

Kémiai kutatások és az élet keletkezése

Egy régebbi cikkben* az élettelen világ fejlődésének kérdésével foglalkoztunk, és arra a megállapításra jutottunk, hogy a különböző kémiai elemek hatalmas kozmikus rendszerek, a galaktikák fejlődése során keletkeznek, vagyis a kémiai elemeknek is megvan a maguk fejlődéstörténetük. Ez a fejlődés lényegében a forró csillagok belsejében játszódik le, magreakciók révén, és méltán nevezhetjük a fejlődés magfizikai szakaszának. A keletkezett elemekből a forró csillagokénál sokkal alacsonyabb hőmérsékleten új anyagfajták, kémiai vegyületek jöhetnek létre. A hőmérséklet csökkenésekor tehát a különböző elemek atomjai egy újabb fejlődési folyamatba kapcsolódhatnak be, melynek eredményeként először gáznemű vegyületek molekulái keletkeznek, majd még alacsonyabb hőmérsékleten cseppfolyós és szilárd anyagfajták alakulnak ki. Ez már a fejlődésnek minőségileg új, *kémiai* szakaszát jelenti.

A kémiában valamelyest is járatos ember számára egyáltalán nem meglepő, hogy egyes elemekből vegyületek keletkeznek a hőmérséklet csökkenésekor, hisz vegyületek képződésével nap mint nap találkozunk a gyakorlatban: hidrogénből és oxigénből víz keletkezik, hidrogénből és klórból sósav, szénből és oxigénből széndioxid. A kérdés inkább úgy tevődik fel, vajon ez a földi viszonyok között számtalanszor megisméltendő folyamat tekinthető-e fejlődésnek? A válasz megadásakor figyelembe kell vennünk, hogy az atomok egyesülése révén keletkező molekula bonyolultabb rendszer, mint az atomok, továbbá az egyesüléskor nem egyszerű összegeződés történik, a keletkező anyagnak minőségileg új tulajdonságai vannak. Másrészt, ha az még vitatható, hogy helyes-e ezeket a kémiai folyamatokat, melyeket laboratóriumainkban megvalósítunk, fejlődési folyamatnak tekinteni, az viszont mindenki számára kézenfekvő, hogy egy égitest történetében feltétlenül fejlődésnek kell tekintenünk a kémiai reakciók megjelenését, új, bonyolultabb anyagfajták képződését egyszerűbbekből.

A fejlődés magfizikai szakasza létrehozza a kémiai elemeket, és ezáltal megteremt a lehetőséget ahhoz, hogy a fejlődés magasabb foka valósuljon meg, melynek során kémiai vegyületek keletkeznek. Ugyanígy, a fejlődés kémiai szakasza, az egyre bonyolultabb vegyületek keletkezése alapul szolgál egy minőségileg új szakaszra való áttéréshez, melynek során megjelenik az élet.

A darwini fejlődéseméletet továbbfejlesztve, az őslénytani, embriológiai és összehasonlító anatómiai kutatásokra támaszkodva, a biológia főbb vonásaiban feltárta azt az utat, amelyet az élőlények fejlődése megtett az egysejtűektől a magasabbrendű emlősökig. Meglehetősen világos képet alkottunk magunknak arról is, hogy miként alakult ki az ember, hogyan jött létre az emberi társadalom. A fejlődés különböző szakaszai tehát, a magfizikaitól kezdve egészen a fejlődés társadalmi szakaszáig, egységes láncot képeznek. Ennek a hosszú láncnak egyik legkevésbé tisztázott és leginkább vitatott láncszeme az élet megjelenése, az életjelenségek kiala-

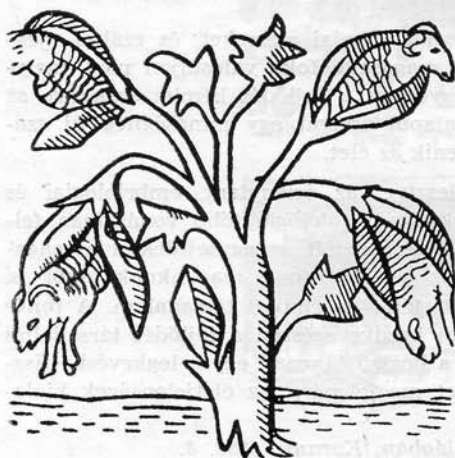
* Zsakó János: *Fejlődés az élettelen világban*. Korunk, 1963. 8.

kulása. Ebben a cikkben éppen ezzel a kérdéssel szeretnék foglalkozni, annál is inkább, mivel e területen az utóbbi egy-két évtizedben sok érdekes tudományos értékű eredmény született, melyek a nem szakemberek számára kevésbé ismertek.

Létezik-e autogenezis?

