

## Biotechnika, biológiai ipar, biomérnökség

Az utóbbi két-három évtized alatt döbrentünk rá: nap mint nap együtt vagyunk, nem választhatjuk a magányt, nem menekülhetünk nemcsak közvetlen környezetünkől, de az emberiség leheletközelségéből sem. Nincs többé menhely a természetben, ahonnan immár végleg kiszakadtunk, nincs többé természet szabta határa a mesterséges emberi elszigetelődésnek. Együtt vagyunk, és ha együttlétünket nem tudjuk távlatba vetíteni, ha közös jövőnk megtervezésébe beavatkozik az önös érdek, ha bolygónk értelmes lényei nem képesek együtt — nem föltétlenül egyformán — gondolkodni, akkor együtt veszünk el a roppant tudományunkkal teremtetett „csodák” terhe alatt.

Sokan és sokféleképpen vetették be a köztudatba az emberiség pusztulásának gondolatát. A rémült borúlátás részben indokolt, hiszen sem a „tisztá”, sem az alkalmazott tudomány (technika) nem hordja lényegében az erkölcsi felelősséget — mindkettő semleges és közömbös. Korunk tudományának és technikájának csak az emberi célok adnak erkölcsi minősítést.

A jelen oly gyorsan fordul a lényeges változásokat hozó jövőbe, hogy tekintetünket érdemes körbejártni a biológiai forradalom és a tudományos-műszaki forradalom kínálta esélyek látóhatárán — feltételezve azt, hogy erkölcsi hozzáállásunk révén mindez valóban esélyt, a fennmaradás, sőt a továbbfejlődés esélyét jelenti. A két nagy forradalom „különös házassága” most van megvalósulóban, s a mondott feltétellel biztosítéka lehet a civilizált életfeltételek általános megteremtésének a rohamosan szaporodó emberiség számára. Szokatlanul új, talán nehezen elfogadható tényekkel kell megbarátkoznunk, talán szükséges helyell-köznel kérdőjellel és nem ponttal zárni mondatainkat, de vállaljuk a már megvalósult és megszokottá vált vívmányok ismeretében az optimizmus kockázatát. Ez a vállalás a tevékeny, alkotó ember jellemzője, s még tévedéseivel együtt is dicséretes.

Felgyorsult idejű századunk utóbbi két-három évtizedében az emberiség szükségletei olyan mértékben igényelték a műszaki tudományok, a technika és a technológia fejlődését, közreműködését az ember és a természet denaturalizált viszonyából származó hiányok pótlásában, hogy szinte egyszerre vált lehetővé az élő anyag elemi szerkezetének és működésének ismeretét (molekuláris genetika, bioszintézis) összeházasítani az „okos” gépek, önműködő gépsorok és egész üzemek kínálta technológiával (automatika, elektronika és kibernetika). A gyorsan fokozódó élelemhiány, az apadó klasszikus energiahordozók gondja és az ember meghosszabbíthatóknak látszó élete, valamint a természetes ökológiai állapotok megbomlása, az agroökoszisztémák további terjesztésének máris mutatkozó határai olyannyira egyszerre jelentek meg jó ideig felhőtlen életünkben, hogy rendezésükhöz világméretű összefogás, egészen új szemléletmód törvényerőre emelése szükséges.

Nem mondunk újat azzal, hogy korunk tudományos-műszaki forradalmának középpontjában az ember áll — az a *homo sapiens*, akiből mindinkább *homo technicus* lesz. Az egyik legfőbb cél az ember fizikai tehermentesítése az egyébként is sokkal termelékenyebb automatizált gépek révén, melyeknek ezentúl csak irányítása és ellenőrzése hárul az emberre — azzal a többletmegterheléssel, ami viszont éppenséggel feltétele a technikai civilizáció Föld-méretű megvalósulásának: az alkotó szellemi, értelmi képességek aktivizálásával. Éppen azért beszélünk tudományos-technikai forradalomról, mert ez a robbanásszerű fejlődés a művész alkotóműhelyétől a hadviselésig, az élelmiszertermeléstől az orvostudományig valamennyi területen lényegi változásokat eredményez, amelyek közvetében az egész emberi közösségben minőségileg mássá alakul a társadalmi-termelési látásmód. Nemcsak az ember környezete változik meg alapvetően, hanem e forradalmian új lehetőségek eredményeképpen maga az ember is tárgya lesz a szellemi-fizikai állapotát megváltoztató sajátos technológiának (például az egészségét rehabilitáló orvosi technológiának, majd később talán a hibás gének kicserélésének stb.).

