

AZ ÉLŐ RENDSZEREK SZERVEZŐDÉSÉNEK VIZSGÁLATA I.

GÁNTI TIBOR

REANAL Finomvegyszergyár, Budapest

Az alapelvek

A tudomány története során sokan és sokféle úton próbálták az élő és élettelen közötti különbség lényegét megfogalmazni. Leeuwenhoek a baktériumok leírásánál a mozgást használta egyetlen életkritériumként. Csak 1826—27-ben mondta ki egymástól függetlenül Cagniard de La Tour és Theodor Schwann, hogy a nem mozgó gömbszerű élesztőtestek élőlények és Berzelius még 1839-ben is szembeszállt ezzel az állítással: „Yeast is a mere catalyst. It is no more living than a precipitate of alum.” (idézi MARQUAND, 1968).

A 19. században az élőlényeket felépítő speciális anyagokra terelődött a hangsúly (HUZELLA, 1933, HALL, 1969). Engels az életet a fehérjetestek létezési módjaként definiálta (ENGELS, 1963). A mai értelemben vett fehérjefogalom azonban csak a 20. század első éveiben alakult ki, amikor Hoffmeister és E. Fischer a peptidkötés természetét feltárták (BRUCKNER, 1961) és így ENGELS fehérjefogalma nem azonos a mai fehérjefogalommal. De ENGELS „A természet dialektikájában” részletesen kifejti, hogy mit ért fehérjefogalom alatt, s ez körülbelül a mi protoplazmafogalmunkkal egyezik meg (ENGELS 1963). A fehérjetestek létezési módja kifejezés tehát nem egy meghatározott vegyületféleség, hanem egy működő, bonyolult anyagi rendszer létezési módját jelenti. A protoplazmát jelölte meg az élet hordozójául többek között Rudolf Höber és Claude Bernard is (idézi KAHANE, 1965). A 20. században a DNS szerepének feltárásával ismét feléledt az élő anyag fogalma, olyannyira, hogy azokat a nem biológiai jellegű polimer molekulákat amelyeknél elkerülhető a polimerizáció folyamán a természetes terminálódás, élő polimereknek nevezték el. (SZWARC, 1970). Sokan a géneket, vírusnukleinsavakat élő anyagnak tekintik.

A 20. században egyre erősödik az a felismerés, hogy az élet egy speciális rendszer sajátossága. „A simple organism must consist of parts A, B, C, D and so on, each of which can multiply only in presence of all, or almost all, of the others” (HALDANE, 1934). E koncepció részletes kidolgozását Bertalanffy végezte el számos munkájában: az eredmények összefoglalása „Problems of Life” című könyvében található (BERTALANFFY, 1952). Az organizmikus koncepciónak számos követője akadt napjainkig (lásd pl. BLANDINO, 1969,

AGAR, 1951), sőt a rendszerelmélet, mint önálló tudományág kifejlődése lehetővé tette, hogy az élő rendszerek problémáit kifejezetten rendszerelméleti úton közelítsék meg. (J. G. MILLER, 1965a., 1965b., 1965c.). De azok akik nem rendszerelméleti úton vizsgálják az élet alapjelenségeit, az élőlények alapvetően rendszer voltát ugyancsak hangsúlyozzák (BERNAL, 1971, FRANK, 1962, BAUER E., 1967, PICKEN, 1960, LWOFF, 1962, KISZELY, 1970, stb.). Különösen világosan kitűnik az élőlény rendszer voltának középpontba állításának hasznossága a biológia és kibernetika igen gyümölcsöző kapcsolatának eredményeiből (STANLEY—JONES, 1960, SZENTÁGOTHAJ J., 1963, MILSUM, 1966 stb.).

Elfogadva kiindulási alapként azt, hogy minden élőlény rendszer, amely a nem élőtlől rendszerének speciális tulajdonságai következtében különbözik, e cikkben azokat a legalapvetőbb rendszertörvényeket veszem vizsgálat tárgyává, amelyek az élő rendszerek funkcionális szerveződését leírják. Az elmélet alapjai könyv alakban megjelentek (GÁNTI, 1971), bár az elmélet egyik alapvető gondolata, — az élő rendszerek két funkcionális alaprendszerre bontása — jóval korábban napvilágot látott (GÁNTI, 1966). Közvetlenül az elmélet publikálása után hasonló problémákat tárgyaló, de eltérő módszereket felhasználó elmélet került publikálásra MANFRED EIGEN tollából (EIGEN, 1971). Bár a két munka egymástól függetlenül készült, egymáshoz szorosan kapcsolódó, sőt egymást kiegészítik. EIGEN a problémák megoldását irreverzibilis kinetikával, tisztán fenomenológikus úton kíséri meg, kimondva, hogy az eredmények nem használhatók fel ilyen rendszerek konstruálására. A jelen dolgozatban ismertetett elmélet determinisztikus utat követ azzal az igénnyel, hogy ilyen rendszerek megkonstruálása irányába továbbfejleszthető legyen. Az EIGEN elmélet kiindulási alapja egy a kibernetikában használatos „fekete dobozzal” analóg információs doboz, amelynek a belső felépítését nem tárgyalja, de vizsgálja a viselkedését. A jelen elmélet olyan rendszerek determinisztikus leírását kívánja nyújtani, amelyek az „információs doboz” belső működésének megfelelőek.

Az ilyen rendszerek egzakt tárgyalása csak matematikai úton lehetséges és ez a biológiában is érvényes (ERNST J., 1971). A biológia matematizálása viszont nem nélkülözheti a biológia saját jelrendszerének kialakítását: a kvantummechanika matematikai apparátusa az összetettebb kémiai reakciók leírására túl bonyolulttá válik, s ezért a kémia kénytelen megmaradni saját jelrendszere mellett. De a kémiai jelrendszer a makromolekulák szintjén már alkalmazhatatlan, ezért a makromolekuláris kémia új jelrendszert vezetett be. Az élő rendszerek felé vezető bonyolultabb kémiai rendszerek tárgyalásánál mindezek nem bizonyulnak elégségesnek, ezért további új jelek bevezetése válik szükségessé. Az új jelek kialakításánál arra törekedtem, hogy lehetőleg továbbfejleszthetők legyenek egy speciális biológiai jelrendszer megteremtése felé.

Az élő rendszerek vizsgálatához mindenekelőtt azt kellene tudnunk, hogy mit és mikor tekinthetünk élőnek. E területen, amint azt számosan ki is mondják, meglehetősen zűrzavar uralkodik (RIZSKOV, 1962, KAHANE, 1965, HALDANE, 1934, MORISON, 1971). Ezért a már említetteken kívül is születtek javaslatok azokra a kritériumokra, amelyek vonatkozásában az élő alapvetően különbözik az élettelenektől. Van aki elfogadná a szaporodást (és az ebben inkluzíve bennelevő öröklődést) egyetlen kritériumnak, vannak akik Pasteur nyomán a termelt anyagok optikai aktivitását, mások a szénizotópok eloszlási arányát találják jellemzőnek. HALDANE igen sok szempontot vetett fel, róla írja MARQUAND, hogy 35 éven keresztül írt az élet természetéről és eredetéről és minden megjelent cikkében legalább egy új elképzelést felvetett. Mindezek arra utalnak, hogy a klasszikus életjelenségeket nem fogadhatjuk el kiindulási alapnak. Sőt, a molekuláris biológia az elmúlt 20 év folyamán olyan új felfedezések és szemlélet kialakításához vezetett, amelyeket az élet kritériumainak felállításánál semmi esetre sem lehet figyelmen kívül hagyni. Ezért nem kerülhető el az életjelenségek felülvizsgálata és új életkritériumok felállítása. Az életjelenségek kritikai vizsgálata eredményeiről egy későbbi közleményben számolok be.

