

Mennyiségi szemlélet a biológiában

Sokan felteszik a kérdést: miért van az, hogy míg a fizika és a kémia az utóbbi évtizedekben látványos gyorsasággal fejlődött, gyakorlati megvalósításaik pedig rendkívül gazdagok, addig az életjelenségek megismerésében viszonylag lassú a haladás? E kérdés megértéséhez, úgy vélem, szükséges, hogy röviden elemezzük a tudományok kutatási tárgyának sajátosságait.

A fizika és a kémia az élettelen anyaggal foglalkozik, amelyet molekulák alkotnak, és amely — további bontásban — atomokból épül fel. Ez utóbbiakat az élettelen anyag legegyszerűbb, vegyi úton nem bontható szerkezeti egységeinek tekinthetjük. A fizika az atomokat és atomcsoportosulásokat szilárd, folyékony és gáz (valamint plazma) halmazállapotukban tanulmányozza. A kémia a különböző vegyületek atomjai közötti reakciókkal foglalkozik: olyan kölcsönhatásokkal, amelyek az atomok közötti erőktől függenek.

A fizika és a kémia eredményei a kutatási terület viszonylagos egyszerűségének köszönhetőek, ami lehetővé tette a jelenségek matematikai, mennyiségi értékelését és azok pontos törvényeinek felfedezését (a P. L. Boyle—Mariotte-féle gáztörvény, az elektrolízisre vonatkozó Faraday-törvény, a Newton-féle gravitációs törvény, a hullámterjedésre vonatkozó Huygens-elv, Einstein relativitáselmélete stb.). Ilyen törvények és elvek alapján a fizika és a kémia a kutatási körébe tartozó jelenségeket biztos sikerrel alkalmazza a gyakorlatban. Kétségtelen, hogy mennyiségi, matematikai szemlélet és módszer nélkül a fizika és a kémia nem nyújthatta volna azt, amit ma nyújt az emberiségnek.

A biológia vizsgáldásának tárgya az élő szervezet, amelynek szerkezeti és funkcionális alapegysége a sejt. A fizikai és kémiai kutatási eszközöknek köszönhetően ma már elég jól ismerjük a sejteket. A sejtek azonban bonyolultan összetettek, egymástól különbözőek; valóban elmondhatjuk, hogy nem létezik két azonos sejt, mint ahogyan nem létezik két tökéletesen egyforma többséjtű élőlény sem. Az élővilágban tehát nem áll fenn az 1=1 egyenlőség. Mai tudásunk szerint minden sejt tartalmaz több ezer vagy tízezer mitokondriumot, több százezer riboszómát és poliszómát, sok ezer különböző formájú és alakú endoplazmatikus csatornát, bennük a sejtplazmával, amely több száz különféle ásványi só és szerves anyagot tartalmaz különféle koncentrációkban, szuszpenziós vagy oldott állapotban. Aztán van még a sejtben ezerszámra lizoszóma, Golgi-komplex, centroszóma, enzimek koncentrált vagy diffúz formában, sejtmag sok-sok DNS- és RNS-szállal és magplazmával, amelyben szintén különféle oldott elemek találhatók stb.

Azt se felejtjük el, hogy az említett sejtszervecskéket nem egységes szerkezetű hártya veszi körül; ezek a hártýák bonyolítják le az anyagok cseréjét a sejtszervecskéék és a sejtplazma, valamint a sejt és környezete között. C. Palade plasztikus hasonlata szerint a sejt olyan, mint egy hártýákkal telt zsák. A sejt e bonyolultan összetett szerkezetének következménye, hogy funkciói is nagyon sokfélék és bonyolultak, s ez ideig csak részben megfejtettek. Amilyen mértékben fejlődnek a sejt mikrokozmoszának kutatási eszközei, mind több szerkezeti és funkcionális elemre derül fény.

A többséjtűek esetében (az ember teste több mint 100 trillió sejtéből áll) a helyzet még bonyolultabb, mivel itt a sejtelet mellett, azzal együtt adva van a sejtek közös élete is, s megjelennek a szervezet mint egységes egész szabályozó mechanizmusai: a humorális, a hormonális és az idegi szabályozás.

Tegyük hozzá még azt is, hogy napjainkban több mint másfél millió állatfajt, majdnem egymillió növényfajt és még néhány százezer prokariótát ismerünk, és hogy minden faj esetében — a legszerűsebb átlagot véve — mintegy százezer egyeddel számolhatunk (tehát mintegy $2,5 \times 10^{11}$ egyedről van szó, amelyek mind különbözőek egymástól). Mindez érthetővé teszi azt, hogy miért rendkívül bonyolult és változatos a biológia vizsgáldásának tárgya, még ha valamennyi egyednek közös vonása is az élet; és világos, hogy így nehéz megtalálni azokat a biztos támpontokat, amelyek valamennyi egyed vizsgáldásában érvényesek, s az élet tulajdonságát jellemzik. Nem könnyű tehát olyan pontos működési törvényeket felfedni, amelyek lehetővé tennék, hogy az ember érdekeinek megfelelően irányítsa az élő szervezetek fejlődését — közéjük értve magát az emberét is.

