

# Világosság

---

## A TARTALOMBÓL

E számunkban:

### TÜPRENGŐ BIOLÓGIA

*Szentágothai János*  
bevezetőjével

—

*Tóthmérész Béla—Vida Gábor:*  
Populációgenetika

—

*Vekerdi László:*  
A 103. évben

—

*Ropolyi László:*  
Darwin, Marx, Boltzmann

—

*Erdi Péter:*  
Biológia élőlények nélkül

—

*Juhász-Nagy Pál:*  
Ökológia és ökonómia

—

*Somlyó Bálint:*  
Arnold Gehlen kockára tett antropológiája

—

*Keleti Tamás:*  
Fehérjееvolúció és anyagcsere-szabályozás

—

*Koch Sándor:*  
A tökéletlenség és korlátosság dicsérete



# 7

XXVI. ÉVFOLYAM • 1985 • JÚLIUS

### Populációgenetika

#### Egy tudományterület életrajza

Az emberiséget mindig is foglalkoztatták olyan egyszerű kérdések, mint pl. az, hogy miért van olyan sokféle ember, miért van annyiféle növény és állat; változnak-e ezek az egymást követő generációk során, s ha igen, hogyan; lehet-e igényeinknek megfelelően alakítani, „nemesíteni” a fajokat? Ez utóbbi kérdésre a válasz már régóta ismert. Háziállataink, termesztett növényeink sok évszázados ösztönös nemesítés eredményei. E munka meggyorsításához azonban a folyamat mélyebb ismerete szükséges. Ugyanez vezethet el egy alapvető természeti jelenség, a biológiai evolúció lépéseinek megértéséhez is.

Az előbbi egyszerű kérdésekre a korrekt válasz még ma is sok esetben bizonytalan, s korántsem egyszerű. Alig több, mint fél évszázada küszködik ilyesféle problémákkal vagy azok egy részével egy fiatal tudomány, a populációgenetika. Művelői között meglepően sokféle tudományterület kutatóit találjuk meg. Botanikusok, zoológusok, biokémikusok, matematikusok, orvosok és mezőgazdászok, sőt szociológusok is vannak közöttük. Közös vonásuk, hogy az örökítő anyag sorsát ill. ezek hatását nem egy-egy szervezetben vagy annak utódaiban elemzik, hanem az azonos fajhoz tartozó egyedek sokaságaiban, populációkban. A populációgenetika tehát az ún. szupraindividuális (egyedi szerveződés feletti) szintek egyik tudománya.

Ez a körülmény két szempontból is igen figyelemre méltó:

1. A biológiai jelenségek a különféle szerveződési szinteken egészen más módon érvényesülhetnek. A környezethez való alkalmazkodás, az adaptáció pl. teljesen mást jelent az egyed és a populáció szintjén. Az egyedi alkalmazkodás

nem öröklődik, míg a populációs szintű adaptáció örökletes megváltozás.

2. Egyedek sokaságával foglalkozó tudományág könnyen matematizálható. Jelenségeinek leírását a fizika és a kémia egyes ágaihoz hasonlóan egyértelmű matematikai formulákkal, modellekkel közelíti. E modellek segítségével jutott előre a populációgenetika. Ennek köszönheti forradalmian új eredményeit a gyakorlati állat- és növénynemesítés éppúgy, mint az elméleti evolúciókutatás és sok más tudományterület is.

A populációgenetika módszertani fegyvertárában egyaránt megtaláljuk a laboratóriumban (főleg genetikai, biokémiai) és a természetben végzett kísérleteket és megfigyeléseket éppúgy, mint a csak papírt és ceruzát (de újabban már számítógépeket is) igénylő elméleti kutatásokat. Ez utóbbiak aránya a biológia más területeihez képest igen jelentős.

A populációgenetika kialakulásának alapvető előfeltételeit a XIX. század két tudósóriása, Darwin és Mendel teremtették meg. Darwin hívta fel a figyelmet (1859 — A fajok eredete) a populációk szintjén zajló eseményekre, így elsősorban a természetes szelekcióra, mely a fajok szaporodási közösségeiben jelenlevő örökletes változatosságból a környezetnek legmegfelelőbbek kiválogatásával és elszaporításával állandóan formálja, javítja a fajokat. E lassú, fokozatos átalakulás sok száz vagy ezer generáció alatt a fajok transzformációjához, evolúcióhoz vezet.