Az életkritériumok

Az élet összetett *folyamat*, amely speciális *anyagi rendszerben* megy végbe. Az élet tehát nem valamely anyagfajta (pl. nukleinsav vagy fehérje), hanem egy anyagi rendszer sajátossága és csak az a rendszer és csak akkor tekinthető élőnek, amiben és amikor a speciális folyamatok végbemennek. E folyamatok jellegzetes jelenségeket, az ún. életjelenségeket eredményezik, amelyek alkalmasak arra, hogy az élő rendszereket az élettelenről megkülönböztessük s így az élet kritériumaként használjuk.

Azoknak a kritériumoknak, amelyek segítségével az élő és élettelen rendszereket megkülönböztetjük:

a) Minden élőlényre jellemzőek kell hogy legyenek a legegyszerűbbtől a legbonyolultabbakig;

b) Bár az egyes jelenségeket külön-külön élettelen rendszerek is mutathatják, ezek összességével csak élő rendszerek rendelkezhetnek. (DANTEC, 1910)

A javasolt kritériumok

1. *Az a rendszer, amelyik a fenti folyamatok produkálására képes, lehet működő és működőképes, de nem működő állapotban.*

Működő állapotukban e rendszerek *élnek*, működőképes állapotban *nem élnek, de életképesek*. Ez utóbbi állapot jelenti a latens életnek, klinikai halálnak, nyugvó magvaknak, tojásnak, petének, beszáradt mikroorganiz-

musoknak, jégbefagyott élőlényeknek megfelelő állapotot, feltehetően ilyen állapotban vannak a lombhullató növények télen. A rendszerben bekövetkező olyan irreverzibilis változás, amelyik azt működésképtelenné teszi, jelenti a halált.

2. Az életet hordozó rendszernek belső lényegéből fakadóan (inherensen) egységnek kell lennie.

Egy rendszert akkor tekinthetünk egységnek, ha tulajdonságai (rendszer voltából eredően) nem tehetők össze additív módon részeinek sajátosságaiból, és nem osztható olyan részekre, amelyek a rendszer egészének a tulajdonságait viselik. AGAR az előbbit (AGAR W. E., 1951), BERTALANFFY az utóbbit hangsúlyozza (BERTALANFFY, 1952) amikor a rendszer egységéről beszél.

A biológiában az egység általában a térbeli elkülönítettség fogalmához kapcsolódik. De az egység térbeli elkülönítettsége a biológiában sem szigorú következetességgel valósul meg. Az állatvilágban összenőtt ikrekkel találkozunk. Ismeretesek olyan halak, amelyben a hím rátapadva a nőstény testére azzal úgy egybenő, hogy még vérkeringésük is összekapcsolódik (WENDT, 1965). Az indiai fügefá az ágai végéből lelógó léggyökereken keresztül új fákhoz létre s a kalkuttai növénykertben több mint egy hektárnyi kiterjedésű olyan erdőt hoztak létre, amelyben minden fa összefügg az előzővel (HUXLEY J., 1936). A mikroszkópos szintet vizsgálva kiderül, hogy a szervezet sejtjei között gyakran plazmahidakat találni, amelyek a membránokon áttörve kontinuitást hoznak létre az egyes sejtek között (AGAR, 1951), és úgynevezett kapuk (gap) biztosítják a metabolikus kommunikációt a szeparált sejtek között is (GILULA et al, 1972).

Az egység fogalma tehát még klasszikus biológiai értelmezésben sem érthető kizárólagosan térbeli zárttsággént s ha a molekuláris szintet nézzük, ez a határ tovább bomlik, hiszen a szervezet sejtjei között állandó molekulacsere van, s a molekulák többségéről nem lehet kijelenteni, hogy azok valamelyik sejthez tartoznának végérvényesen. A rendszert és a rendszer egységét funkcionálisan kell felfogni s a funkcionális egységnek magából a rendszer felépítéséből kell következnie.

3. Az élő rendszernek anyagcserét kell folytatnia.

Anyagcsere alatt azt értjük, hogy a rendszer szempontjából külsőnek tekinthető környezetből különböző vegyületek, anyagok, esetleg energia jutnak aktív vagy passzív módon a rendszerbe, a rendszert alkotó anyagokkal kémiai reakciókba lépnek, a reakciók termékei a rendszer belső anyagainak szabályozott termelését és energiaellátását eredményezik és a felesleges termékek a rendszerből aktív vagy passzív úton eltávoznak.

4. *A rendszernek homeosztatisz részrendszert kell tartalmaznia.*

A homeosztázis azonban csak a külső-belső változások észlelésén és az azokra adott aktív válaszok révén, vagyis az ingerlékenységen keresztül valósulhat meg. *A homeosztázis kritériuma tehát az ingerlékenység kritériumát is magában foglalja.*

Külön kell definiálnunk, hogy mit értünk homeosztatisz részrendszer alatt. Annak ellenére, hogy a fogalom megalkotása óta a biológiában és a kibernetikában egyaránt sokat foglalkoztak a homeosztázissal, biológiai mibenléte nem tisztázott. Ezért itt a homeosztatisz tulajdonság meglétének eldöntésére *olyan általános kritériumot kell választanunk, melyet ha a rendszer teljesít, akkor biztosan homeosztázisban van.* A kritérium állandósági kritérium lesz, mert egy működő rendszer akkor van homeosztázisban, ha a külső körülmények változása ellenére a belső körülmények időben állandóak. (Finomabb vizsgálattal ez az állandóság egy normálérték körüli oszcilláció is lehet.) Biokémiai és biofizikai rendszerekről lévén szó, állandósági kritériumnak a szabadenergia állandóságát célszerű választani. *Így ha egy folyamatrendszer tartalmaz olyan részrendszert, amelyre nézve igaz, hogy*

$$\Delta F_H = 0 \quad (1)$$

ahol ΔF_H a homeosztatisz részrendszer szabadenergia változása, akkor az a folyamatrendszer homeosztatisz képességgel — és egyben ingerlékenységgel rendelkezik.

Az ingerlékenység ebben a megfogalmazásban annyit jelent, hogy az élő organizmus a külső környezet változásaira éppen homeosztatisz rendszere segítségével reagál úgy, hogy a hatást külső anyagok átalakítása révén nyert energiaváltozás segítségével kompenzálja, miközben homeosztatisz rendszere változatlanul egyensúlyban marad. Itt szükséges megjegyezni, hogy a klasszikus termodinamika nem egyensúlyi állapotban levő rendszerekre szigorúan nem érvényes, és így a homeosztázis kritériumának irreverzibilis termodinamikai vizsgálatát is szükséges elvégezni. A jelen dolgozatban az élő rendszerek energetikai és termodinamikai tulajdonságait nem tárgyaljuk, ez későbbi munkák feladata.

5. *Az élő rendszernek időbeli programot biztosító részrendszert kell tartalmaznia.*

Az élőlényekben lezajló folyamatok egy része meghatározott időbeli sorrendiséget (pl. mitózis, differenciálódás), valamint sajátidőt (pl. generációs idő) mutat.

6. *Az élő rendszernek belső szabályozó mechanizmussal kell rendelkeznie, ami a genetikai információ és a homeosztatisz részrendszer összműködését biztosítja.*

7. Az élő rendszernek a rá vonatkozó genetikai információkat részrendszerében kell tudnia tárolni.

Bizonyos értelemben minden rendszer hordozza a saját felépítésére és működésére vonatkozó információkat. Az élő rendszerek speciális — és a természetben egyedülállónak látszó — sajátossága, hogy tartalmaznak egy olyan részrendszert, a genetikai állományt, amely nemcsak a részrendszerre vonatkozóan, de a rendszer egészére nézve is hordoz információkat.