E szerkezeti és működésbeli bonyolult összetettség következménye, hogy a biológia lassabban fejlődött, mint a fizika és a kémia. Amikor i. e. a VI. században Püthagorasz szorzótláblakat szerkesztett és híres tételét megfogalmazta, az emberek biológiai ismeretei csak a növények és állatok külsején megfigyelhetőkre korlátozódtak. Kétszáz évvel később Arisztotelész néhány művében összegyűjtötte korának az élővilágra — elsősorban az állatokra — vonatkozó ismereteit. Ezekből a könyvekből tanulmányozták aztán a biológiát egészen a XV—XVI. századig, a reneszánszig. Ekkor a nagy földrajzi felfedezések erőteljes lendületbe hozták az életjelenségek tanulmányozását is. A iatrofizika képviselői az életműködést és magát az életet fizikai folyamatokkal próbálták magyarázni. S ettől kezdve úgy-szólván napjainkig tanúi vagyunk hasonló próbálkozásoknak. Descartes az egyes emberi tevékenységek és az óra rugós mechanizmusa között vélt analógiát felfedezni; Harvey a vér keringését a folyadékok szilárd falú edényekben történő keringésének analógiájával magyarázta; Helmholtz a szem működését optikai lencsék segítségével próbálta megérteni; Du Boys Raymond az ingerületvezetés természetét az elektromos áram vezetésével hozta összefüggésbe; Marey a mozgások tanulmányozásában a fényképezést alkalmazta; Tyimirjazev a termodinamikában kereste a fotoszintézis energetikájának magyarázatát.

Mindezek a kísérletek, amelyek arra irányultak, hogy a fizika és a kémia eredményeit alkalmazzák az életjelenségek értelmezésében, azt bizonyítják, hogy a biológusok már a közelebbi múltban sem elégedtek meg a jelenségek egyszerű megfigyelésével és leírásával. Követelményként jelentkezik a biológiai jelenségek mennyiségi értékeinek kvantifikációja, a fizikához és a kémiához való fordulás és főleg a matematizálás, ami lehetővé teszi, hogy a biológiai jelenségeket, illetve az őket meghatározó külső tényezőket képletekbe foglaljuk.

Ennek következményeként kap egyre nagyobb szerepet a kísérletezés is a biológiában. 1859-ben Claude Bernard *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* című híres könyvében leszögezi az élő szervezetekkel végzett kísérletek alapelveit. A kísérleti módszer a biológiában az oksági viszonyok ellenőrzéséhez vezetett, továbbá lehetővé tette a biológiai jelenségek tényezőinek értékbeli megmérését, és megnyitotta annak a lehetőségét is, hogy a jelenségeket természetes vagy laboratóriumi körülmények között megismételjük. Mennyiségi szemlélet honosodott meg a biológiában, és a tudományág most már nem szabadulhat ennek következményeitől: tovább kell folytatnia a jelenségek okának és eredményeinek mennyiségi értékelését.

A kísérleti adatok szaporodásának eredményeként született meg a darwini evolúciós elmélet, valamint a genetika tana is. E törekvések állandó fokozódása ellenére azonban a biológia eredményei a századfordulőig eltörpültek a fizika és a kémia ragyogó felfedezései mellett.

A biofizika megjelenésével egyidőben — körülbelül századunk elején — a kvantifikáció bevezetésének és a matematika alkalmazásának köszönhetően értékes tanulmányok jelennek meg a biológiai ab- és adszorbczióra, a membránokon (hártyákon) át történő diffúzióra, az elektromos térben való molekuláris mozgásra, az idegi polarizációra és depolarizációra, az ingerlésre és gátlásra stb. vonatkozóan. A fizika példájára ezeket a jelenségeket is sikerült matematikai képletekbe foglalni, természetesen az élő anyag sajátosságainak figyelembevételével. Ezzel párhuzamosan teret hódít a kísérleti eredmények statisztikai számításokkal való ellenőrzése, s már 1940 előtt valamennyi biológiai (orvosi és mezőgazdasági) szakfolyóirat megköveteli az eredmények statisztikai feldolgozását.

1962-ben hazánkban is bevezetik a matematikát és a biofizikát az egyetemek biológia szakán, s ezek azóta itt kötelező tantárgyak. A fejlett országokban azonban azóta megjelent a molekuláris biológia (sejtbiológia), a populációgenetika, az elektrofiziológia, a magatartástan stb. — mind olyan ágazatai a biológia tudományának, amelyek a matematika eszközeit messzenemően felhasználják, s amelyek eredményeit ma sikerrel alkalmazzák az orvostudományban és a mezőgazdaságban.