Technicizálódott és kozmikus szemléletünk mélyülésével párhuzamosan módosuló földi környezetünk változásai sokkal gyorsabban mennek végbe, hogyssem ezt a viszonylag hosszú életű, tehát lassú nemzedékváltásokkal szaporodó, genetikailag kevésbé alkalmazkodóképes ember „zökkenésmentesen” asszimilálhatná. Ez a forradalmi szemlélet- és életmódváltozás napjaink legfejlettebb országaiban, első sorban a tőkésállamokban olykor szellemi-lelki válságot, erkölcsi nihilizmust és

kétségbeesést, idegrendszeri és más zavarokat, betegségeket termel a káros stressz-állapot következtében. Hacsak nem akarunk hiábavaló utópiákat építeni, a megoldás felé abból kell kiindulnunk, hogy az ember csak részben és kis mértékben mentesíthető a természet minden élőlényére érvényes biológiai törvények alól.

Mikor a biológiai forradalomnak a tudományos-műszaki forradalommal való „házasságáról” beszélünk, az élettudomány két fontos területére gondolunk elsősorban, melyeken a kutatómunka nemrég lépett ki a laboratóriumi kísérletek stádiumából. Mindkét terület a jövőnket építő tervek nélkülözhetetlen alapja, mivel az egyik az élelmiszertermelés gondjainak megoldását, a másik az egészséges és ellenálló emberi szervezet megőrzését és fenntartását célozza.

Közismert probléma a krónikussá váló élelmiszerhiány, ami csak fokozódik a föld népességének gyors gyarapodása miatt. Hihetetlennek tűnik, de így van: 1974-ben 10 millió ember halt meg éhen, és 400-500 millió gyermek gyengén táplált a bolygó úgynevezett „éhségövezetében” — ott, ahol legnagyobb a szaporulat. Afrika elmaradott országaiban, ahol az évi átlagjövedelem csak századrésze az egyesült államokbelinek (50 dollár), ahol a kezdetleges termelési mód még a termelő családjának sem biztosít elegendő, minőségileg megfelelő ételmezt, a szellemileg-fizikailag visszamaradt népesség tömegei semmiképpen sem a fokozottabb alkotómunkára alkalmas jövő emberiséget gyarapítják. Az egyenlően fejlődés rákfenéje ez a helyzet. A napjainkban körvonalazódó — s hazánk által is élénken támogatott — új gazdasági világrend arra lenne hivatott elsősorban, hogy megszüntesse a kiáltó nélkülözés és a pazarlás aránytalanságait. Az új gazdasági világrend egyben az élelmiszertermelés és -szállítás technicizálódásának előfeltétele, s általa lehetővé válik a mezőgazdaság gépesítése és kemizálása, a termelékenyebb fajták meghonosítása az ENSZ szakosított szervei útján, valamint a méltányos elosztás. A regionális érdekközösségek törekvéseinek egybehangolása, majd a bioszintézis új technológiájához nélkülözhetetlen energia- és alapanyag-felmérés az első, talán még a közeljövőben megvalósuló lépés.

Legsúlyosabb a hiány az állati termékekben. Az állati eredetű fehérje létfontosságú. A szükséges napi mennyiség csecsemőknél 1,2–2,3 gramm testsúlykilogrammonként, a gyermekeknél kevesebb (1 gramm), a felnőtteknél még kevesebb (0,7 gramm) — az utóbbiak esetében azonban a testsúly jóval nagyobb. A lényeges aminosavak, amelyek az emberi szervezet nem képes szintetizálni, sőt amelyek hiányában a többi aminosav szintetizálása sem lehetséges, állati eredetű fehérjével jutnak szervezetünkbe. A növényi fehérjékből egy vagy több lényeges aminosav hiányzik. A jelenlegi fogyasztási arányt a növényi és állati fehérje tekintetében (7:3) módosítanunk kell 5:5 arányig, más szóval emelnünk kell földünk valamennyi országában a fehérjék biológiai értékét.