Lehetséges, hogy ez utóbbi három kritériumot ugyanaz a részrendszer is teljesítheti, a prokariotákban pl. a DNS-metabolizmus feltételezhetően mindhárom funkciót kielégíti. A gerincesekben a programozó rendszer nagyrészt ismeretlen, a szabályozó szerepet főként az idegrendszer és a hormonális rendszer tölti be, míg a genetikai információátrolást és reprodukálást változatlanul a DNS végzi.

8. Növekedés-szaporodás.

Egyetlen kritériumba azért lettek összevonva, mert nem mindig függetleníthetők egymástól. Az egysejtűeknél a növekedés a szaporodási folyamat egy része, a soksejtűek növekedése viszont alapjaiban sejtjeik szaporodásából ered.

9. Öröklődő változékonyság.

Az öröklődést a szaporodás inkluzíve magában foglalja. A szigorúan vett öröklődés azonban csak homológ populációk kialakulására adna lehetőséget, ezért az élővilág kifejlődéséhez az öröklődő változékonyság jelenléte is nélkülözhetetlen.

10. Evolúcióképesség.

Az öröklődő változékonyság kritériuma nem tartalmaz kikötést arra vonatkozóan, hogy a létrejött változatok életképesség szempontjából egyenértékűek-e. Ezért az evolúcióképességet külön kritériumként szükséges kezelni s ez azt jelenti, hogy létrejött változatok között adott körülmények esetén életképességi különbségek lehetnek, az egyik a másik rovására képes túlszaporodni.

Az élő rendszer definíciója

A fenti életkritériumok a hely- vagy helyzetváltoztató mozgás kivételével az összes klasszikus életjelenséget magukban foglalják, de egyrészt azokat is szigorúbb megfogalmazásban, másrészt olyan új kritériumokat is tar-

talmaznak, amelyeket a molekuláris biológia eredményei sugallnak számunkra. Így azt állíthatjuk, hogy ezek az életkritériumok több kötöttséget tartalmaznak az élő rendszerekre vonatkozóan, mint a klasszikus életjelenségek.

Megvizsgálva e tíz életkritériumot kitűnik, hogy azok két csoportba sorolhatók. Az első csoport (1–7) olyan, amellyel minden élőlénynek minden időpontban rendelkeznie kell. Még időszakosan sem képzelhető el olyan élőlény, amelyik nem rendelkezik a homeosztázis, vagy az anyagcsere képességével, vagy amelyik nem hordozza a rendszerre vonatkozó információkat, vagy szabályozás nélkül működne. Minthogy e hét kritérium képességének egyidejű jelenléte abszolút módon szükséges minden egyed életéhez, ezeket abszolút életkritériumoknak nevezzük.

A fennmaradó három kritérium abszolút módon szükséges az élővilág kifejlődéséhez és fennmaradásához, de az egyedi életnek nem kritériumai. Az ivartalanított állatok potenciálisan is szaporodásképtelenek, a kiöregedett szervezetek sem a növekedés, sem a szaporodás képességével nem rendelkeznek, mégis élnek. Az öröklődő változékonyságról és evolúcióképességről ez szemléleti úton látható be. Minthogy a 8–10. kritérium nem az egyedi életnek, hanem csak az élővilágnak, az élővilág létének kritériumai, ezeket az abszolút életkritériumokkal szembeállítva *potenciális életkritériumoknak* nevezzük.

Ha a potenciális életkritériumok az egyedi életnek nem kritériumai, akkor minden olyan rendszer, amely az abszolút életkritériumokat kielégíti élő rendszer, függetlenül a rendszer konkrét felépítési módjától, beleértve a rendszer anyagát képező vegyületfajtákat is. Ez a definíció a továbbiakban kifejtendő elmélet kiindulási alapja. E definíció egyben lehetővé teszi, hogy az élet törvényszerűségeit annak konkrét megvalósulási módjától (pl. a földi élet mai formájától) elvonatkoztatva, teljes általánosságban tárgyaljuk.

Az élő rendszerek hierarchiája

A definíció birtokában sem lehet az egész élővilágra kiterjedő egységes szerveződési törvényeket felállítani, mert az élővilágban a szerveződésnek legalább két szintje fordul elő. A soksejtűek olyan élő rendszerek, amelyeknek az elemei maguk is élő rendszerek, s így szerveződési törvényeiknek egyszerűbb élő rendszerek bonyolultabbakba való szerveződésére kell vonatkoznia. Swannak ezt a felfedezését Engels a biológia egyik legnagyobb eredményeként emlegeti (ENGELS, 1963). Hertwig továbbmenve 3 szerveződési szintet feltételez (HUZELLA, 1933). A kétszeres szerveződés elve végigvonul a biológiai irodalmon (HALDANE, 1934, HALL, 1969, LAURENCE, 1960, AGAR, 1951 stb.), a biológusok azonban vizsgálataiknál ettől gyakran eltekintenek. Bár az életkritériumoknak mindkét szervezettségi szintre helytállóknak kell lenniük, a két szint rendszereire eltérő szerveződési törvények vonatkozhatnak.

(MÜLLER, és GÁNTI, 1971). A jelen dolgozatban a második szinttel, az úgynevezett szekunder élet szerveződési törvényeivel nem foglalkozunk.

Az utóbbi időben számos jel mutat arra, hogy a sejt — vagy a sejtek egy része — maga is tartalmaz további élő egységeket, a mitokondriumokat (RAVEN, 1970, FLAVELL, 1971) és a kloroplasztokat (RIDLEY és LEECH, 1970). Mivel a kérdés még nem egyértelműen tisztázott, ettől eltekintve a továbbiakban a sejteket olyan élő egységeknek tekintjük, amelyek további élő egységekre már nem bonthatók fel. Az ilyen rendszereket a továbbiakban *primer élő rendszereknek* nevezzük.

Bár a felsorolt életkritériumok minden élő rendszerre nézve igazak, a továbbiakban a definícióra támaszkodva csak a primer élő rendszerek szerveződési törvényeit vizsgáljuk.

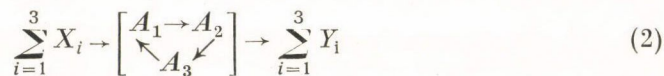
Homeosztatisztikus kémiai reakciórendszer

Egy homeosztatisztikus kémiai reakciórendszernek az életkritériumok közül az 1. és 4. pontot kell kielégítenie azzal a megszorítással, hogy a folyamatoknak kémiai folyamatoknak, kémiai reakcióknak kell lenniük. Ez a kritérium maga után vonja, hogy a homeosztatisztikus kémiai reakciórendszernek *nyílt* rendszernek kell lennie. A 4. pontban a homeosztázis feltétele,

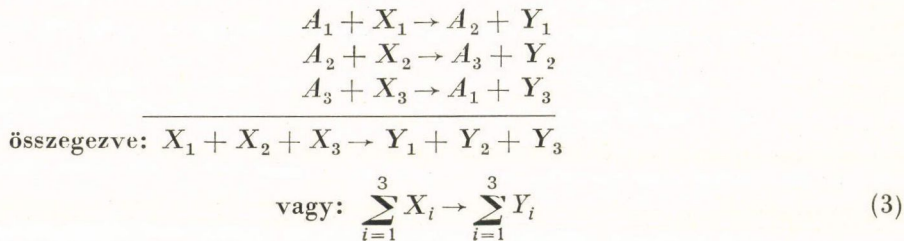
$$\Delta F_H = 0$$

a feltétel csak *zárt* (de nem izolált) rendszerre nézve állhat fenn. A két feltétel egyszerre csak úgy teljesíthető, ha a homeosztatisztikus reakciórendszer egésze *nyílt*, de tartalmaz zártnak tekinthető és a homeosztázist biztosító részrendszert. Ezt a kémiai körfolyamatok teljesítik.

