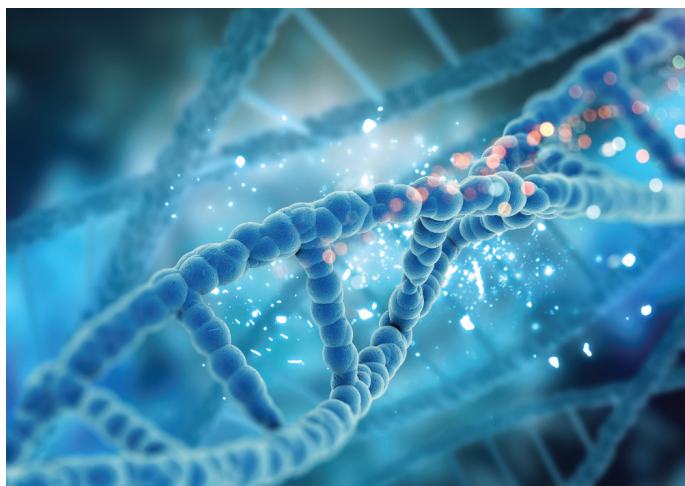


CSICSAY ALAJOS

HOGYAN KELETKEZHETETT ÉS BONTAKOZOTT KI AZ ÉLET?



részt. Ezeket nevezzük *biogén*, magyarul, életet alkotó elemeknek. Csakhogy ez a 27 elem sem fordul elő minden élő szervezetnek a felépítésében, s amelyek mégis, azok is igencsak aránytalanul. Ám létezik 6 elem, amelyek közül egyiket sem képes semmilyen élő sejt nélkülözni. Ezek a következők: *szén* (C), *hidrogén* (H), *oxigén* (O), *nitrogén* (N), *kén* (S) és a *foszfor* (P). Ezeket nevezzük *elsődleges biogén* elemeknek. Ezek alkotják a sejtek tömegének a 99%-át. A többiek közül kerülnek ki a másodlagos, harmadlagos, sőt a negyedleges mikro-, illetve nyomelemek. Ezeknek az átlagos koncentrációja mintánként kisebb 100 ppm-nél (100 mikrogramm/g). Kérdezhetnénk, ilyen jelentéktelennek tűnő mennyiségnek ugyan milyen szerepe lehet például az emberi szervezetben. Nem valószínű, hogy van ember, aki ne hallott volna a vérszegénységről. Nos, az nem más, mint vashiány. A vasatomok pedig a vörös vértestek hemoglobinjának (oxigénszállító fehérjének) az alkotóelemei. Tovább is példálózhatnánk, de akkor, ami a filogenezist (törzsfajlódást) illeti, néhány százmillió évben kellene különféle izotópokat keresgéljünk. Hogy pontosan mennyiben és hányat, senki sem tudja.

David Attenborough írja *Az élővilág atlasza* című könyvében: „Az élet legősibb nyomai 3,4–3,5 milliárd évesek. Ausztrália és Dél-Afrika ilyen idős kőzeteiben sztromatolitokra bukkantak a geológusok (...). A kőzetek az élet még távolabbi közvetett nyomait is feltárják. Az élőlények előszeretettel használnak fel bizonyos szénizotópokat. Grönlandról származó több mint 3,8 milliárd éves kőzetekben levő szénizotópok keveréke az élet jelenlétére utal, alig 600 millió évvel azután, hogy maga a bolygó kialakult.” Ezzel kapcsolatban fontos megjegyeznünk, hogy a szénnek három izotópja, a 12-es, a 13-as és a 14-es fordul elő az élő természetben. Túlnyomó többségben van a periódusos rendszerben feltüntetett, 12-es tömegszámú szén (C), s ami az atomszerkezetét illeti, stabil. A 13-as és a 14-es izotóp viszont egy, illetve két neutronnal többet tartalmaz, mint a 12-es szénatom, ami valójában e három izotópnak a keveréke. Ám, mivel a 14-es szénizotóp a két többlet neutronjánál fogva radioaktív, fontos szerepet játszik a *radiokarbonos régészeti kormeghatározásban*. Ezt Wollard F. Libbi amerikai fizikokémikus fedezte fel és dolgozta ki 1946-ban, amiért aztán később Nobel-díjjal tüntették ki. A C 14-nek fontos szerepe van a természetben lejátszódó olyan bonyolult kémiai folyamatokban, amelyek befolyásolják a klímaváltozást. Hogy miként, az egyáltalán nem mellékes, de most mégis tekintsük annak. Annyit azonban okvetlenül el kell képzelnünk, hogy bolygónk anyagát alkotó kémiai elemek és azok „szervetlen” vegyületeinek előbb kellett kialakulniuk, mint a „szerveseknek”. Ez utóbbiaknak a létrejöttét (majdnem) kizárólag a szén atomszerkezete idézi elő. Pontosabban az a kivételes állapot, hogy a szénatom külső elektronpályáján keringő négy „vegyértékelektron” segítségével lép reakcióba más kémiai elemek atomjaival, mi több, még a sajátjaival is. Ez a jelenség – a ráépülő vegyi folyamatok sokasága révén – tette lehetővé az élet létrejöttét, majd az élővilág bonyolult szétágazását, szaknyelven a *biodiverzitást*.