Az élet és az élőlények létrejöttének kérdése évezredek óta foglalkoztatja az emberiséget. Csaknem a legutóbbi időkig általánosan elterjedt volt az a nézet, hogy az élőlények nemcsak hozzájuk hasonló más élőlényektől származhatnak, hanem létrejöhetnek élettelen anyagból is, spontán genézis vagy autogenezis által. A legkülönbözőbb népeknél, a legkülönbözőbb korszakokban találkoznak ilyen elképzelésekkel. Az ősi indiai szent könyvekben is az áll, hogy izzadságból, szennyből különböző paraziták, bogarak és legyek keletkeznek. A babiloni írásos emlékek szerint az öntözőcsatornák iszapjából férgek és más állatok születnek. Az ókori Egyiptomban úgy képzelték, hogy a Nílus áradása után visszamaradó iszapban a napfény hatására kígyók, békák és egerek teremnek. Az élőlények ilyen spontán genézisének a meséjét megtaláljuk az ókori görögöknél és rómaiaknál, a miletoszi Thalészától, Empedokléstől és Arisztoteléstől egészen Lucretiusig és Pliniusig. Arisztotelész részletesen foglalkozott az alacsonyabbrendű élőlények, elsősorban a rovarok, férgek, egyes hüllők és halak autogenezisének a kérdésével, és határozottan állította, hogy ezek élettelen anyagból is keletkezhetnek: vízből, földből, rothadó szemétből, rothadó fából, trágyából.

Érdekes, hogy az autogenezis lehetősége nagyon sokáig nem is volt vita tárgya. Materialisták és idealisták egyaránt kétségtelen tényként fogadták el, csak a jelenség értelmezésében tért el a véleményük. A spontán genézist vitathatatlan ténynek tekintették a középkorban is. A keresztény egyházatyák, Szent Ágoston, Aquinói Tamás vagy a bizánci egyház IV. századbeli tekintélye, Nagy Bazil, Isten mindenhatóságát igyekeztek bizonyítani vele, a teremtés folytonosságát. A bibliai legendák magyarázatakor is gyakran hivatkoztak az autogenezisre, még nem is olyan régen. Így például a XVIII. század elején Dmitrij rosztovi püspök részletesen kifejtette, hogy a vízözönkor Noénak nem kellett minden élőlényből egy-egy párat magával vinnie, mivel a legyek, szúnyogok, mindenféle rovar, féreg, csúszómászó, a békák és egerek nyugodtan elpusztulhattak, mert a vízözön után úgyszólván újrakeletkeztek a nedvességből, iszaptól, szennyből, éppen úgy, mint azelőtt.



A középkorban széles körben elterjedt volt egy másik, az autogenezissel közeli rokonságban álló mese is, mely szerint léteznek növényi eredetű állatok. A legismertebb ilyen legendák a vízi madarak keletkezéséről szólnak különböző fák terméséből, továbbá báránytermő fákról. A kérdéssel nagyon komoly emberek is foglalkoztak. Alexander Nekham, a XII. század végének angol enciklopédistája leírja például, hogy ha fenyőgyanta a tengervíz sójával kerül érintkezésbe, vízi madarak keletkezhetnek belőle. Az ilyen és hasonló legendák széles körben elterjedtek, és ennek alapján a „növényi eredetű“ liba

„Bárány-fa“ (középkori rajz)

és ruca húsát kezdték bőjtös eledelnek tekinteni. Habár III. Innocent pápa külön bullát bocsátott ki, amelyben határozottan eltiltotta bőjt idején az ilyen „növényi táplálék“ fogyasztását, még több mint 200 évvel később is találunk feljegyzéseket ilyenyszerű bőjtös lakomákról.

Az élőlények spontán genezisében senki sem kételkedett még a XVI. század végén és a XVII. század első felében sem, pedig ekkor már jelentős természettudományos kísérletek folytak. Sőt, kezdték kísérleti adatokkal is alátámasztani a spontán genezis elméletét. A XVII. század első felének egyik kiváló kísérletezője, van Helmont, aki a kémia és a növények táplálkozása terén fontos eredményeket ért el, pontos receptet is adott egereknek búzából történő előállítására. A kísérleti természettudományok kialakulásával azért mégis döntő fordulat állott be. Az első figyelemre méltó eredményt Francesco Redi érte el 1668-ban. Gondosan végzett kísérletek alapján megállapította, hogy az állni hagyott húsban csak akkor jelennek meg fehér nyüvek, ha a legyek lerakhatják a petéiket a húrsra.

Az autogenezis elmélete a természet felületes megfigyelése alapján született meg. Az emberek látták, hogy a szemétdombok nyüzsgönek az apró élőlényektől, a nem tisztálkodó embert ellepik a tetvek, kézenfekvő volt tehát a következtetés: a rothadó szemétből, izzadságból élőlények szülehetnek. A természet alapos megfigyelése azután kiderítette, hogy mindezek az élőlények hozzájuk hasonló lények utódai, és nem autogenezis útján keletkeztek. Először a nagyobb állatokkal kapcsolatban veszítette hitelét az autogenezis elmélete. Hogy az oroszlanok a sivatag szikláiból keletkeznek, arra vonatkozólag csak ókori feljegyzéseink vannak. Az a hiedelem, hogy a krokodilusok a Nílus iszapjából születnek, valamivel tovább tartotta magát (Shakespeare *Antonius és Cleopatrájában* is beszél róla Lepidus).