Ez a halaszthatatlan feladat a háziállatállomány mennyiségileg több, minőségileg jobb termelésének serkentésére készlet. A helyzet orvoslására számos elgondolás született, kivitelezésük „ipari szinten” már megkezdődött. A kutatók és a gyakorló állattenyésztők forradalmasították a takarmányalap biztosításának technológiáját. Az olcsóbb eljárások ma már minden fejlett és fejlődő országban közzismertek, a több energiát és nagyobb fokú automatizálást igénylők elterjedése pedig folyamatban van. A növényi fehérje értékesítése szempontjából legalkalmasabb koncentrált takarmányt a silótakarmány, takarmánypogácsa, takarmányliszt biztosítja szükséges mennyiségben. Ezek előállításának egész folyamata gépesített, s így feladható a legeltetés külterjes és a taposás miatt talajrongáló hagyománya, amelyet egyben a bizonytalanság, a természet gyorsan változó bőkezűségének-szükségének kockázata jellemzett. Ugyanakkor szárítással vagy erjesztéssel lényegesen csökkent a tárolandó takarmány tömege. Az olcsó karbamidoldattal dúsított konzervtakarmány megőrzi az értékes vitaminok nagy részét is. A fejlett mezőgazdaságú országokban (NSZK, Egyesült Államok) máris továbbléptek, ezúttal a nyersen fogyasztható takarmány természetésének üzemi megoldása felé. Az úgynevezett „fűgyarak” folyamatosan friss takarmányhoz juttatják a háziállatot. A tápanyagoldatban, zárt tálcarendszerben fejlődő növények mesterséges fényt kapnak, és fiatalon teljes egészükben fogyaszthatók. Újratermelésük periódusa 8-10 nap. A folyamatosságot biológiai és műszaki — „bioműszaki” — szempontból összehangolják. Ez az üzemi rendszerű takarmánytermelés egyelőre még kísérleti szakaszban van, de nyilvánvaló, hogy a jövő mezőgazdaságának elterjedt gyakorlata lesz.

A változtató eljárások a takarmánybiztonságot világszerte aggodalomra okot adó problémáját oldják meg, hiszen a klasszikus takarmánytermelés annak ellenére sem kielégítő, hogy a mezőgazdasági területeknek több — egyes földrészekben jóval több — mint fele rét és legelő (kivéve Európa és a Szovjetunió). A felszabadult területeken a közvetlenül emberi táplálkozást szolgáló növények termesztethetők.

De nemcsak a takarmányellátás üzemi technológiáját dolgozták ki, hanem a tenyészállatok tenyészértékének genetikai úton való javítását is. A mesterséges kiválasztás klasszikus módszerével igen látványos fajtanemesítési eredményeket értünk el, de ez ma már nem elegendő. A veszedelmesen rohanó idő nem engedi meg az éveikig, olykor évtizedekig tartó kísérletezést. Az évszázad végéig hátralévő évtizedekben az állati eredetű élelmiszereket meg kell tisztázoznunk, hogy a közel kétszeresére növe emberiség szükségleteit mindenütt egyformán kielégítsük.

Ma már általánosan elterjedt gyakorlat a hím állatok onodójának mélyhűtéses tartósítása és felhasználása bárhol, bármikor — a szarvasmarha és a juh tenyészértékének növelése céljából. A központilag irányított „génbankok“ egy-egy nagyobb terület vagy egész ország állattenyésztésének gyorsabb feljavítását szolgálják.

A génmérnökség jelenlegi gyakorlata több irányú. A nőtények petesejt-termelését serkentő hormonkezeléssel lehetővé tették, hogy egy ovulációs ciklusban akár 40 petesejt is termelődjék ugyanabban az egyedben. Ezek a megtermékenyített többlet-petesejtek viszonylag egyszerű leválasztó-befecskendező technikával (széndioxidot adagolnak a méhbe, mire a zigóta leválik, s akkor a készülék másik fecskendőjével bejuttatják egy másik, szinkron ciklusban lévő anyaállatba) lehetővé teszik azt, hogy a genetikailag értékes anya- és apaállat egyszerre 40 utódot produkáljon. Ezek a nagy fontosságú kísérletek húsz-egynéhány éve kezdődtek, s a mesterséges, genetikailag ellenőrzött megtermékenyítés technológiájának széles körű alkalmazása is immár tízéves. A kutatás valamely eredményének megszületése és alkalmazása közötti idő rövidülése ugyancsak jellemző korunkra. Ezért bizhatunk abban is, hogy közel van az az idő, amikor a születendő utódok nemét a tenyésztő előre meghatározhatja. Az emlősökkel végzett kísérletek elve az, hogy a heterogám jellegű hímivarsejteket aszerint választják szét, hogy a nőtény utód születését meghatározó X, illetve a hímét meghatározó Y típusú ivari kromoszómát tartalmaz-e. A szétválasztás technikai megoldásához az ultracentrifugálás, szedimentálás (Schilling, 1965), az elektroforézis (Sreder, 1962) technológiáját alkalmazzák, valamint a kromatográfiát is. Jelenleg a nemek szokásos 50:50 arányát 60:40-re sikerült módosítani, de a kutatók ennél jobb eredményekre törekcsenek.