Vizsgáljuk meg az alábbi, háromtagú reakcióciklust:



ahol X_i a kiindulási anyagokat, Y_i a reakciótermékeket, A_i pedig a körfolyamat belső komponenseit jelenti. A rendszer az alábbi részfolyamatokra bontható:



Az összegezésből világosan kitűnik, hogy a rendszer működése két folyamatra választható szét: az $X_i \rightarrow Y_i$ átalakulásra, amely nyílt folyamat és a rendszer működéséhez szükséges energiát szolgáltatja, továbbá az összegezésben meg sem jelenő $A_i \rightarrow A_i$ körfolyamatra, amelyből anyag ki- és belépés nincsen, s így zártnak tekinthető része a folyamatrendszernek. Mivel e zárt folyamatrészt egy körülfordulás után minden szempontból *eredeti állapotába* tért vissza, tehát többek között az is felírható rá, hogy

$$\Delta F_{A_i \rightarrow A_i} = 0 \quad (4)$$

vagyis a ciklikus mag a homeosztatisztikus feltételt, a negyedik életkritériumot teljesíti. De teljesíti az 1. életkritériumot is, mert a ciklikus rész anyagai nem tudnak elfogyni, így az X_i -vel jelölt kiindulási anyagok elfogytával ezek megmaradnak, s újabb X_i anyagok hozzáadásával a reakcióciklus újra megindul. Ennek a rendszernek tehát van működőképesség, de nem működő állapota is.

Bizonyítható, hogy e megállapítások tetszőleges n tagú reakcióciklusra, vagy bármely zártvonalú reakcióhálóra nézve igazak (GÁNTI, 1971). Ebből következik, hogy minden megcsapolás nélküli kémiai körfolyamat egységesen viselkedő, külső behatásokra válaszoló, önmagát stabilizáló folyamatrendszer, ahol a ciklikus mag az $X_i \rightarrow Y_i$ átalakulásra nézve specifikus katalizátor szerepet tölt be.

Az autokatalitikus reakcióciklus

Az egyszerű homeosztatisztikus reakcióciklus bár a külső anyagokat kémiai úton átalakítja, anyageserét nem folytat, mert a kémiai reakciók nem eredményezik a belső anyagok szabályozott termelését. Erre az autokatalitikus reakcióciklusok képesek (GÁNTI, 1970/a). Az utóbbi időben az autokatalitikus reakció kifejezést többféle értelmezésben használják. Itt autokatalitikus rendszer alatt azt értjük, hogy a rendszer működése során magához hasonló rendszereket termel és a folyamatot a rendszer jelenléte katalizálja. Az autokatalitikus folyamat jellegzetesen gyorsuló folyamat.

Vizsgáljuk meg az alábbi egyenlettel leírható működésű reakciórendszert:

$$\sum_{i=1}^k X_i + \sum_{i=1}^k A_i \xrightarrow{A} \sum_{i=1}^k A_i + L + \sum_{i=1}^k Y_i \quad (5)$$

ahol az egyenlet két oldalát összekötő $\xrightarrow{A}$ jel azt jelenti, hogy a folyamat A_i anyagból felépülő körfolyamatokon keresztül megy végbe. Az egyenlet jobb oldalán levő L anyag további reakciókon keresztül A_i anyaggá tudjon átalakulni:

$$L \rightleftharpoons \dots \rightleftharpoons A_i + P \quad (6)$$

Az így nyert A_i természetesen további reakciókon keresztül bármelyik A_i -vé ($i = 1, 2 \dots k$) át tud alakulni, mintegy pool-t képezve, amelynek eredményeképpen az A_i -kből $\sum_i A_i$ lesz.

Az (5) és (6) összevetéséből megkapjuk az autokatalitikus reakcióciklus reakcióegyenletét:

$$\sum_{i=1}^k X_i + \sum_{i=1}^k A_i \xrightarrow{A} 2 \sum_{i=1}^k A_i + P + \sum_{i=1}^k Y_i \quad (7)$$

A (7) egyenletben leírt folyamatrendszerben a reakciók a belső anyagok (A_i) szabályozott termelését eredményezik. A szabályozás legegyszerűbb esetben (pl. malát ciklus) azt jelenti, hogy a ciklus egy körülfordulás során egyszer reprodukálja önmagát. Más esetekben a viszonyok bonyolultabbak, a Calvin-ciklusnál pl. a ciklus hatszoros körülfordulása eredményez egyszeres újratermelést.

Az autokatalitikus reakcióciklus tehát a rendszer szempontjából külső anyagok kémiai átalakítása révén a rendszer belső anyagainak szabályozott termelését és a rendszer működéséhez szükséges energiaellátást eredményezi, vagyis az *anyagcsere megadott definícióját kielégíti*.

Azáltal, hogy az autokatalitikus reakcióciklus növeli belső anyagainak mennyiségét, érvénytelenné válik rá az egyszerű reakcióciklusok homeosztázisát leíró (4) összefüggés. Külön meg kell tehát vizsgálni a homeosztatikusság feltétel érvényességét. Az autokatalitikus reakció termékmennyiségét leíró összefüggés szerint a reakció logaritmikus szakaszában érvényes, hogy:

$$\sum_{i=1}^k A_{i(t)} = \sum_{i=1}^k A_{i(0)} 2^{\frac{t}{T}} \quad (8)$$

ahol $\sum_{i=1}^k A_{i(t)}$ a ciklus össz-anyagmennyiségét jelenti a t időszakban, $\sum_{i=1}^k A_{i(0)}$ ugyanezt a nulla időpontban, T pedig az anyagmennyiség megduplázódásához szükséges időtartam. A ciklikus mag szabadenergia változása az újonnan keletkezett belső anyagok szabad energiatartalmából ered, vagyis egyetlen körfolyamatra nézve

$$\Delta F_{A_1 \rightarrow 2A_1} = F_{A_1} \quad (9)$$

illetve minthogy az A_1 átalakul a ciklus többi tagjaivá

$$\Delta F_{-\rightarrow} = F_{\Sigma A_i} \quad (10)$$

Ha a koncentrációváltozásból adódó szabadenergiaváltozástól eltekinünk (ez a sejtre nézve igaz, mert ott az anyagfelhalmozódás térfogatnöveke-

déssel jár), az egyes anyagok standard szabadenergia tartalma azok mennyiségével arányos:

$$F_{\Sigma A_i} = K \sum_{i=1}^k A_i \quad (11)$$

és a ciklikus mag szabadenergia változása arányos lesz az anyagszám változásával. Ezért a ciklus szabadenergia tartalma a logaritmikus fázis t időpontjában:

$$F_{\Sigma A_{i(t)}} = F_{\Sigma A_{i(0)}} 2^{\frac{t}{T}} \quad (12)$$

ahol $F_{\Sigma A_{i(0)}}$ a ciklus szabadenergia tartalma a t , $F_{\Sigma A_{i(0)}}$ pedig a nulla időpontban. A (8) és (12) egyenletek összevetéséből következik, hogy

$$\frac{F_{\Sigma A_{i(t)}}}{\sum_{i=1}^k A_{i(t)}} = \frac{F_{\Sigma A_{i(0)}}}{\sum_{i=1}^k A_{i(0)}} \quad (13)$$

vagyis a ciklus anyagainak egységnyi mennyiségére eső (pl. moláris) szabadenergia változás az autokatalitikus reakcióciklus esetén is zérus.

A pozitív visszacsatolású (autokatalitikus) reakcióciklus tehát belső stabilitását, homeosztázisát annak ellenére megtartja, hogy anyagcserét folytat és növekedik, hiszen belső magjának moláris szabadenergia változása zérus.

Az autokatalitikus reakcióciklus az 1., 2., 4. és 5. életkritériumokat kielégíti.