Redi kísérletei után még szűkebbé vált a kör, melyben a spontán genezis elmélete még fennmaradhatott. Érdekes megjegyezni, hogy Redi sem vetette el teljesen az autogenezis elméletét, és lehetségesnek tartotta, hogy a bélférgek rothadó anyagból keletkezzenek, a szű korhadó fából, a tölgyfagubacsban levő kukacok pedig növényi nedvekből. A természettudományok fejlődése rövidesen ezekről a területekről is kiszorította az autogenezis elméletét, de az egyszerűbb emberek elképzelésében mind a mai napig fennmaradt, és manapság is találkozunk tudatlan emberekkel, akik meg vannak győződve arról, hogy a férgek szemétből és rothadt húsból keletkeznek, az ember élősködői pedig maguktól jönnek létre szennyből és mocskból.

A mikroorganizmusok felfedezése újabb lehetőségeket biztosított az autogenezis hívei számára. Habár Lazaro Spallanzani kísérletei alapján még a XVIII. században arra a következtetésre jutott, hogy a mikroorganizmusok körében sem lehetséges autogenezis, nagyon sok biológus maradt e téves elmélet híve. A múlt század közepe táján meglehetősen hevessé vált a vélemények harca a spontán genezis körül. Pouchet több cikket, majd 1859-ben egy 700 lapnyi tanulmányt közölt. Ezekben saját



„Liba-fa“ (középkori rajz)

kísérletei alapján igyekezett bizonyítani a spontán genesis lehetőségét, és számos esetet írt le, mikor nézete szerint élettelen anyagból mikroorganizmusok jöttek létre. Alig néhány évre rá jelentek meg Louis Pasteur ragyogó munkái, melyekkel sikerült végérvényesen bebizonyítania az autogenesis lehetetlenségét. Kimutatta, hogy elődei, közöttük Pouchet is, azért találtak mikroorganizmusokat az általuk vizsgált próbákban, mert nem dolgoztak teljesen steril körülmények közt.

Hogyan kerültek az élet csírái a Földre?

Pasteur kísérletei fordulópontot jelentettek a biológiában. Évezredek előítéleteit semmisítették meg és ugyanakkor új problémákat vetettek fel, melyek elsődrendű fontosságúak a fejlődéstudományok szempontjából. Az idealisták igyekeztek az új felfedezéseket a fejlődéstudományok ellen felhasználni: az autogenesis lehetetlenségét úgy állították be, mintha az az élettelen és az élővilág között áthidalhatatlan szakadékot jelentene, és az élet keletkezésében a teremtő aktus szükségességét bizonyítaná. Ugyanakkor a materialisták előtt is világossá vált, hogy az élet keletkezése sokkal bonyolultabb probléma, mint ahogy azt a mechanikus materialisták elképzelték. Egyesek arra a következtetésre jutottak Pasteur kísérletei alapján, hogy az élet spontán keletkezése általában lehetetlen, és hogy az élet a Világegyetemben öröktől fogva létezik. Ilyen nézetekkel találkozunk Thomson (lord Kelvin) angol fizikusnál, Helmholtz német fiziológusnál, van Tieghem francia botanikusnál és a múlt század végének sok kiváló természettudósánál.

Ha elfogadjuk azt, hogy az élet ugyanolyan régi, mint maga a Világegyetem, és nem keletkezik sohasem, hanem csak folytatódik, akkor felmerül néhány fontos kérdés. A geológiai adatok kétségtelenül bizonyítják, hogy voltak olyan földtörténeti korok, amikor a földön még nem volt élet. Ha élettelen anyagból élő nem lehet, az első élőlényeknek kívülről kellett a Földre kerülniök. Ehhez viszont két dolog szükséges: először is az, hogy az élet létezzék a Világegyetem más részein is, másodszor, hogy az élet csírái a kozmikus térségeken át a Földre eljussanak.

Hogy a Világegyetemben a Földön kívül is létezik élet, azt már a XVI. században is feltételezte Giordano Bruno, a tudósok azonban általában túl merész elképzelésnek tartották. Jeans ismert angol csillagász még 1929-ben is azt a nézetet vallotta: rendkívül kicsi a valószínűsége annak, hogy egy forró csillagnak bolygói legyenek, és így élet a Világegyetemben csak elvétve és nagyon apró zugokban lehetséges. A későbbi asztronómiai vizsgálatok sokat változtattak ezen a képen. Holmberg nagyon alapos vizsgálatnak vetette alá mintegy 240 csillag mozgását, és arra a következtetésre jutott, hogy azok egynegyedének vannak bolygói. Ezek szerint nem lehetetlen, hogy a Világegyetemben nagyon nagy azoknak az égitesteknek a száma, melyeken élet létezhetik. Így tehát teljesül az első feltétel, ami ahhoz szükséges, hogy a földi élet kozmikus eredetének elmélete valószínűnek tűnjék.