Az eddigi eredmények és a legújabb technológiák alkalmazása ellenére sem várható azonban, hogy az állati termékek előállításra lépést tartson az igény növekedésével, hiszen csak 1980-ra mintegy 40 százalékkal nő 1970-hez képest a világ húskereslete (az 1970-es fogyasztás 98,5 millió tonna, az 1980-ban várható 133,4 millió lesz). Éppen ezért nem véletlen a rövid tenyészidejű és fiatalon vágható állatok nagyüzemi előállítására irányuló törekvés.

Az utóbbi időben alkalmazott „ipari“ jellegű növénytermesztési technológiák reménykeltő, de hosszú távon nem érvényes megoldásokat kínáltak (például a „zöld forradalom“). Egykor a növénytermesztésben, a mennyiségi és minőségi termelés fokozásában, egyáltalán mai arculatának kialakulásában a gépesítés és a kemizálás jelentette a forradalmi változást — a megújulás tehát lényegében *nem a biológia* oldaláról jött. Ma e két változatlanul fontos tényező mellett (fontosságukat jól érzékelteti a mezőgazdaságban dolgozók számának rohamos csökkenése: a fejlett országokban az aktív lakoságnak csupán 4-5 százaléka dolgozik ebben a szektorban) a molekuláris genetika hozott lényeges változást a növénytermesztésben az új genotípusok kialakításával, a levegő nitrogénjét megkötő baktériumok több termesztett növényhez szoktatásával, a kártevők biológiai leküzdésének kidolgozásával.

A homozigóta vonalak lerövidített idejű előállítására már régebben, a negyvenes évek előtti genetika gyakorlatából is ismerték a haploidia (egyetlen genom) állapotot. Chase 1952-ben elsőként izolált haploidokat a kukoricánál tiszta homológ-vonal előállítására céljából, és az azonos génkészlet megduplázásával tökéletes homozigóta növényt nyert — sokkal tökéletesebbet, mint a csak hét-nyolc nemzedék alatt megvalósítható mesterséges szelekcióval. 1964-ben Guha és Maheswari technológiailag is hasznosítható módszert talált a közvetlenül pollenből nyert haploid növények előállítására. Alig telt el öt év, és olyan fontos kultúrnövényeknél, mint a rizs, az árpa, a burgonya stb., a homozigóta genotípus előállítására megoldódott.

A másik döntő fontosságú felfedezés volt a pillangósvirágúak gyökérszövetében szimbiózisban élő Rhizobium baktériumok mesterséges társítása más, fontos termesztett növényekkel (búza, rizs, kukorica). Ezek a baktériumok a gyökérgümőkben szénhidrátok ellenében megkötik a levegő korlátlan rendelkezésükre álló nitrogénjét, és hektáronként 50—300 kg-mal növelik a talaj nitrogénkészletét. Ez pedig nem csekély jelentőségű dolog, hiszen ha sor kerül a Rhizobium baktériumokkal társított gabonafélék vetésére, ez évente 40 millió tonna műtrágya felhasználásától mentesíti majd a mezőgazdaságot. A jelenleg még laboratóriumi eredmények remélhetőleg nemsokára a gyakorlatot fogják szolgálni.

A növényi betegségek és kártevők tömeges jelenléte a mai vetésterületeken nem véletlen: egyenesen következménye egyrészt a monokulturális gazdálkodásnak, másrészt a természetes ökoszisztémák összeszűkülésének az agroökoszisztémák javára. Egyre több parazita gomba és növényevő rovar alkalmazkodik azokhoz a termesztett növényekhez, amelyek — bőségük miatt — alkalmazzák a természetes létszámkorlátozás kényszerét. A betegségek, kártevők, gyomok évente a termés 30 százalékát is tönkretelhetik. Ezért egyre több vegyszert alkalmaznak ellenük, amelyek viszont kétélű fegyverek: a kártevőkkel együtt kipusztítják a hasznos élőlényeket, természetes segítőtársainkat, de ártalmasak, mérgező hatásúak az emberre s a háziállatokra is. Az *integrális növényvédelem* és ezen belül a *biológiai növényvédelem* a vegyszerek használatának korlátozása mellett a kártevők parazitáinak és ragadozóinak ipari hasznát és jellegű elszaporítását és a vetésterületekre való kijuttatását tűzte ki célul. Ma már több tojásfűrkész-faj tömeges tenyésztését és kitelepítését biztosítják a „rovargyárak“ entomológus „mérnökei“ és a mezőgazdasági gépesítők.