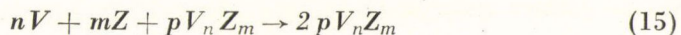
Információtárolás és reprodukálás

Információtárolás és reprodukálás templát reakcióval történő polimerizáció segítségével valósulhat meg. Ennek elvileg legegyszerűbb módja a homopolimerek autotempláton történő szintézise:



ahol V a monomer, pV_n a templát tulajdonságú n tagú polimer. Ez a molekula pusztán monomerjeinek számával (n) hordoz információt.

Nagyobb információtárolási lehetőséggel rendelkezik a kétféle alegységből felépülő random polimer:



ahol V és Z a monomereket, n és m pedig a $pV_n Z_m$ kopolimer makromole-

kulába beépült egyes monomerek számát jelentik. Ez a molekula a monomerek számán kívül a *kétféle monomer arányában* is képes információt hordozni.

Ha a $pV_n Z_m$ makromolekulának nemcsak összetétele, de a *monomerek sorrendje* is meghatározott, az információtárolás kapacitása gyakorlatilag végtelen nagyra nő.

A chemoton

Válasszuk ki az autokatalitikus reakcióciklust és a templát reakciót úgy, hogy a (6) egyenlet jobboldalán szereplő P anyag további reakciókon keresztül V anyaggá tudjon átalakulni:



Ily módon összekapcsolva az autokatalitikus reakcióciklust a templát reakcióval, olyan rendszerhez jutunk, amelynek működését a (6), (7), (14) és (16) egyenletek egyesítése révén tudjuk leírni:

$$[pV_n + n \sum_{i=1}^k A_i] + n \sum_{i=1}^k X_i \xrightarrow{A} 2[pV_n + n \sum_{i=1}^k A_i] + n \sum_{i=1}^k Y_i \quad (17)$$

A zárójelen belüli rész az egyesített rendszer belső anyagait tartalmazza. Mint a körfolyamat-jelbe írt számból látható, a rendszer a ciklus egyszeri körülfordulása során minőségi és mennyiségi viszonyaiban egyaránt reprodukálja önmagát, egy a kiindulásival teljesen azonos, újabb komplett rendszert hozva létre.

Külön meg kell vizsgálni, hogy a pV_n makromolekulának ebben az esetben van-e információhordozó funkciója a rendszer egészére nézve? Ebből a célból állítsunk fel egy olyan rendszert, amelyben a pV_n makromolekulához nem n -szer, hanem csak egyszer $\sum A_i$ -t rendelünk, vagy másképpen fogalmazva, a (17) egyenlet kiindulási rendszeréből vegyünk el $(n-1) \sum_{i=1}^k A_i$ -t. A visszamaradó csonka rendszer:

$$[pV_n + \sum_{i=1}^k A_i] \quad (18)$$

Ha ehhez a rendszerhez hozzáadjuk a $\sum X_i$ tápanyagokat, az $A_i \rightarrow A_i$ körfolyamatnak nem egyszer, hanem n -szer kell körülfordulnia ahhoz, hogy a pV_n polimerizációjához szükséges n számú V monomer molekula képződjön:

$$[pV_n + \sum_{i=1}^k A_i] + \sum_{i=1}^k X_i \xrightarrow{n} [pV_n + \sum_{i=1}^k A_i] + [pV_n + n \sum_{i=1}^k A_i] + n \sum_{i=1}^k Y_i \quad (19)$$

A (19) egyenlet világosan mutatja, hogy a képződött (és az egyenlet jobboldalán a második szögletes zárójellel kiemelt) új rendszer mennyiségi viszonyai nem a kiindulási rendszer mennyiségi viszonyainak, hanem a pV_n makromolekulába zárt mennyiségi információknak felelnek meg. A pV_n makromolekula tehát az egész rendszerre vonatkozó információkat öröklődő módon magában hordozza, és ezzel kielégíti a hetedik életkritériumot is. Amellett, homeosztatikus körfolyamata révén kielégíti az 1., 3. és 4. kritériumot is.

Az öröklődő információk behozatala meghatározza a rendszer tulajdonságait és mennyiségi viszonyait. Öröklődő módon előírja, hogy egy darab pV_n makromolekulához n darab A_1 molekula tartozik. Így módon ez a rendszer belső felépítése következtében alkot egységet, és kielégíti a második életkritériumot is.

E rendszerben a belső program a homeosztatikus rendszerrel a (6), (14) és (16) egyenletekkel jellemzett folyamatok által össze van kötve s így a homeosztatikus részrendszer működését nemcsak a külső körülmények, hanem a belső polimerizációs folyamat, az öröklődő információkat hordozó anyag reprodukciója is szabályozza. Ezáltal a belső szabályozás elemei is megjelennek a rendszerben. A rendszer a 6. életkritériumot is kielégíti.

Miután a rendszer meghatározott egységet képez, a rendszer belső anyagainak szabályozott termelése nem pusztán a belső anyagok mennyiségének növekedését, hanem a rendszer megkettőződését, négyeszerződését stb. eredményezi, a rendszer szaporodik és ezzel a nyolcadik életkritériumnak is eleget tesz.

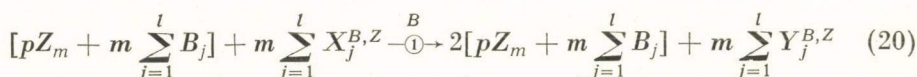
Végül a szaporodás megjelenésével kialakult a rendszer szaporodási „sajátideje”, generációs ideje, az újonnan szintetizálódott pV_n makromolekulának a templátról való leválása pedig az időbeli programozás alapelemét hozta be a rendszerbe, s ezzel az ötödik életkritérium is kielégítést nyert.

Megállapíthatjuk tehát, hogy a (17) egyenletnek megfelelően működő kémiai rendszer mind a hét abszolút életkritériumot kielégíti (sőt az egyik potenciális kritériumot is), és így kiindulási definíciónk szerint az ilyen rendszert élő rendszernek kell tekintenünk. Minthogy ez az elképzelhető legegyszerűbb élő rendszer, ennek mint az élet kémiai alapegységének a chemoton elnevezést adjuk.

Itt rögtön ki kell hangsúlyozni, hogy a chemoton semmi esetre sem tekinthető élőlénynek, hanem csak élő kémiai rendszernek, mert az élőlényhez feltétlenül hozzátartozik annak térbeli, morfológiai strukturáltsága. Nem élőlény tehát, hanem kémiai rendszer. Ez a rendszer azonban mutatja az élők összes általános, alapvetően jellemző funkcióját, kielégíti az összes abszolút életkritériumot, tehát a felállított definíció értelmében élő rendszernek kell tekinteni. Ugyanakkor arra is rá kell mutatni, hogy a pV_n makromolekula már a geometriai strukturálódás csíráját jelenti a rendszerben.

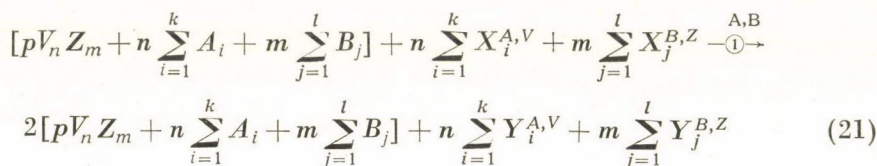
A mutatív chemoton

A chemoton felépítésénél feltételeztük egy pV_n makromolekula és egy hozzátartozó $A_i \rightarrow 2A_i$ homeosztatisz reakcióciklus létét. Vegyünk most egy ehhez hasonló, de vele nem azonos pZ_m makromolekulát, amelyet egy $B_j \rightarrow 2B_j$ autokatalitikus reakcióciklussal lehet összekapcsolni. Ez utóbbi rendszer működését a (17) analógiájával a következő módon lehet leírni:



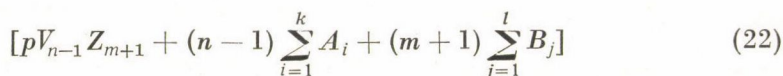
ahol a B, Z felső index arra utal, hogy a kérdéses vegyületek a $B_j \rightarrow 2B_j$ autokatalitikus reakcióciklus reakciópartnerei, amelyek egyúttal a Z monomerek termeléséhez is vezetnek.