Ám ha az élet mibenlétéről beszélünk, nem szabad megfeledkeznünk a Föld legegyszerűbb szervetlen vegyületéről, a vízről, melynek a molekulái két atom hidrogénből (H) és egy atom oxigénből (O) állnak. Így most már van három kémiai elemünk: a C, a H és az O. Ezek után, ha a hidrogén és a szén egy-egy oxidját a H₂O-t és a CO₂-t tudnánk reagáltatni egymással, kaphatnánk egy egyszerű szerves vegyületet, egy szénhidrátot. Csakhogy ez nem ilyen egyszerű dolog. Vagy talán mégsem annyira bonyolult? Hiszen nap mint nap folyamatosan megteszi a Nap. Például így: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + E = (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_n + 6\text{O}_2$. Csakhogy pusztán leírva ezek egyszerű betűk és számok, magukban semmit nem érnének, ha közben nem történne egy lényeges dolog. A két vegyület molekuláit a Napból érkező *fotonok* (fizikusok szerint *fénykvantumok*) szintetizálják, mégpedig úgy, hogy maguk is mint energia (E), beépülnek az új vegyületbe, a szőlőcukorba (illetve a *mono-*, *di-*, és *poliszacharidokba*). Melléktermékként pedig oxigén molekulákat szabadítanak fel. Az oxigén viszont a mai légkörnek – a maga 20,93% térfogatával – nélkülözhetetlen része. De hol van ez még? Ahhoz, hogy az előbb idézett kémiai egyenletünkkel leírt fotoszintézis folyamatosan működhessen, az élet keletkezésétől számítva el kellett telnie legalább másfél milliárd évnek. Mi csak úgy hányaveti módon dobálózunk az évmilliókkal, hipotézisünk helyénvalóságának bizonyítására viszont morzsánként próbáljuk összeszedgetni és segítségükkel reprodukálni a tényeket.

Ennél zavarba ejtőbb kérdést aligha lehetne feltenni, pedig már ósidők óta izgatja az embereket. Sokan meg is próbáltak rá válaszolni, azonban a hipotéziseknél tovább még senkinek sem sikerült továbbjutnia. Vajon miért? Bár vannak logikusan felépített elképzelések, de azok valahol mindig megfeneklenek. Annyit azonban mindenképpen el kell fogadnunk, hogy vegyi folyamatok révén jött létre az élet. Csakhogy ezek a vegyi történések olyan fizikai körülmények között mehettek végbe, amelyeket, úgy tűnik, képtelenség maradéktalanul reprodukálni. De vajon szükség van-e ilyesmire egyáltalán?

Azt már a középiskolás diákok, sőt még az általános iskolás gyerekek is tudják, hogy a Földön 94 természetes – plusz 38 mesterségesen előállított – kémiai elem van, de az élő szervezetek sejtjeinek a felépítésében és életfolyamataiban mindössze 27 ves

Minthogy ma is léteznek *anaerob* „oxigéntől elzárt” baktériumok (tán helyesebb, ha organizmusokat mondunk), feltételezzük, hogy ők tekinthetők az élet kiindulópontjának. Ami viszont csoda, hogy anaerob baktériumok a mai magasan fejlett szervezetekben (például az emberében) is élnek és fontos élettani feladatokat látnak el, hogy legalább egyet említsünk meg közülük, a *bélfőrában*. Korszerű nevén a *bélmikrobiomban*.