A sejtanyagcsere vizsgálata bizonyos meghatározott és pontosan mérhető környezeti feltételek között végbemenő reakciók matematikai és termodinamikai kifejezése. A sejtélet jelenségeinek pontos szabályozó törvényeit feltárva napjainkban, növényeket természetnek mesterséges környezetben, és fejlődésük minden szakaszában kielégítik összes igényeiket. Így rendkívül magas, a természetben megvalósíthatatlan terméshozamokat érnek el. Hasonló eljárások: az agyalapi mirigy hátulsó lebenyének antidiuretikus hormonját (ADH) mennyiségileg meghatározottan adagolják az agyalapi mirigy és a vese működési zavarainak számos esetében; állatok pszichés zavarai esetén elektromos vagy acetilcholinus ingerlést alkalmaznak; gammasugár-kezeléssel tüntetnek el bizonyos daganatokat — s a modern alkalmazott biológia hasonló eredményeit még hosszan sorolhatnám.

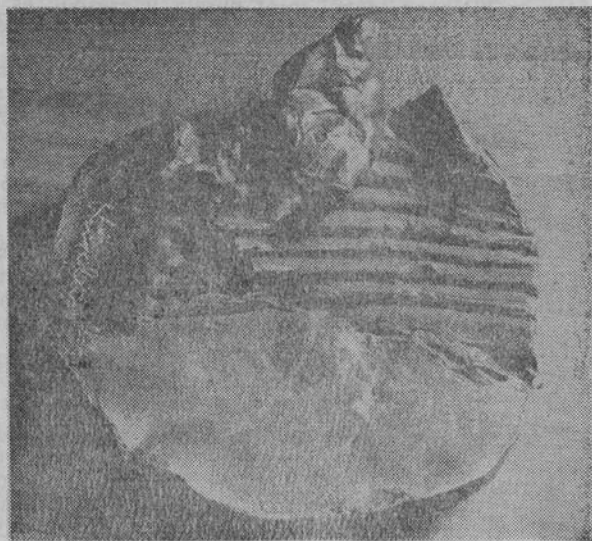
A kvantifikáció, a biológiai jelenségeknek mennyiségi mutatókkal való jellemzése világviszonylatban csak néhány évtizeddel ezelőtt kezdődött el, s már megjelentek az első gyakorlati eredmények is. 1977-ben részt vettem Párizsban egy fiziológiai tudományos ülészakon, amelyen a matematika és a komputer nyelvén folyt a tanácskozás. Minden nagyon világos, pontos és tökéletesen meghatározott volt azok számára, akik beszélték ezt a nyelvet, de számomra nem, minthogy én nem ismertem. És a tudomány új nyelvének ismerői csak egymás között tárgyaltak, mit sem törődve azokkal, akik nem értik őket.

A biológiai jelenségeket már nem kvantifikálhatjuk csak annak alapján, amit 1962-ben tudtunk. Sajnos, a mennyiségi szemléletű biológia azóta nálunk alig fejlődött. E szemlélet erőfeszítést követel, és a biológiai kutatási módszerek állandó megújódását feltételezi, mégpedig a szüntelenül fejlődő matematika és a számítógépek nyújtotta lehetőségek színvonalán. A mennyiségi szemlélet érvényesítése csak komputerek, különböző elektronikus műszerek felhasználásával, a legújabb szakirodalom ismeretében és a matematika nyelvének elsajátításával lehetséges. Ahol mindezt biztosították — a fizikára és a kémiára gondolok —, ott az eredmények sem várattak sokáig magukra. Mindeme *sine qua non* feltételek hiányában a kvantitatív biológia csak üres szó, és nem várhatunk tőle olyan sikereket, mint amilyeneket a fizika és a kémia nyújt. Az óhajtott eredmények eléréséhez áldozatra, a szükséges feltételeket megteremtő erőfeszítésre van szükség.

Elégedettséggel tölt el az a tudat, hogy a biológiai jelenségek kvantifikációja mindjobban terjed, és meg vagyok győződve arról, hogy ez lesz az a fő tényező, amely „a biológia korszakához” vezet — ugyanúgy, ahogyan századunk első évtizedeiben előbb a fizika, majd a kémia töltötte be ezt a szerepet. A biológia korszaka nem egyszerűen óhaj, hanem a tudományok fejlődésének törvényszerű következménye, aminek a demográfiai robbanás hatalmas gyakorlati jelentőséget is ad, hiszen a felmerülő komplex problémák megoldását elsősorban a biológiától várhatjuk.

Szeretném, ha a jövő biológiájának arcvonalán a mennyiségi szemlélet a mi oktatásunkban is megfelelően érvényesülne, hogy a mi biológusaink is aktívan részt vegyenek azoknak a feladatoknak a megoldásában, amelyeket az emberiség az élet tudománya elé tűz.

Mezey Zoltán fordítása



Vincefi Sándor plakettje