A darwini elmélet egyik legkritikusabb pontja az örökletes változatosság léte és az öröklődés módja volt. A fajon belüli változatosság, a látható tulajdonságok („fének”) sokfélesége azonban nem biztos, hogy genetikai alapú. A környezet ugyan-

azt a genetikai információt igen sokféle tulajdonságként jelenítheti meg, mint ahogyan ugyanazt a rádióadót is különféle minőségben vehetjük. Az öröklődés módja is kritikus. Ha az ivaros szaporodás során az utód mindig a szülők átlagát kapja meg — ahogy ezt Darwin idejében vélték —, előbb utóbb minden egyed átlagos lesz, s az örökletes variáció az ivaros szaporodó populációban eltűnik. Ezzel viszont a szelekció, azaz a darwini evolúció lehetősége is megszűnik.

Az örökletes variáció dilemmájának megoldásához Mendel tömör szakcikke (1867) adta meg a lehetőséget. Az öröklődés anyaga partikuláris természetű. Elemi egységei a gének, melyek az utódokban változatlanul megőrzik sajátoságaikat, önmaguk nem, legfeljebb a hatásuk keveredhet.

Darwin és Mendel alapvető megállapításai csak haláluk után, már a XX. század első éveiben találkoztak. Ez a randevú azonban elég rosszul sikerült. Csak az időközben megszületett populációgenetika hozta rendbe a dolgot.

A századforduló idején fedezték fel Mendel munkásságának jelentőségét, s ezzel a formális genetikai elemzések egyre növekvő számban jelentek meg. Kontrasztos minőségi eltérések öröklődését elemezték, mint pl. a színes vagy fehér virág, sötét vagy világos szőrszín, kék vagy barna szemszín stb. E tulajdonságok viszonylag egyszerű, ún. „mendelező” módon viselkedtek. Az első hibrid utódban gyakran csak az egyik (domináns) tulajdonság jelentkezett, míg a második utódnemzedék a mágikus 3:1 hasadási arányt mutatta a domináns tulajdonság javára. Egy oxfordi genetikus ezen az alapon azon kezdett tündődni, hogy vajon nem fog-e elfogyni ezáltal Angliában a kékszemsűség, ha a barna—kék házasságból mindig csak barna, s a kevert eredetű barna—barna szülőtől is csak egynegyednyi kék szemű utód születik? Mivel hosszas töprengés után sem sikerült megoldást találnia, egy matematikus kollégájának segítségét kérte. G. H. Hardy állítólag ebéd közben (mások szerint golfozás vagy krikettezés során) egy papírdarabra firkálta fel azt az egyszerű feladatot, hogy miként alakul két tag összegének négyzete? A két tag a kétféle génforma (allél) gyakorisága, a négyzetreemelés az ivaros szaporodás, melyben a kétféle eredetű ivarsejt egyesül, s az így kapott kifejtés ( $p^2 + 2pq + q^2$ ) adja a különféle allélkombinációk valószínűségét.

A matematikus Hardy továbbá azt is bebizonyította, hogy az utógeneráció allélgyakorisága

ugyanaz, mint a szülőké volt. Nem kell tehát tartani a szép kék szemek eltűnésétől.

Hardy maga sem hitte, hogy ezzel az egyszerű formulával (mely a matematikus számára köz-hely), a populációgenetika egyik legfontosabb kiindulási pontját, az azóta róla és a német Weinberg-ről elnevezett Hardy—Weinberg törvényt fogalmazta meg (1908). E törvény — mint nullhipotézis — kiindulópontja lett legtöbb későbbi populációgenetikai modellnek.