Mi a helyzet azonban a második feltétellel? Hogyan kerülhettek az élet csírái a Földre? Ehhez először az volt szükséges, hogy arról a bolygóról, melyen éltek, kikerüljenek a világűrbe. Thomson elképzelése szerint a világűrben számtalan meteorit kering, mely az élet csíráit hordozza. Szerinte ezek úgy kerülhettek a világűrbe, hogy valamely élőlényektől lakott bolygó összeütközött egy vele hasonló nagyságú égitesttel, és törmelékei így szétszóródtak az űrben. Ha ezt a kevéssé valószínű hipotézist el is fogadjuk, nyitva marad a kérdés, hogy az élet csírái kibírják-e a hosszú kozmikus utazást? Ez az utazás több száz vagy több ezer évig tarthat, rendkívül alacsony hőmérsékleten, az abszolút zéró közelében. Kétségtelen tény, hogy

a mikroorganizmusok csirái igen ellenállóak az alacsony hőmérséklettel szemben, és évekig megőrzik életképességüket a kozmikushoz hasonló hőmérsékleti viszonyok között. Ez alátámasztani látszott a hipotézis helyességét, nemkülönben az is, hogy számos meteoritban sikerült kimutatni szerves vegyületek jelenlétét. Az alaposabb vizsgálatok kiderítették azonban, hogy semmi se szól amellett, hogy ezek a szerves vegyületek élőlényekből származnának. A meteoritokban mikroorganizmusokat vagy baktériumok spóráit kimutatni nem sikerült.

Swante Arrhenius svéd kémikus elképzelése szerint a baktériumok spórái meteoritok közvetítése nélkül is vándorolhatnak a csillagrendszerek között. A légáramlatok által a légkör felsőbb rétegeibe szállított spórák a Nap kisugározta fény nyomásának hatására kijuthatnak a Föld vonzóköréből, sőt a Naprendszert is elhagyhatják. Konkrét számításokat is végzett, amelyekből az derült ki, hogy egy 0,0002 mm átmérőjű spóra a fénynyomás hatására kb. 9000 év alatt eljuthat a legközelebbi állócsillag közelébe. Ezek az elképzelések és számítások tehát meglehetősen kecsagetők voltak, de az utóbbi időben mégis tarthatatlanná váltak. Nem vettek figyelembe ugyanis egy nagyon lényeges momentumot, a kozmikus sugárzást. Az utóbbi évtizedek vizsgálatai kiderítették, hogy a kozmikus sugárzás hatására rövid idő alatt elpusztul minden ismert mikroorganizmus vagy baktérium-spóra, és így teljességgel lehetetlen, hogy a Földre az élet csirái a Kozmoszból kerültek volna. Az életnek itt kellett kialakulnia a Földön.

A fejlődéseméletek alkalmazása az élet keletkezése kérdésében

Lamarck már 1820-ban kifejtette azt az elképzelését, hogy az élőlények valamikor régen az élettelen anyagból fejlődtek ki. Először valamilyen kezdetleges, primér élőlények jöhettek létre, amelyekből később kialakultak az egysejtűek. Hasonló nézeteket vallott a múlt század számos jeles tudósa, így Oken, Haeckel, Huxley, Tyndall és maga Darwin is. Valamennyien egyetértettek abban, hogy az élet keletkezésének élettelen anyagból távoli földtörténeti korokban kellett lejátszódnia. Hogy akkor bekövetkezhetett olyasmi, ami ma lehetetlen, a spontán genesis, elég könnyen megmagyarázható, ha figyelembe vesszük, hogy a Föld felszínén akkor a viszonyok a maitól sokban különböztek. A legfőbb különbség az, hogy akkor nem voltak élőlények. Ha a jelenlegi körülmények között esetleg lehetséges volna is primitív élőlények létrejötte, azok nem fejlődhetnének ki, mert azonnal felfalná a már meglévő többi élőlény. Ezenkívül különbözhetek az akkori körülmények a maitól sok más tekintetben is, így a hőmérsékletet illetően vagy az atmoszféra összetételében.

Századunk első évtizedeiben számos olyan fejlődésemélet született, mely az élet eredetét igyekszik megmagyarázni. 1924-ben jelent meg Oparin szovjet biokémikus brosurája, melyben felvázolta az élet keletkezésére vonatkozó elméletét. Elképzelése szerint a Földön először a legegyszerűbb szerves vegyületek, a szénhidrogének képződtek, majd a fejlődés során bonyolultabb szerves vegyületek jelentek meg, ami végül is fehérjeszerű anyagok létrejöttéhez vezetett. Ezek a fehérjeszerű anyagok azután kolloidrendszerek felépítésében vettek részt, melyek a természetes kiválasztás hatására egyre tökéletesebb belső szervezettségre tettek szert, és így alakult ki fokozatosan az élet.

J. B. S. Haldane 1929-ben megjelent cikkében ugyancsak arra a megállapításra jutott, hogy a szerves vegyületeknek az élet keletkezése előtt kellett a Földön megjelenniük. Pár évvel később a spektroszkópiai vizsgálatok kiderítették szénhidrogének jelenlétét a nagy bolygók légkörében. Ettől kezdve általánosan elfogad-

ták annak lehetőségét, hogy szerves vegyületek nagymértékben felhalmozódjanak abiogén úton, tehát egyszerű kémiai reakciók során anélkül, hogy élőlények jelenlétére volna szükség.