A (20) egyenlet a (17) egyenlettel teljesen analóg chemoton működési elvét írja le. Kapcsoljuk össze a kétféle chemoton egyetlen rendszerre azáltal, hogy a V -kből és Z -kből egy $pV_n Z_m$ kopolimer információhordozó makromolekulát alakítunk ki úgy, hogy templát tulajdonsága megmaradjon. Az egyesített rendszer működését leíró egyenlet:



ahol az A_i a V -t termelő, a B_j a Z -t termelő autokatalitikus körfolyamat intermedierei, az $X_i^{A,V}$ és $X_j^{B,Z}$ az A és V illetve a B és Z típusú anyagok anyagcseréjéhez szükséges külső anyagok, az $Y_i^{A,V}$ és $Y_j^{B,Z}$ ugyanezen anyagok anyagcseréjénél keletkező hulladékanyagokat jelentik.

A (21) reakcióegyenletből leolvasható, hogy a rendszerben az $\sum A_i$ és a $\sum B_j$ anyagok aránya örökletesen a $pV_n Z_m$ makromolekula monomerösszetételétől, azaz az n és m értékétől függ és a rendszer minősége az $n = 0$ és $m = 0$ szélső értékek között bármilyen értéket felvehet azzal a megszorítással, hogy n és m csak pozitív egész szám lehet. Az $n = 0$ feltétel esetén a (21) a (20)-al, az $m = 0$ feltétel esetén pedig a (17)-el válik azonossá. Ha tehát a makromolekula reprodukciójába egy hiba csúszik és például a keletkező új makromolekula összetétele $pV_{n-1} Z_{m+1}$ lesz, akkor ez a makromolekula örökletesen olyan új rendszerek szaporodását irányítja, amelyek összetétele:



Az ilyen felépítésű rendszer tehát az öröklődő változás képességével is rendelkezik és ezért mutatív chemotonnak nevezzük.

A mutatív chemoton tehát nemcsak az abszolút életkritériumokat elégti ki, de a potenciális életkritériumok közül is kielégít kettőt. Annak a vizsgálata, hogy a keletkezett változatok a környezet szempontjából egyenértékűek-e, vagyis a mutatív chemoton evolúcióképességének a vizsgálata folyamatban van.

A mutatív chemotonban a pV_nZ_m információhordozó makromolekulának csak az összetétele által hordozott információk kifejeződését vizsgáltuk. Pedig a templáton történő reprodukcióból nyilvánvalóan következik, hogy nemcsak összetétele, de a kétféle monomer random sorrendje is reprodukálódik a szaprodnál, tehát maga a makromolekula sokkal nagyobb mennyiségű információ hordozására képes, mint amit a mutatív chemoton hasznosítani tud. Ez az információ azonban a chemoton rendszerben még nem hasznosítható, ennek hasznosítása a specifikus katalitikus funkciót betöltő, meghatározott monomerszekvenciájú közvetítő makromolekulákon, a földi típusú élő rendszerekben a fehérjéken keresztül valósulhat meg.

Diszkusszió

Chemoton — enzim nélkül

Kiindulva abból a definícióból, hogy az a rendszer, amelyik az abszolút életkritériumokat kielégíti élő rendszer, kémiai reakciókból, mint elemekből szerveztünk olyan elvi funkcionális rendszereket, amelyeknek — éppen rendszer voltukból eredően — a kémiai sajátosságokon túlmenően, biológiai jellegű sajátosságaik vannak és a kiindulási definíció szerint élőknek tekintendők. E rendszerek — a chemotonok — az élőlényekkel ellentétben a feltételezés szerint működésükhöz nem igénylik a specifikus enzimek közreműködését, a működésüket leíró egyenletek függetlenek attól, hogy a reakciók specifikus vagy aspecifikus katalizátorok jelenlétében, vagy anélkül zajlanak-e le. Ez annak a természetes következménye, hogy az egyenletek nem kinetikus egyenletek, hanem rendszertörvények, s a katalízisnek csak az egyébként is lehetséges reakciók többé-kevésbé szelektív gyorsításában van csak szerepe.

Mivel azonban minden ma ismert élő rendszer meghatározott aminosav-sorrendű enzimek specifikus katalitikus hatásai révén működik, szükséges annak alátámasztása, hogy a chemotonok valóban működőképes rendszerek. A teljes bizonyítást a kivitelezett szintézis adhatja csak meg, valószínűsítése most is elvégezhető azáltal, hogy megvizsgáljuk: *a)* enzimek távollétében a reakciók nem végtelen lassan futnak-e és *b)* hogy a lehetséges reakcióutak közül a kívántak mennek-e végbe.

A választ mindkettőre a kémiai evolúcióval kapcsolatos kísérletek sokaságában találjuk meg. E kísérletek egyértelműen bizonyították, hogy az ősföld

redukáló atmoszféráját szimulálva néhány napos kísérletben tizes nagyságrendnek megfelelő százalékos hozammal lehet enzimek közreműködése nélkül nyerni aminosavakat (MILLER, 1955, SAGAN, 1971, KAJTÁR, 1963), purin és pirimidin származékokat (ORÓ és KIMBALL, 1962, PONNAMPERUMA, 1966, STEPHEN—SHERWOOD, 1971), porfirin jellegű vegyületeket (SZUTKA, 1964, HODGSON, 1967, 1968), proteinoidokat (FOX, 1965, MATTHEWS és MOSER, 1967), nikotinamid jellegű vegyületeket (FRIEDMAN, 1971), kéntartalmú aminosavakat (SMITH, 1968), sőt, 6—8 óra alatt 80%-os hozammal 3—6 szénatom-számú cukrokat stb. Egyes esetekben az is bebizonyosodott, hogy az abiogén szintézis a biológiai pathwayhez hasonló úton megy végbe (GÁNTI, 1970/b).

A biológiai jellegű reakciók — amelyek nyilván a legalkalmasabbak a chemoton felépítésére — enzimek nélkül is számottevő sebességgel mehetnek végbe. E folyamatokat aspecifikus, szervesetlen katalizátorok is gyorsíthatják, mint agyagásványok (OPARIN, 1960, BERNAL, 1971), alumíniumoxidok, karbonátok, apatitok és kalcium-alumínium hidrát (THENK, 1970) stb. Mindezek alapján nagy valószínűséggel várható, hogy egy esetleges chemotonban a folyamatok enzimes közreműködés nélkül is számottevő sebességgel mennének végbe.

Külön kell vizsgálnunk a templát reakciókat, amelyek a biológiában a polimerázok és transzkriptázok segítségével mennek végbe. Bár enzim nélküli templát polimerizációt még nem sikerült megvalósítani, templát-irányított oligomerizációt már igen, sőt többféle úton is (VOLKENSTEIN, 1966, SCHWARTZ, 1967, SULSTON, 1968, RENZ, 1971) és várható, hogy a polimerizáció is rövidesen kísérletesen megvalósul.