Ez idő alatt a „mendelista—darwinista” háború legádázabb csatái dúltak. A „mendelisták” leegyszerűsített laboratóriumi körülmények között tiszta vonalakat, s ezek keresztezett utódait vizsgálták, amelyek többnyire egyértelmű típusokba voltak besorolhatók, míg a „darwinisták” a természetben megfigyelt, így meglehetősen komplex mintázatokat, a populációk gyakran folytonos változatosságát tanulmányozták. Az akkori „mendelisták” szerint a fajok ugrásszerű mutációkkal alakulnak át, míg a darwinisták a variáció-szelekció elvhez ragaszkodtak. E lehetőséget sokan azon az alapon kérdőjelezték meg, hogy „hihetetlennek” tartották a természetben folyó enyhe szelekció faj-átalakító hatását. Mai szemmel egyértelmű e vita meddősége. Pontosítani kell. Mekkora szelekcióról van szó, hány generáción keresztül hat, s milyen mértékű genetikai változást tekintünk fajátalakítóknak? Operatív modellekre volt tehát szükség, egyértelmű és kvantifikálható paraméterekkel. E modellek létrehozásában a döntő szerep három kiemelkedő kutatóé volt. Ők, R. A. Fisher, J. B. S. Haldane és S. Wright a populációgenetika „szentháromsága”. Különös emberek ők, mint ahogy az volt a tudományterület is, amelyet létrehoztak.

Ronald Alymer Fisher (1890—1962) rendkívüli tehetségét korán fölismerték. Már hatéves kora előtt elemi matematikát és csillagászatot tanult. Mivel Fisher különleges látászavarban szenvedett, ami megakadályozta, hogy lámpánál olvasson, kialakult az a képessége, hogy fejben oldjon meg matematikai feladatokat, vizuális segítség nélkül. Később számos matematikai statisztikus és populációgenetikus panaszkodott, hogy Fisher bizonyításai nehezen érthetőek, mert olyan intuitív ugrásokat tartalmaznak, melyek egyáltalán nem nyilvánvalóak.

Fishert a biológia is érdekelte. Sokáig nem tudott dönteni, hogy matematikusnak vagy biológusnak készüljön. Egy múzeumi látogatás alapján választott. Állítólag hosszasan időzött egy

preparált csontváz előtt, melynek minden apró csontja más-más latin névvel volt ellátva.

1909-ben Cambridge-be ment, ahol matematikát és csillagászatot tanult. Érdeklődése nem korlátozódott a tiszta matematikára. Cambridge-ben jutott kezébe Karl Pearson evolúcióval foglalkozó matematikai cikksorozata, s ez irányította figyelmét a genetika, valamint az evolúció kérdései felé.

Számos matematikai statisztikai műve jelent meg, melyek alapján a modern matematikai statisztika megalapozójaként is számon tartják. Populációgenetikai munkássága két területen is egészen kiugró. Egrészt elméleti alapot adott a gyakorlati nemesítéshez a populációk változosságának (fenotípusos varianciájának) felbontása és a beltenyésztés elemzése által, másrészt egzakt matematikai nyelvezettel fogalmazta meg a természetes szelekció evolúciós hatását. 1930-ban kiadott legtöbbet idézett könyve („A természetes szelekció genetikai elmélete”) nem annyira ékesen, mint inkább szárazon, de meggyőzően bizonyítja: a darwinizmus és a mendelizmus nem alternatívák, hanem egymást kiegészítő, komplementer elméletek.

Életútjának, személyiségének és tudományos karrierjének különlegességében Fisher mögött semmivel sem marad el John Burdon Sanderson Haldane (1892—1964) sem. 19 évesen került az oxfordi New College-ba, ahol matematikát, majd ókori görög klasszikusokat és filozófiát tanult. Amíg a New College-ban volt, eljárt E. S. Goodrich biológiai előadásaira is. Formális biológiai iskolázottsága mindössze ennyi volt. Goodrichen kívül apja, John Scott Haldane volt rá nagy hatással, aki fiziológus volt.

A tudomány legkülönbözőbb területeit művelte a matematikától az irodalomig. A genetika számos kérdését vizsgálta, emellett ért el eredményeket a fiziológiában, enzimológiában. Írt dolgozatot az élet keletkezéséről, a naprendszeréről, az atomháborúról (1939!). Jelent meg statisztikai tárgyú közleménye is. Tudományos ismeretterjesztő írásaiért megkapta az UNESCO Kalinga-díját, jelent meg ifjúsági könyve is, *Barátom, Leakey úr* címmel. Tudományos fokozatot sohasem nyert.

Szolgált a spanyol polgárháborúban, a II. világháborúban a polgári védelemben dolgozott. Néhány évig a kommunista párt tagja volt. 1957-ben Indiába ment, ahol buddhistaként hunyt el. Életrajzírója, M. J. D. White szerint korra legsokoldalúbb, legműveltebb biológusa volt.