A 30-as és 40-es években kidolgozott elméletek valamennyien abból a feltevésből indulnak ki, hogy szerves vegyületek, közöttük aminosavak és polipeptidok is, melyek a fehérjék alkotórészei, abiogén úton jöttek létre. Az első élőlények megjelenését azonban ezen elméletek szerzői, Muller, Lipman, Alexander, Beutner, Dauvillier és mások, a pusztta véletlennek tulajdonították. Elképzelésük szerint a keletkezett bonyolult molekulákból véletlenül összeállt egy gén vagy egy baktérium, és elegendő volt, hogy ez egyetlen egyszer megtörténjen a Föld történetében, máris létrejöhett belőle az egész élővilág.

A véletlen szerepének ilyen nagy jelentőséget tulajdonítani meglehetősen túlzás. Az írógépem atomjai állandó mozgásban vannak, és elvileg lehetséges az, hogy egy adott pillanatban valamennyi atomja ugyanabban az irányban mozogjon, és az írógép kirepüljön a kezem alól. Ez viszont csak elvi lehetőség, és nem fogom a gépet lekötözni, hogy ne szálljon el. Körülbelül ugyanekkora a valószínűsége annak is, hogy egy kezdetleges élőlényt felépítő molekulák véletlenül összeálljanak és létrehozzák az illető lényt. Erre a véletlenre nem lehet tudományos elméletet felépíteni. Sokkal valószínűbb az, hogy a szerves molekulákból nem jött létre egyszerre egy gén vagy baktérium, vagy egyenesen egy egysejtű, hanem először különböző sokmolekulájú rendszerek jelenhettek meg, Haldane terminológiája szerint „szubvitalis“ rendszerek, melyek átmenetet alkottak az élettelen anyag és a jelenleg ismert legegyszerűbb élőlények között. Ennek az elképzelésnek a hívei A. I. Oparin, J. D. Bernal, J. B. S. Haldane, G. Wald, H. Holodnij és az élet eredetének kérdésével foglalkozó sok más kutató. A fejlődés *kémiai szakasza* létrehozta tehát az élet szempontjából szükséges vegyületeket, azok felhalmozódnak, majd belőlük szubvitalis rendszerek alakulnak ki, és végül ezekből létrejönnek az első mikroorganizmusok. Ez volna főbb vonásaiban az a láncszem, melynek vizsgálatát célul tűztük ki.

A vázolt hipotézis nagyon valószínű, ahhoz azonban, hogy az élet eredetére vonatkozó tudományos elmélet rangjára emelkedjen, még nagyon sok szükséges. Elsősorban meg kell vizsgálni azt, hogy az elmúlt földtörténeti korok viszonyai között valóban lehetséges volt-e az élet szempontjából fontos valamennyi szerves vegyületnek a képződése? Ha igen, akkor mesterségesen létre kell hozni azokat a viszonyokat, melyek között a különböző anyagok szintézise végbemehetett, és meg kell valósítani ezeket a szintéziseket. Meg kell vizsgálni azt, hogy a felállított hipotézis összhangban van-e a geológiai és csillagászati adatokkal. Ha mindezek után egy ellentmondásmentes képhez jutunk, a fejlődés kémiai szakaszát tisztázottnak tekinthetjük, és levonhatjuk a következtetést, hogy valóban, a régmúlt földtörténeti korokban megvoltak azok a feltételek, amelyek szükségesek voltak a szubvitalis rendszerek kialakulásához.

Az utóbbi években végzett kémiai kísérletek éppen ennek a következtetésnek a levonását tették lehetővé.

Hol találhatóak szerves vegyületek a Világegyetemben?

Szerves vegyületek nélkül az élet elképzelhetetlen. Minden élőlény szervezete szerves vegyületekből épül fel. (A „szerves vegyület“ elnevezés is lényegében ezt tükrözi. A fogalmat Berzelius svéd kémikus vezette be 1827-ben, és azt tartotta a vegyületekről, hogy csak élő szervezetekben képződhetnek valamilyen

különleges „életerő“, a *vis vitalis* közreműködésével. Az életerő elmélete helytelen volt, alig egy évre rá Wöhler karbamidot állított elő mindenfajta *vis vitalis* nélkül, majd Kolbe, Berthelot egyenesen elemeikből. Az életerő elmélete megdőlt, tehát, de a „szerves vegyület“ elnevezés megmaradt.) Valamennyi szerves vegyület tartalmaz szén, és ezért egyesek általában a szénvegyületeket szokták szerves vegyületeknek tekinteni, a szénsavat és sóit, a karbonátokat azonban, melyek az ásványvilágban hatalmas mennyiségben vannak jelen (mész, márvány, dolomit), többnyire nem szokták a szerves vegyületek közé sorolni. Shorlemmer szerint szerves vegyületek a szénhidrogének és származékaik.