Természettudományos szemlélet szerint, az élet keletkezésében szerepet játszó anaerob szervezeteket és/illetve, az *archeákat* (régiesen ősbaktériumokat) tekintik. Bármik is voltak, mindenképpen olyan tulajdonságra kellett szert tenniük, melyek révén le tudták másolni önmagukat. A ma élő szervezetekben ezzel a képességgel a dezoxiribonukleinsav, DNS rendelkezik. Hogy ez mikor és milyen úton-módon jött létre, valószínűleg még sokáig titok marad. A földi élet létrejöttének és működésének egyik alapfeltétele a víz. Előfordulhatott ez másutt is a naprendszerben, sőt talán azon kívül is, de mai ismereteink szerint olyan óriási mennyiségben, ráadásul folyékony állapotban, mint a Föld felszínén, sehol másutt nem maradt meg. Azt is tudni véljük, hogy az egész Földet kialakulása után mérhetetlen nagy viharok közepette teljesen beborította. Ha ez így volt, akkor az élő szervezetek sehol máshol nem jöhettek létre, mint a tengerekben. Gondolom, nem árt felidézni, hogy a Föld három jelentősebb rétegből épül fel: a nehéz fémek alkotta szilárd *magból*, a képlékeny, izzó, de nem egyformán forró *köpenyből*, és ismét szilárd, ám az előbbi kettőhöz viszonyítva meglepően vékony *kéregből*, ami nem egyenletesen terül szét a földköpeny felett. Vastagsága – miután a (kezdetben összefüggő) szárazföld kiemelkedett az ósóceánból – nagyjából 3-tól 50 kilométerig terjed. Ez így persze egy kicsit pontatlan, viszont előre jelzi, hogy sem a szárazföld, sem a tengerfenék nem egyenletesen vastag, ráadásul már a megszilárdulása kezdetén széttöredezett. Mindkét fajta – tengerfenéki és szárazföldi – lemezeket, más néven pajzsokat, hatalmas hegyvonulatok tarkítják. A rajtuk keletkező hegycsúcsok meg a mélytengeri árkok közti különbség teszi ki ma a mintegy 20 kilométernyi különbséget. A földkéreg széttöredezése már a földtörténeti őskorban, milliárd évekkel ezelőtt megtörtént, a földköpeny izzó anyaga lávaként a felszínre tört, kihűlve megszilárdult, s ezzel megindultak a hegyképző folyamatok. Hogy melyik mikor, az a földtörténeti korok szerint nyomon követhető. Ebben nincs semmi különös. Nemcsak a Föld felszínén zajlanak mozgások. Amióta a világmindenség létezik – vagyis öröktől fogva –, benne az anyag legparányibb részeitől, a sugárzásokon és mindenfajta fizikai jelenségen át, a legnagyobb galaxisokig, minden szüntelenül mozog és változik. Amit mi, emberek, pillanatnyi történelmünk ideje alatt állandónak vélünk, nem más, mint illúzió. Hogy az élet is örök-e, vagy csupán a Földön keletkezett, és egyedül a bolygónkhoz kötött; az erre vonatkozó két egymástól eltérő elmélet közül tudományosan sajnos eddig még egyik sem bizonyítható. Mindazonáltal, mivel mi természettudományos szempontból közelítjük meg e kérdést, maradjunk továbbra is ennél az okfejtésnél.