Valamely reakcióegyben levő reakciókomponensek egymással többféleképpen léphetnek reakcióba, s hogy a lehetséges átalakulások közül melyek, illetve milyen arányban mennek végbe azt a termodinamikai tulajdonságok szabják meg. Az enzimek jelenléte eleve maga után vonja, hogy az enzimm-katalizált folyamat 10^6 — 10^7 -szer gyorsabban megy végbe a többinél. Elvileg ma nem ismerünk olyan tényezőt, amely determinálná, hogy a természetes enzimkatalizálta reakciók az egyébként is legvalószínűbb szerves kémiai reakcióutakkal essenek egybe. A legkülönbözőbb vizsgálatok, beleértve a kémiai evolúciós vizsgálatokat (CALVIN, 1969, BUVET és PONNAMPERUMA, 1971), meteoritek vizsgálatát (LEVY, 1970, CRONIN, 1971, LAWLESS, 1971), a holdközetek vizsgálatát (HARADA, 1971, NAGY, 1971), sőt a rádiócsillagászati vizsgálatokat is (BUHL, 1971), nem a jellegzetesen szerveskémiai, hanem elsődlegesen a biológiai jellegű vegyületek keletkezését igazolták, s így le kell vonni azt a következtetést, hogy az élővilág nem azért épül fel a biológiai reakcióutakból, mert ezeket tudták az enzimek gyorsítani, hanem fordítva, azért alakultak ki ezekre specifikus enzimek, mert ezek fordultak elő eleve a legnagyobb gyakorisággal (GÁNTI, 1970/b, 1971).

Mindezek az adatok erősen alátámasztani látszanak azt a feltételezést,

hogy megfelelő szervetlen katalizátorok jelenlétében energia közlése mellett biológiai jellegű reakciórendszerek enzimek jelenléte nélkül is működtethetők *in vitro*.

A chemoton és az evolúció

Darwin munkássága óta eltelt évszázad részletekre menően feltárta a biológiai evolúció folyamatát az egysejtűtől az emberig. Az utolsó két évtized kutatásai pedig a kémiai evolúció menetének fővonalait tárták fel a legegyszerűbb szénvegyületektől a szerves makromolekulákig (GÁNTI, 1970/a, 1970/b). A kémiai evolúció és a biológiai evolúció között azonban teljesen ismeretlen terület fekszik: a random szekvenciájú polimerektől még igen messze vannak a legegyszerűbb élőlények is, amelyek speciális morfológiai struktúrával és meghatározott aminosav-sorrendű enzimeken keresztül történő szabályozással rendelkeznek.

EIGEN számításai szerint szoros illeszkedést feltételezve a világegyetem térfogatába mindössze 10^{103} fehérjemolekula fér bele ($M_s = 10^4$) (EIGEN, 1971), míg a fehérjemolekulán belül lehetséges aminosavsorrendek száma 10^{130} . Minden variációból egyetlen molekulát véve 10^{27} világegyetemben lehetne elhelyezni az összes variációt. Végtelenül kicsi tehát egy-egy meghatározott variációnak a spontán, pusztán valószínűségi alapon történő létrejötte. Összehasonlíthatatlanul kisebb azonban annak a valószínűsége, hogy adott aminosavsorrendű enzimek egyidőben és egy helyen jöjjenek létre úgy, hogy akár a legprimitívebb élő rendszert is alkossák (GÁNTI, 1971). Bizonyítható, hogy az enzimes szabályozással és morfológiai struktúrával rendelkező legprimitívebb élőlény is csak hosszú evolúciós fejlődés eredménye lehet. Mivel azonban a rendszerek evolúciója a tisztán kémiai anyagokat és a legprimitívebb élőlényeket köti össze, sem kémiai, sem pedig biológiai evolúciónak nem nevezhető, ezért ezt célszerű *prebiológiai evolúció*ként tárgyalni. A prebiológiai evolúció fejlődő rendszerei vezettek a tisztán kémiai rendszerekből a tisztán biológiai rendszerekhez. Ezek a rendszerek azonban a földfejlődés során — éppen morfológiai struktúrájuk hiányában — nyomtalanul semmisültek meg, s így vizsgálatuk ma csak elméleti úton lehetséges. A jelen elmélet egyik célja éppen ennek az útnak a vizsgálata.

A chemoton és az élőlények

A chemotont a kiindulási definíciónak megfelelően élő rendszernek kell tekinteni, de *csak kémiai rendszernek*, semmi esetre sem élőlénynek. *Minden élőlényhez — még az elvileg legegyszerűbbhöz is — hozzátartozik a morfológiai struktúra és az enzimes szabályozás is.* A chemoton ezekkel nem rendelkezik, tehát ismételtelen ki kell hangsúlyozni, hogy a *chemoton nem élőlény*. A morfológiai strukturáltság azonban éppúgy, mint az élőlényt felépítő vegyületek milyen-

sége vagy a folyamatszabályozás megoldása csak az élet konkrét megvalósítási módja, nem pedig funkcionális alaptörvény.

A chemoton felállításának elsődleges célja az élet funkcionális és szerveződési alaptörvényeinek feltárása, függetlenül annak konkrét megvalósítási módjától. Könnyen belátható, hogy a (17) alapegyenlet a sejt szintjére is érvényesíthető: ha pV jelenti az információhordozó makromolekulákat (DNS), $\sum A_i$ a homeosztatikus anyagsere anyagainak összességét, $\sum X_i$ és $\sum Y_i$ pedig a tápanyagokat és anyagseretermékeket, akkor a sejtre is érvényes, hogy:

$$[pV + \sum_i A_i] + \sum_i X_i \xrightarrow{\text{---}} 2[pV + \sum_i A_i] + \sum_i Y_i \quad (23)$$

Itt az új műveleti jel azt jelenti, hogy a folyamatok nem egy körfolyamaton, hanem egy bonyolult reakcióhálón keresztül mennek végbe. A (23) egyenlet tulajdonképpen nem mond mást, mint hogy a sejt működése közben a tápanyagok felhasználása révén bonyolult anyagszeréje segítségével öröklődési állományát és homeosztatikus rendszerét egymással összhangban megduplázza. És ez az elsőrendű életre nézve igaz.

Ugyanakkor a (23) egyenlet a *sejt működésének leírására nem elégséges*, hiszen a sejt működése magasabb szervezetségi szinteket is magában foglal.

IRODALOM

- AGAR, W. E.: A Contribution to the Theory of the Living Organism. London, Cambridge University Pr. (1951).
- BAUER, E.: Elméleti biológia. Akad. Kiadó, Budapest (1967).
- BERNAL, J. D.: Az élet eredete, Kossuth, Budapest (1971).
- BERTALANFFY, L.: Problems of Life. An Evaluation of Modern Biological Thought. Watts, London, (1952).
- BLANDINO, G.: Theories on the Nature of Life. New-York, Philosophical Libr. XIII. (1969).
- BRUCKNER, GY.: Szerves kémia 1/2. Tankönyvkiadó, Budapest (1961).
- BUHL, D.: Chemical Constituents of Interstellar Clouds. Nature, **234**, 332–334 (1971).
- BUVET, R., PONNAMPERUMA, C. (ed): Molecular Evolution. North Holland, Amsterdam (1971).
- CALVIN, M.: Chemical Evolution. Oxford University Press, New-York (1969).
- CRONIN, J. R., MOORE, C. B.: Amino Acid Analyses of the Murchison, Murray and Allende Carbonaceous Chondrites. Science, **172**, 1327–1329 (1971).
- DANTEC, F.: A biológiai filozófia elemei. Athenaeum, Budapest (1910).
- EIGEN, M.: Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules. Die Naturwiss. **58**, 465–523 (1971).
- ENGELS, F.: Eugen Dühring úr tudomány forradalmasítása. A természet dialektikája. Kossuth, Budapest (1963).
- ERNST, J.: Biológia és matematika III. MTA Biol. Oszt. Közl. **14**, 223–227 (1971).
- FLAVELL, R. B.: Mitochondrion as a Multifunctional Organelle. Nature, **230**, 504–506 (1971).
- FOX, S. W.: A Theory of Macromolecular and Cellular Origins. Nature, **205**, 328–340 (1965).
- FRANK, G. M.: Felszólalás. A modern természettudományok filozófiai problémái. Akad. Kiadó, Budapest (1962).
- FRIEDMANN, N., MILLER, S. L.: Primitive Earth Synthesis of Nicotinic Acid Derivatives. Science, **171**, 1026–1027 (1971).
- GÁNTI, T.: Forradalom az élet kutatásában. Gondolat, Budapest (1966).
- GÁNTI, T.: Önműködés a kémiában. Term. Vil. **101**, 555–558 (1970/a).
- GÁNTI, T.: Biogenezis I–II. Világosság, **11**, 358–363, 559–564 (1970).
- GÁNTI, T.: Az élet princípiuma. Gondolat, Budapest (1971).