A Földön a bioszférában hatalmas mennyiségű szerves vegyület található. Ezek teljes egészükben az élő szervezetek működése következtében jöttek létre. A szerves vegyületek legfőbb forrása a zöld növényekben végbemenő fotoszintézis, melynek során a növények a Nap energiájának a felhasználásával széndioxidból előállítják az élettevékenységükhöz szükséges szerves vegyületet. Ezeket használják fel azután az állatok és más makro- és mikroorganizmusok. A fotoszintézis mellett létezik még kemoszintézis is, mely a baktériumok egy csoportjánál figyelhető meg. Ezek ugyancsak széndioxidból sötétben állítanak elő szerves vegyületeket, felhasználva az egyes ásványi anyagok (kén-, vas- vagy nitrogénvegyületek) oxidációja során felszabaduló energiát. Ezek a folyamatok mint szervesvegyületforrások azonban csak alárendelt szerepet játszanak a fotoszintézishez képest.

Nagy mennyiségű szerves vegyület található még a litoszférában is (földgáz, kőolaj, ásványi szén). Ezek túlnyomórészt szintén biogén eredetűek. A kőszén különböző fajtái minden kétséget kizáróan azok, a kőolaj esetében a legfontosabb telepek szintén, de léteznek abiogén úton létrejötték is.

Abból a tényből, hogy a Földön található szerves vegyületek csaknem kizárólag biogén eredetűek, egyesek azt a következtetést vonták le, hogy az első élőlények kemoszintézist megvalósító, ún. autotróf mikroorganizmusok lehettek, melyek közvetlenül ásványi anyagokat használtak fel az élettevékenységükhöz szükséges szerves vegyületek szintézisére. Ilyen nézetekkel még a manapság használatos kézikönyvekben is találkozhatunk. A kemoszintézist megvalósító autotróf baktériumok anyagcserefolyamatai sokkal bonyolultabbak azonban, mint a szerves vegyületekkel táplálkozó heterotrófokéi. Sokkal valószínűbbnek látszik tehát az a feltevés, hogy a Földön először szerves anyagok keletkeztek abiogén úton, és azt használták fel a legegyszerűbb mikroorganizmusok, az autotróf mikroorganizmusok pedig csak a későbbi fejlődés során jöttek létre.

Hogy mi volt előbb, a szerves anyagok felhalmozódása, vagy pedig az élet megjelenése, annak eldöntésére fontos támpontot szolgáltatnak a csillagászati megfigyelések, és pedig a különböző kozmikus objektumok kibocsátotta fénynek a spektroszkópiai vizsgálata, melyből megállapítható, hogy a fényforrás összetételében milyen elemek és vegyületek vesznek részt. Ezek a vizsgálatok azt mutatják, hogy a szén és a szénhidrogének igen elterjedtek a Kozmoszban. A szén jelenléte kimutatható a forró csillagokban, köztük a Napban is, légkörükben pedig kimutatható szénhidrogényökök, például metin (CH) jelenléte. A nagyon alacsony hőmérsékletű kozmikus gáz- és porfelhők nagy mennyiségű hidrogén mellett tartalmaznak metánt és más egyszerű szénhidrogént.

A bolygók színképét vizsgálva a Jupiter és a Saturnus légkörében ammónia és metán jelenlétét észlelték, az Uranus és a Neptunus atmoszférájában pedig nagy mennyiségű metánt találtak. Szénhidrogényökök jelenlétét mutatták ki az üstökösökben is.

A meteoritok összetételét vizsgálva kiderült, hogy csaknem valamennyien tartalmaznak szenet, nagy részük pedig szénhidrogéneket is.

A felsorolt adatok azt bizonyítják, hogy a Világegyetemben a szén és az egyszerű szénhidrogének rendkívül nagymértékben elterjedtek, és minden okunk megvan annak feltételezésére, hogy a Földön is valamikor nagy mennyiségben volt alacsonyabb rendű szénhidrogén. Ez nem származhatott élőlényektől, abiogén úton kellett keletkeznie, valószínűleg elsősorban fémkarbidok és víz reakciója révén.

A szerves vegyületek abiogén fejlődése

A Földön végbement kémiai fejlődésről úgy kaphatnánk világos képet, ha ismernők a Föld keletkezésének történetét. Sajnos, a Naprendszer keletkezésére vonatkozó kozmogóniai elméletek közül még egyik sem vált általánosan elfogadottá. Ennek ellenére az ősföldön uralkodó viszonyok tekintetében meglehetősen egységes kép alakult ki. A kozmogóniai elméletek nagy része csak a kérdés fizikai oldalát taglalja. Éppen ezért jelentősek a holland Kuiper, valamint a Nobel-díjas amerikai Urey munkái, melyek nagy figyelmet szentelnek a bolygók kialakulása és fejlődése során lejátszódó kémiai folyamatoknak is. A Urey felvázolta elképzelés szerint, mely teljes összhangban van a rendelkezésünkre álló ismeretanyaggal, a Föld kialakulása után az atmoszféra metán és ammónia mellett vízgőzöket, kevés nitrogént és hidrogént tartalmazott. Kezdetben tehát a földi atmoszféra redukáló tulajdonságú volt, miként jelenleg a nagy bolygóké a Naprendszerben, és csak később vált a légkör oxidáló tulajdonságúvá. Ezt a feltevést alátámasztják Thode izotópvizsgálatai. A kénizotópok elterjedését vizsgálta különböző típusú természetes kénvegyületekben (szulfidokban és szulfátokban), és arra a következtetésre jutott, hogy a földi atmoszféra eredetileg valóban redukáló tulajdonságú kellett hogy legyen, és csak kb. 700—800 millió évvel ezelőtt vált oxidálóvá. Ekkor minden valószínűség szerint már volt élet a Földön és léteztek fotoszintézist végző növények.