A „triumvirátus” harmadik tagja Sewall Wright (1889—) amerikai biológus, a populációgenetika ma is élő és alkotó doyenje. Lombardban, Illionis-ban és Harvardban tanult biológiát. Egyetemi évei alatt csak a matematikai analízis alapjait sajátította el. Alapos matematikai ismereteire később, autodidaktaként tett szert. Majdnem 200 cikket írt, a genetika legkülönbözőbb területeiről. Tőle származik a *path*-analízis, amelyet eredetileg állattenyésztési problémák megoldására hozott létre. Ma a matematikai statisztika egyik fontos módszere.

A hármuk által alkotott modellek jórészt a populációgenetika ugyanazon területeit, jelenségeit fedik fel. Mindhármuk munkásságának alapja a populációs szemlélet. Mindig sokaságokat vizsgáltak. Írásaikra a kifinomult és elegáns matematikai nyelvezet jellemző. Ezeknek a tényezőknek az együttes megléte avatta a populációgenetikát az első igazán modern biológiai elméletté.

E populációgenetikai modellek legegyszerűbb szinten egyetlen génhelyre korlátozódtak. E gének eltérő formáit (alléljeit) mutáció hozza létre igen kis gyakorisággal. Modellek vizsgálatával bebizonyosodott, hogy — szemben egyes korai menedelisták verbális érveléseivel — a mutáció önmagában képtelen a természetben megfigyelt viszonylag gyors allélgyakoriság-változások megvalósítására. Ehhez a szelekció hathatós segítsége szükséges.

A populációgenetikai modellek legfontosabb paraméterei a mutációs ráta, a szelekciós koefficiens, a migrációs gyakoriság és a populáció egyedszáma. Ezek ismeretében megjósolható az allélgyakoriság-változás iránya és nagysága.

A populációgenetika elmélete jelentősen megelőzte a laboratóriumi és tereptanulmányokat. E fontos paraméterek nagyságáról csak igen durva, és gyakran ellentmondásos adatok voltak. Érthető tehát, hogy Fisher, Haldane és Wright sem voltak azonos véleményen e téren. A populáció evolúciós transzformációit meglehetősen eltérő módon értelmezték.

Fisher szerint a természetes populációk zöme igen sok egyedből áll, így a generációk közötti véletlen gén-mintavételi hiba elhanyagolható. Az egyes génhelyek allélgyakorisági értékei többnyire egymástól függetlenül igen enyhe szelekcióval formálódnak.

Haldane szerint a szelekció sokkal erősebb. Emiatt egyszerre csak kevés génhelyen folyhat szelekció.

Wright a populációkat kevesebb egyedből álló egységekre tagolta fel, s így kisméretű „szubpopulációk”-kal dolgozott, melyekben a véletlen időnként komoly szerephez jutott. Wright ezzel együtt a génhelyek kölcsönhatását is fontosnak tartotta az adaptáció kialakításában, s így jutott el a híres „adaptív tájkép” meteforájához.

A populációgenetika három alapító óriása mellett hol megemlítik, hol nem Csetverikov nevét, aki ugyancsak bábáskodott e tudományág megszületésénél. Szergej Csetverikov (1880—1959) tudományos munkássága mint lepkesz természetbúvár indult, majd 1921-ben Kolcov moszkvai intézetéhez csatlakozva a „muslicás szeminárium” vezetője lett. A muslica ekkor már a genetikusok kedvenc állata. Az amerikai Morgan laboratóriumából H. J. Muller 32-féle mutáns törzs tenyésztését ajándékozta Kolcovéknak 1922-ben. Csetverikov exkluzív muslicás köre azonban ezt az anyagot csak mint összehasonlítási alapot használta. Arra voltak kíváncsiak, hogy e „torzszülött” legyecskék előfordulhatnak-e a természetben is, vagy csak a laboratóriumokban, s ez esetben evolúciós jelentőségük nulla. Csetverikov munkatársaival kimutatta, hogy a Fekete-tenger partján befogott muslicák több mint 13%-a lappangó mutációt hordozott. Ez volt az első pozitív kapcsolat a laboratóriumi mendeli genetikára és a természetet járó naturalistadarwinista irányzat között. Csetverikov mindkét területen járatos volt, sőt kellő érzéke volt az elméleti kutatásokhoz is. 1926-ban oroszul meg is írta populációgenetikai alapozású evolúciós nézeteit, amelyek mai szemmel nézve is lényegében helytállóak. Sajnos, meredeken ívelő tudományos pályája derékba törött. 1929 nyarán letartóztatták, tárgyalás nélkül bebörtönözték, majd száműzték. Az ok ma is vitatott. Talán a „zártkörű” muslicás társaság szűrt szemet valakinek? Bár 1935-től ismét dolgozhatott, sőt másirányú tudományos munkájáért magas állami kitüntetésben is részesült, Lisenko hatalomra kerülésével (1948) a frissen megkapott nyugdíját is elveszítette. 1959-ben halt meg. A Szovjetunió Tudományos Akadémiájára egy hatalmas méretű lepkegyűjteményt és egy angol nyelvű kéziratot hagyott. Dátuma 1929 — letartóztatásának éve. Ha ez akkor megjelent volna, Csetverikov neve ma legalább úgy ragyogna, mint a Fisher—Haldane—Wright hármassé, s a populációgenetikai iskolák között napjainkban is vezető szerepet vinnének tanítványai.