Más, a rovarok szokásainak, biológiájának ismeretén alapuló módszerek is kialakulóban vannak — az etológia hozzájárulásának köszönhetően. A hím rovarok irtása ún. szexattraktánsok segítségével, valamint sugárhatással sterilizált hímek szabadon bocsátása már kidolgozott technológiának mondható; mindkét eljárást nagyszámú alkalommal alkalmazzák. A kipermetezett baktériumkészítményeknek és különböző biopreparátumoknak nemcsak az az előnyük, hogy más élőlényekre közömbösek, hanem az is, hogy pusztító hatásuk tömegesebb és tartósabb a vegyszerekénél.

A biológia sokoldalú behatolása hagyományos élelmiszereink mennyiségi-minőségi termelésébe, a mezőgazdasági üzem, a „biológiai ipar“ kialakulása szemünk előtt megy végbe.

A futurológusok a bioszintézissel előállított élelmek gyártását tekintik a jövőnkét kétségtelenül biztosító, gyökeres megoldásnak. E jövő — takarmányozásra már napjainkban használt — élelmiszerek nyersanyagait a föld még kiaknázatlan vagy nem gazdaságosan felhasznált tartalékai jelentik: a moszatok, a metángáz, a kőolaj származékai, a cellulóz stb. Az ún. mikrobiológiai bioszintézissel 1974-ben a fejlett iparú országok üzeimében már 650 000 tonna fehérjét állítottak elő. Megalapozott számítások szerint a világ évi fehérjeszükségletének előállításához elég lenne mindössze 2,5 négyzetkilométer terület is! Ez a hihetetlennek tűnő szám a mikroorganizmusok (moszatok, élesztőgombák) gyors szaporodásával magyarázható. Az egyelőre energiaigényes gyártási folyamatok gazdaságosabbá tételét a közeljövő olcsó és kimeríthetetlen energiaforrásaitól remélhetjük.

Hogy az ember a megváltozott természettől egyre idegenebb környezetében telje értékű maradjon, szellemi-fizikai képességeit hosszú ideig változatlanul megőrize — nagyon természetes törekvés. Ezért fordul az orvosbiológusok, humángenetikusok figyelme a „hibák“ kijavításának céljával az emberi szervezet örökletes állománya felé. A forradalmi lehetőségek megvalósítója, az ember, így lesz maga is a spontán irányító, a természet mesterséges változtató beavatkozások tárgya. Alkalmazkodóképességének fokozása, örökletes tulajdonságainak társadalmi kívánalom szerinti befolyásolása — a „humángenetikus mérnökség“, az „embertermelés“ — már nem elvi lehetetlenség. Ehhez az első mesterséges gének immár kezünkben vannak. Eltekintve a szükségszerűen felmerülő erkölcsi megfontolásoktól, jelezni kell, hogy a kísérleteknél leginkább használt baktériumokkal és vírusokkal a genetika igen veszélyes útra lépett. A kórokozó mikroorganizmusokkal folytatott kísérletek során az új gént befogadó szervezet ennek patogenitását fokozhatja. Az 1974-ben éppen az ilyen szerű veszélyek miatt beszüntetett kísérleteket két év múlva újra folytatták. A biológia technikává válásának e vonalán egyelőre a kezdeteknek vagyunk tanúi: a mesterséges gének szervezetbe épülésének és megmaradásának mikéntje még alig ismert. Az emberi szervezet örökletes vagy szerzett működési hibáit kiküszöbölendő gensebészet egyelőre még nem gyakorlat. Hogy azzá váljon, előzőleg ki kell zárni a kockázat legcsekélyebb lehetőségét is. Egyrészt az erkölcsi kockázatát, hogy a gensebészetet csakis humánus célokra lehessen felhasználni — másrészt a fizikai kockázatát is, mert ezáltal nem egy akármilyen, gazdaságilag már nem nélkülözhetetlen állatfajta veszne ki, mint az számos esetben előfordult, hanem az a faj, amelyért mindez történik!