A földkéreg kialakulása 4—5 milliárd évvel ezelőttre tehető. Az azóta eltelt idő legnagyobb részét a fejlődés kémiai szakasza tölthette ki, és feltehető, hogy 3—4 milliárd évet vett igénybe a bonyolultabb szerves vegyületeknek a kialakulása metánból, ammóniából, vízből, kénhidrogénből. E periódus vége felé jelenhettek meg az első szubvitalis rendszerek, és talán néhány százmillió évbe telt, míg kialakultak az első mikroorganizmusok. Az élőlények kialakulása gyökeres fordulatot jelentett a Föld történetében. A szerves vegyületek szintézisének hosszadalmas, abiogén útja helyét elfoglalta az anyagcsere-folyamatok során történő szintézis, majd a fotoszintézis. Ennek az lett a következménye, hogy az élőlények felélték az abiogén eredetű szerves vegyületeket, és valószínűleg a fotoszintézis elterjedése következtében az atmoszféra fokozatosan oxidáló tulajdonságúvá vált.

A szénhidrogének jelenléte a bolygók légkörében kétségtelenné teszi a szerves vegyületek abiogén létrejöttének a lehetőségét. A fejlődés felvázolt útja is valószínűnek tűnik. Mégis joggal tevődik fel a kérdés, vajon az élő szervezetek felépítésében részt vevő vegyületek keletkezése szénhidrogénekből egyáltalán lehetséges-e. A kérdés termodinamikai adatok alapján elvileg eldönthető. A kémiai termodinamika tanúsága szerint az alkoholok, aldehidek, karbonsavak, aminosavak és sok más fontos szerves vegyület képződési szabadenergiája kisebb, mint a szénhidrogéneké, ami azt jelenti, hogy ezeknek a vegyületeknek a képződése szénhidrogénekből termodinamikailag lehetséges folyamat. Ahhoz, hogy ezek a folyamatok valóban meg is valósuljanak, csak megfelelő körülményekre, energiaforrásra és katalizátorok jelenlétére van szükség. Az ősföldön a legfőbb energiaforrás valószí-

núleg a Nap ibolyántúli sugárzása volt, mely az ósatoszférán könnyen áthatolhatott, hisz még nem volt meg az az ózonréteg, amely jelenleg az ibolyántúli sugarak java részét elnyeli, és így megvédi a földi élőlényeket azok pusztító hatásától. Jelentős szerepet tölthettek be ezenkívül a légkörben lejátszódó elektromos kisülések, a vulkáni tevékenységből származó hőenergia, valamint a radioaktív kőzetek sugárzása.

Az utóbbi 10—15 évben számos nagy jelentőségű kísérletet végeztek, hogy bizonyítsák: az ősföld viszonyai között abiogén úton létrejöhetnek az élő szervezetek kialakulásához szükséges bonyolult szerves vegyületek. Megvizsgálták az aminosavak, peptidek, mono- és poliszaharidok, lipoidok, porfirinek, purin és pirimidin bázisok, nukleozidek, nukleotidek és nukleinsavak abiogén keletkezésének a lehetőségét.

A legalaposabban az aminosavak, peptidek és polipeptidek képződését tanulmányozták, mivel ezekből épül fel az élő sejtek alapanyaga, a *fehérje*. Az első ilyen irányú eredményeket Miller tette közzé 1953-ban és az utána következő években. Miller metánból, ammóniából, hidrogénből és vízgőzökből álló gázkeverékben hozott létre elektromos kisüléseket, és számos aminosav, köztük a természetes fehérjék felépítésében részt vevő glikokoll és alanin keletkezését figyelte meg. Keletkezett ezenkívül cianhidrogén, létrejöttek különböző aldehidek és karbonsavak. Eredményei nagy feltűnést keltettek. A következő években több angol, amerikai, szovjet és német kutató is hasonló eredményekre jutott. Számos kutató kezdte vizsgálni az ibolyántúli sugarak hatására történő aminosav-szintézist. Szénforrásként szénhidrogéneket, aldehideket, karbonsavakat használtak, nitrogénforrásként ammóniát, ammóniumsókat, hidrazint, nitrátokat, és számos aminosav keletkezését figyelték meg. Így például Bahadur paraformaldehid, nitrátok és ferriklorid vizes oldatát sugározta be ibolyántúli sugarakkal. A keletkezett reakcióelegyben a természetes fehérjék felépítésében részt vevő 20 aminosav közül 14-nek a jelenlétét sikerült kimutatnia.