A Csetverikov által megkezdett „terep-populációgenetikát” mégis orosz kutató vitte tovább — igaz az Egyesült Államokban. T. Dobzhansky

és munkatársai Wrighttal gyakori konzultációt tartva elemezték a természetben élő populációk genetikai összetételét és annak változásait. A 30-as évek végére így született meg az evolúció ún. szintetikus elmélete, melyben a populációgenetika igen jelentős szerepet játszott.

A biológia kutatási eszközei a 60-as évekre eljutottak odáig, hogy már lehetővé vált az egyes gének fehérje-termékeit nagy tömegben, populációkban is elemezni. A különféle élőlényekből kivonható fehérjék szétválasztásával a populációk génjeinek variánsait így közvetlenül lehetett vizsgálni.

Az első ilyen felméréseket 1966-ban muslica (Lewontin és Hubby) és emberi (Harris) populációk alapján közölték. A genetikai változatoság mindkét populációban meglepően nagy volt.

Ha e nagyfokú genetikai változatoságot a szelekció tartja fenn, az egyszerűbb modellek alapján e populációk elviselhetetlen terhet viselnek. Néhány generáció alatt ki kellene pusztulniuk. E kérdéseket már Haldane is feszegette 1957-ben.

A dilemma feloldása kapcsán jutott a japán Motoo Kimura 1968-ban az akkor és azóta nagy vitát kiváltó neutrális evolúció elméletéhez. Ennek alap gondolata, erősen egyszerűsítve mindössze annyi, hogy a molekuláris evolúció fő hajtóereje, „irányítója” nem a szelekció, hanem a szaporodás során fellépő „mintavételi hiba”. Képzeljük el azt az egészen egyszerű kísérletet, hogy egy dobozban van 100 golyó. Ezek fele fekete, míg másik fele fehér. A dobozból vegyünk ki véletlenszerűen 10 golyót. Kicsi annak a valószínűsége, hogy éppen öt fehér és ugyanannyi fekete golyót húzunk. Szélsőséges esetben megtörténhet az is, hogy csak fehér vagy csak fekete golyót húzunk ki. Így az eredeti „golyópopuláció” összetétele a mintában lényegesen változhat. Teljesen hasonló jelenségek játszódnak le a természetben is kisméretű populációk esetén, továbbá olyan esetekben, amikor az új populációt néhány egyed hozza létre, pl. szigetek benépesülésekor (alapító-elv).

A neutralista hipotézis fontosságára Kimura és Ohta néhány adat ismertetésével világított rá. Szerintük a populációnak  $10^{28}$  utód árával kellene fizetnie az evolúciós változás során átlagosan feltételezett generációnkénti 6 allélcseréért. Véletlen események viszont minden generációban 25 allélcserét is megvalósíthatnak, ráadásul szelekciós ár nélkül!

Tagadhatatlanul nagy jelentőségűek ezek az adatok, azonban mindenképpen a túlértékelésű-

ket jelenti az, hogy néhány kutató „nem-darwini evolúcióról” beszél, sőt, esetleg a darwini evolúció fontosságát is kétségbe vonja. Az élőlények adaptáltsága letagadhatatlan, s bioszféránk harmóniája nem lehet teljességgel véletlen folyamatok eredménye. Legfőbb arról lehet szó, hogy jelentős mértékű evolúció történhet a szelekció irányító hatása nélkül is.