Ott tartottunk, hogy az első élőlények az anaerob baktériumok lehettek, amelyek képessé váltak lemásolni önmagukat. Viszont, elvileg, csupán geokémiai élet is elképzelhető, sőt az is, hogy ilyen megjelenési formája bárhol a világmindenségben előfordulhat. Mindezt mondom feltételes módban, de hogy van-e ilyesmi, arra semmilyen bizonyíték nem szolgál. Arra sincs, hogy a mai biológiai sokszínűség, vagyis a biodiverzitás, egyes sejtszervecskék önmásoló képességének megjelenésével indult el. Szintén csak visszakövetkeztetni tudunk rá. Egyes kutatók szerint a genetikai információk a DNS-nek már kétmilliárd évvel ezelőtt működni kellett. Mások ezt az időt csupán egy milliárd vagy csak 8-900 millió évre becsülik. Úgy tűnik, teljesen mindegy. A lényeg az, hogy ilyen roppant nagy idő óta pontosan működik. Hogy pontosan-e, ez sajnos vagy éppen szerencsére nem igaz. Elsősorban azért, mert nem a DNS az egyedüli „másolóképes” nukleinsav, másodsorban pedig működése közben rengetek másolási hibát is elkövet, például azzal (is), hogy egyes alkotóelemeit, a nukleotidokat: a guanin (G), citozin (C), adenin (A), timin (T) bázisokat nem a megfelelő helyükre programozza be, amit a hibajavító képességével igyekszik hamar helyrehozni. Ám bizony sokszor előfordul, hogy ez nem sikerül. Lehet, hogy azért, mert a folyamatba beavatkoznak az RNS molekulák, amelyek – mint már említettük – szerkezetileg abban különböznek a DNS molekuláktól, hogy bennük a timint (T) uracil (U) helyettesíti. Így a gének (nukleinsav szakaszok) lemásolásában vagy átíródásában is eltérő a szerepük. Egyes RNS-ek, ha szükséges, enzimeként, azaz genetikai ollóként működnek. Ráadásul még a vírusok is RNS-ek, és ki tudja, milyen rejtett szerepük lehet (tet) a genetikában. Ne felejtjük el, amit felvázoltam, csupán apró lépések sokaságai, amelyek közt bármikor, akár külső hatásokra is előfordulhattak bármilyen zavarok. Sőt, előfordulhatnak ma is, melyek következményeire számtalan bizonyíték szolgál. A genomok ennél jóval összetettebbek és sokkal bonyolultabban működnek. A már egyszer említett David Burnie az emberi testre vonatkozóan írja: „A nukleinsavak egy számítógépprogram testi megfelelőjét képviselik. Különleges kémiai kódot használva tárolják az egész test felépítéséhez és működéséhez szükséges információt.” Ez nagyjából igaz. Az is, hogy a számítógépek a biológiai kutatásokban, így a gyógyászatban is nélkülözhetetlen eszközökké váltak, de nincs olyan számítógép és talán soha nem is lesz, amelyik teljesítményében képes lesz majd utolérni, netán előrelátva meghaladni egy élő szervezet felépítésében és működésében fellépő változásokat, főképpen az emberében. Ugyanis az embernek nemcsak a fizikuma vált túlságosan összetetté, hanem a pszichikuma is. S e kettőt nem lehet egymástól elválasztani.

David Attenborough és munkatársai *Az élővilág atlaszában* közölnek egy jól áttekinthető elméletet rajzzal illusztrálva, a növényi és az állati sejtek kialakulásáról. Kiindulópontnak veszik az *anaerob baktériumokat*. Feltételezzük: „Amikor egy egyszerű anaerob (oxigén nélkül élő) baktérium bekebelezett egy aerob baktériumot, ez utóbbi átalakulhatott mitokondriummá, olyan sejtszervecskévé, amely oxigént használ az energiatermeléshez. Hasonlóképpen a növényi sejtekre jellemző, klorofill tartalmú kloroplasztiszok eredetileg fotoszintetizáló baktériumok lehettek.” A zöld színanyag, a *klorofill* kialakulása döntő jelentőségű fejlődést eredményezett, mivel alkalmassá tette a kezdetleges növényi sejteket a Napból érkező energiahordozók, a *fotonok* csapdába ejtésére, és ezáltal saját energiájának a termelésére. Ezáltal mintegy 2 milliárd évvel ezelőtt a légkörben megjelent a két atomos szabad oxigén. Tehát fokozatosan kialakult az oxigén tartalmú légkör, és fölötté egy vékony, három atomos oxigén molekulákból álló réteg, az ózonpajzs, amely kiszűri a földi életre káros ultraibolya napsugarakat.

Az élettelen anyag élővé alakulásához rengetek vegyi reakcióra és hozzá megfelelő fizikai feltételekre volt szükség, mondhatnánk, sok utólag megismételhetetlen apró lépésre vagy inkább mozzanatra, amelyek milliárd éveket vettek igénybe.