Többen vizsgálták a radioaktív beta- és gamma-sugarak hatását, és hasonlóképpen sikerült megfigyelniük aminosavak keletkezését metánból, ammóniából, vízből, kénhidrogénből, ammóniumacetátból. Egyes kutatók vizsgálatai szerint aminosavak képződése hő hatására is bekövetkezhetik. Így például Oro metán, ammónia és vízgőz keverékét 1000°-os csöveken vezette át, és szintén aminosavak keletkezését észlelte.

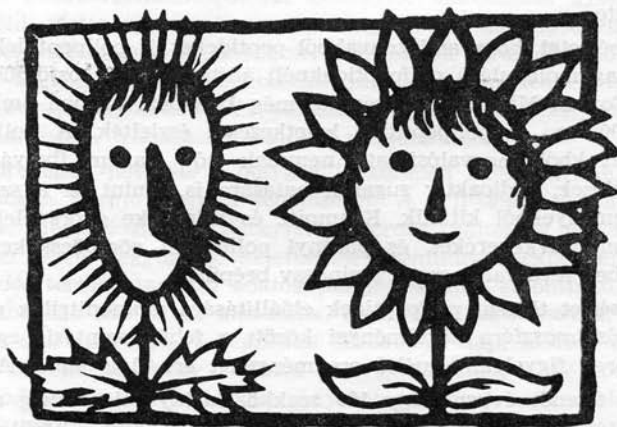
Az első kísérletet, hogy aminosavakból peptideket és polipeptideket (a fehérjék nem egyebek nagymolekulájú polipeptideknél) állítson elő az ősföldön uralkodó viszonyok közt, Fox és Middlebrook végezte még 1954-ben. Szabad aminosavakat hevítettek 160—190°-on, és polipeptidek keletkezését észlelték. A polipeptidek képződése aminosavakból megvalósítható nemcsak hő-, hanem ibolyántúli sugarak, elektromos kisülések, radioaktív sugarak hatására is, amint az a szakirodalomban megjelent közleményekből kitűnik. Krampitz és Wienecke gyors elektronokkal sugároztak be aminosavkeveréket, és parányi polipeptid gömböcskéket kaptak, melyekbe az elegyben levő valamennyi aminosav beépült.

Számos kísérlet történt polipeptidek előállítására aminonitrilek polimerizációja útján, ami az ósatoszféra körülményei között a fehérjeszintézis egyik lehetséges útja. Ezen a téren figyelemre méltó eredményeket ért el a japán Akabori.

Az utóbbi tizenöt évben vagy 100 szakközlemény jelent meg aminosavak és polipeptidek előállítására törekvő sikeres kísérletekről olyan körülmények között, amelyek a Földön uralkodhattak néhány milliárd évvel ezelőtt.

Több tíz dolgozat számol be más biokémiai szempontból fontos vegyület keletkezéséről az abiogén szintézis körülményei között. Ezek a vizsgálatok kétségtelenül bebizonyították, hogy az ősföldön jelenlevő anyagokból elektromos kisülések, különböző sugárzások, valamint hő hatására létrejöhetnek nagy mennyiségben azok a vegyületek, amelyek az élő szervezet felépítéséhez szükségesek, így elsősorban proteinek, poliszaharidok, lipoidok és nukleinsavak. Az említett kísérletek tehát nagyjából tisztázták a fejlődés kémiai szakaszát. Nyilvánvalóvá vált, hogy a távoli földtörténeti korokban nagy mennyiségű szerves anyag keletkezhetett abiogén úton. Sagan becslései szerint a szerves anyag mennyisége elérhette az 1 kg-ot egy négyzetcentiméter földfelületre számítva. Ennek a roppant mennyiségű anyagnak nagy részét az eső bemosta az ősoceánba, melyben így a szerves vegyületek koncentrációja elérhette Oparin szerint a 10%-ot is. Így létrejöttek azok a feltételek, amelyek lehetővé tették szubvitális rendszerek, az Oparin-féle koacervátok vagy a Fox-féle protenoid mikrogömböcskék keletkezését, amelyekből kifejlődtek az első élőlények.

Az élet eredetének a felderítésében kétségtelenül a legnehezebb kérdés a szubvitális rendszerek keletkezésének és fejlődésének felderítése. E területen az eredmények még távolról sem olyan jelentősek, mint a fejlődés kémiai szakaszának a felderítésénél. Itt is megszülettek azonban az első hipotézisek. Ezek részletes kidolgozása és ellenőrzése szorosan kapcsolódik a kolloidkémia és elsősorban a molekuláris biológia fejlődéséhez. Annyit mindenesetre már most megállapíthatunk, hogy az élettelen világot és az élőlényeket egymástól elválasztó szakadék fölött, mely néhány évtizede még szinte áthidalhatatlannak látszott, kezd megépülni a híd. A fejlődés kémiai szakaszának nagy vonalakban már megvalósult tisztázása a tudomány jelentős sikerének tekinthető. A szubvitális rendszerekkel kapcsolatban még számos kérdés megoldatlan, de meg lehetünk győződve arról, hogy már nem állunk messze az élet keletkezésének a végleges tisztázásától, és Oparin véleménye szerint az élet szintézise, mesterséges létrehozása már a viszonylag közeli jövőben megvalósulhat.



Gross Arnold rajza