A „neutrális” evolúció elmélet a populációgenetikai kutatásokban ugyanakkor új lendületet hozott. Cikkek százai érvelnek napjainkban is pro vagy kontra. Terepen végzett felmérésekből vagy laboratóriumi kísérletekből próbálják a szelekció és a véletlen folyamatok arányait kideríteni. Számítógépekben futtatott szimulációs programok igyekeznek elkerülni a természetes evolúció sokezer éves időigényét. Ezzel egyidejűleg a populációgenetika elméleti modelljeinek a tökéletesítése is folyik. A korábban független paramétereket egymástól függővé teszik (pl. szelekció és egyedszám), a konstansokból változók lesznek, s van, aki még mélyebbre ásva próbál változásokat eszközölni.

Még 1930-ban ismertette Fisher a természetes szelekció alaptételét. Ez a mai napig a populációgenetika egyik központi eredménye. Fisher a következőképpen fogalmazta meg: „Bármely populáció rátermettségének növekedési sebessége egyenlő rátermettségének genetikai varianciájával.”

Ha megadjuk az egyedek genotípusainak rátermettségeit, ezek populációi egy „felületet” adnak egy olyan térben, melynek egyik dimenziója a rátermettség, a többi pedig a lehetséges génkombinációk gyakorisági értékei adják. A populációgenetikai, mikroevolúciós változások ezen az „adaptív tájképen” történnek. Egy szemléletes példával élve, jelképezze a populáció állapotát, helyzetét az adaptív tájképben egy turista. A természetes szelekció Fisher-féle alaptétele értelmében a turista mindig felfelé halad, így azt a hegyet mássza meg, amelynek éppen a tővében áll, haladásának sebessége pedig kondíciójával arányos. Arról semmit sem tudunk, hogy milyen útvonalon halad, csak annyit, hogy egészen biztos, hogy mindig fölfelé megy. Egy jóval későbbi kutató vizsgálta azt, hogy tényle-

gesen hogyan történik ez a hegymászás. Ez a kutató a már említett Motoo Kimura volt. Eredményének lényege az, hogy a turista mindig a legmeredekebb utat választja, hogy minél előbb följérjen, azaz a gényakoriság változása olyan, hogy a rátermettség növekedését maximalizálja. Ezt az eredményt a populációgenetikában Kimura-féle maximumelvként szokás említeni.

A két eredményt, a Fisher-féle alaptételt és a Kimura-féle maximumelvet azonban nem sikerült pontosan összeegyeztetni. A gondot talán legjobban úgy érzékeltethetnénk, hogy a „térkép” alapján megállapított és ténylegesen legközelebbi út nem teljesen egyezett meg. Ez komoly problémát jelentett, ami a tudományterület koherenciáját veszélyeztette, s így az egész populációgenetikát nagyon érzékenyen érintette.

A megoldás a 70-es években született meg. A differenciálgeometria és a globálanalízis területén akkor már jól ismert matematikus, az iráni Shahshahani adta az egészen egyszerű ötletet. Az volt a baj, hogy az irányt „euklideszi szögmérővel”, s nem a „Shahshahani-féle szögmérővel” mértük. Ez a kettő ugyanis nem azonos eredményt adott. Ez utóbival mérve valóban a leggyorsabban emelkedő utat kapjuk meg. Kevésbé képletesen szólva, hasonló megoldásról van szó, mint az általános relativitáselmélet létrejöttkor, amikor a vizsgált jelenségek modellezésére az euklideszi tér nem volt megfelelő és ennél egy általánosabb, ún. Minkowski-féle geometriájú teret kellett használni. A populációgenetikának ez a korszakalkotó felfedezése teljesen hasonló. A populációgenetika folyamatainak modelljéül az euklideszinél általánosabb, a Shahshahani-féle metrikával ellátott tér szolgál. Ez nagyon komoly fölismerés, mely talán alapvető fordulatot, s a populációgenetika fejlődésének egy új korszakát nyitotta meg.

A populációgenetika új eredményei ma már alapvető fontosságúak nem csupán az evolúció és a nemesítés megértésében, de közvetve olyan problémákkal kapcsolatban is, mint pl. az ökológia, szociológia, természetvédelem vagy akár az egész bioszféra stabilitásának kérdése.

TÓTHMÉRÉSZ BÉLA — VIDA GÁBOR