- GILULA, N. B., REEVES, O. R., STEINBACH, A.: Metabolic Coupling, Ionic Coupling and Cell Contacts. *Nature*, **235**, 262—265 (1972).
- HALDANE, J. B. S.: Fact and Faith. Watts, London (1934).
- HALL, T. S.: Ideas of Life and Matter. Studies in the History of General Physiology 600 b. C — 1900 a. D. Vol. 1—2. Univ. Pr., Chicago (1969).
- HARADA, K. et al.: Evidence for Compounds Hydrolyzable to amino Acids in Aqueous Extracts of Apollo 11 and Apollo 12 Lunar Fines. *Science*, **173**, 433—435 (1971).
- HODGSON, G. W., BAKER, B. L.: Porphyrin Abiogenesis from Pyrole and Formaldehyde under Simulated Geochemical Conditions. *Nature*, **216**, 27 (1967).
- HODGSON, G. W., PONNAMPERUMA, C.: Prebiotic porphyrin genesis: porphyrins from electric discharge in methane, ammonia and water vapour. *Proc. Natl. Acad. Sci. US*. **59** 22 (1968).
- HUZELLA, T.: Általános biológia. Magy. Orv. Könyvkiadó Társ. Budapest (1933).
- HUXLEY, J.: Élet és halál. Egy biológus esszéi. Révai, Budapest (1936).
- KAHANE, E.: Az Élet nem létezik! Kossuth, Budapest (1965).
- KAJTÁR, M.: Vitális jelentőségű szénvegyületek keletkezésének lehetősége a Földön az élet megjelenése előtt. *MTA Kém. Oszt. Közl.* **20**, 1—32 (1963).
- KASS, L. R.: Death as an Event: A Commentary on Robert Morison. *Science*, **173**, 698—702 (1971).
- KISZELY, GY. (szerk.): Biológia. Medicina, Budapest (1970).
- LAURENCE, P.: The Organization of Cells and Other Organism. Oxford, Clarendon Pr. (1960).
- LAWLESS, J. G. et al.: Amino Acids Indigenous to the Murray Meteorite. *Science*, **173**, 626—627 (1971).
- LEVY, R. L. et al.: Organic Analysis of the Pueblito de Allende Meteorite. *Nature*, **227**, 148—150 (1970).
- LWOFF, A.: Biological Order. Massachusetts Inst. of Technol., Cambridge, Mass. (1962).
- MARQUAND, J.: Life: its Nature, Origins and Distribution. Oliver and Boyd, Edinburgh (1968).
- MATTHEWS, C. N., MOSER, E. R.: Peptide Sythesis from Hydrogen Cyanide and Water. *Nature*, **215**, 1230—1234 (1967).
- MILSUM, J. H.: Biological Control Systems Analysis. Mc. Graw Hill. New-York (1966).
- MILLER, S. H.: Production of some organic compounds under possible primitive Earth conditions. *J. Am. Chem. Soc.* **77**, 2351—2361 (1955).
- MILLER, J. G.: Living Systems: Basic Concept. *Behavioral Science*, **10**, 193—237 (1965/a).
- MILLER, J. G.: Living Systems: Structure and Process. *Behavioral Science*, **10**, 337—379 (1965/b).
- MILLER, J. G.: Living Systems: Cross-level Hypotheses. *Behavioral Science*, **10**, 380—411 (1965/c).
- MORISON, R. S.: Death: Process or Event? *Science*, **173**, 694—698 (1971).
- MÜLLER, A., GÁNTI, T.: Filozófiai Párbeszédék I. Visszavezetés és struktúra. *Term. Vil.* **102**, 165—167 (1971).
- NAGY, B. et al.: Carbon Compounds in Apollo 12 Luna Samples. *Nature*, **232**, 94—98 (1971).
- OPARIN, A. I.: Az élet keletkezése a Földön. Gondolat, Budapest (1960).
- ORÓ, J., KIMBALL, A. P.: Synthesis of Purines under Possible Primitive Earth Conditions II. *Archives of Bioch. — Biophys.* **96**, 293—313 (1962).
- PICKEN, L.: The Organisation of Cells and Other Organisms. Clarendon Pr. Oxford (1960).
- PONNAMPERUMA, C.: Some Recent Work on Prebiological Synthesis of Organic Compounds. *International J. of the Solar System*, **5**, 450—454 (1966).
- RAVEN, P. H.: A Multiple Origins for Plastids and Mitochondria. *Science*, **169**, 641—646 (1970).
- RENZ, M., LOHRMANN, R., ORGEL, L. E.: Catalysts for the polymerization of adenosine 2', 3'-phosphate on a poly (U) template. *Biochem. Biophys. Acta*. **240**, 463—471 (1971).
- RIDLEY, S., M., LEECH, R. M.: Division of Chloroplasts in an Artificial Environment. *Nature*, **227**, 463—465 (1970).
- RIZSKOV, V. L.: Felszólalás. A modern természettudományok filozófiai problémái. Akad. Kiadó, Budapest (1962).
- SAGAN, C., KHARE, B. N.: Long-Wavelength Ultraviolet Photoproduction of Amino Acids on the Primitive Earth. *Science*, **173**, 417—420 (1971).
- SCHWARTZ, A. W., FOX, S. W.: Condensation of cytidylic acid in the presence of polyphosphoric acid. *Biochim. Biophys. Acta*, **134**, 9—16 (1967).
- SMITH, A. E., SILVER, J. J.: Synthesis of a Sulfur-Containing Amino Acid under Simulated Prebiotic Conditions. *Science*, **159**, 1108 (1968).
- STANLEY-JONES, D.: The Kybernetics of Natural Systems. A Study in Patterns of Control. Pergamon Pr. Oxford—London (1960).

- STEPHEN-SHERWOOD, E., ORÓ, J., KIMBALL, A. P.: Thymine, a Possible Prebiotic Synthesis. *Science*, **173**, 446–447 (1971).
- SULSTON, J., LOHRMANN, R., ORGEL, L. E., MILES, H. T.: Nonenzymatic synthesis of oligoadenylates on a polyuridylic acid template. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **59**, 726 (1968).
- SZENTÁGOTHAI, J.: Kibernetikai szemlélet a biológiai és orvosi tudományokban. MTA Biol. Oszt. Közl. (1963).
- SZUTKA, A.: Porphine-like substances probable synthesis during chemical evolution. *Nature*, **202**, 1231–1232 (1964).
- SZWARC, M.: Living Polimers: A Tool in Studies of Ions and Ion Pairs. *Science*, **170**, 23–31 (1970).
- THENK, B. K. G.: Formation of Two-dimensional Organic Polymers on a Mineral Surface. *Nature*, **228**, 853–854 (1970).
- VOLKENSTEIN, M. V., FISHMAN, S. N.: Polynucleotide synthesis at oligomeric templates. *Biopolymers*, **4**, 77–84 (1966).
- WENDT, H.: Szerelmi élet az állatvilágban. Gondolat, Budapest (1965).

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója

Műszaki szerkesztő: Helle Mária

A kézirai nyomdába érkezett: 1972. VI. 13.

Terjedelem: 17,15 (A/5 ív)

72. 73741 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György