

307696

Magyar Tudomány

**GÉNTÉCHNOLÓGIA :
ALAPKUTATÁSOK,
EREDMÉNYEK, ETIKA**

PÁLYÁNK EMLÉKEZETE

PATAKI TUDÓSOK AZ AKADÉMIÁN

**INTERJÚ FRANKL PÉTER
MATEMATIKUSSAL**

FREUND TAMÁS BOLYAI-DÍJA

2000/5

Magyar Tudomány

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840

CVII. kötet — Új folyam, XLV. kötet, 5. szám
2000. május

Főszerkesztő

CZELNAI RUDOLF

Szerkesztőbizottság

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, CSÁSZÁR ÁKOS, ENYEDI GYÖRGY, KOVÁCS FERENC, KÓPECZI BÉLA, LUDASSY MÁRIA, NIEDERHAUSER EMIL, SOLYMOSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, SZENTES TAMÁS, VAMOS TIBOR

Szerkesztőségvezető

HERNÁDI MIKLÓS

A lapot készítik:

HERNÁDI MIKLÓS (társadalom- és bölcsészettudományok, Interjú), SZENTGYÖRGYI ZSUZSA (természet- és műszaki tudományok, Kitekintés), CSATÓ ÉVA (Könyvszemle, Pályánk emlékezete), GAZDAG KÁLMÁNNÉ (szerk. titkár), HALMOS TAMÁS (Magyar medicina), PERECZ LÁSZLÓ (filozófia), SPERLÁGH SÁNDOR (környezetvédelem, tudománypolitika), SZABADOS LÁSZLÓ (olvasószerkesztő), TÓTH PÁL PÉTER (szaktanácsadó), F. TÓTH TIBOR (Szellemi értékek hasznosítása)

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor u. 7., tel/fax: 317-9524

E-mail: matud@helka.iif.hu

www.matud.iif.hu

www.mta.hu

Kiadja az Akaprint Kft.

1115 Budapest, Bártfai u. 65., tel.: 206-7975

E-mail: akaprint@matavnet.hu

Előfizethető: a FOK-TA Bt. címén (1134 Budapest, Gidófalvy L. u. 21.), a Posta Hírlapüzleteiben, az MP Rt. Hírlapelőfizetési és Elektronikus Posta Igazgatóságánál (HELP), 1846 Budapest, Pf. 863 és a folyóirat kiadójánál: AKAPRINT Kft. 1115 Budapest, Bártfai u. 65.

Előfizetési díj egy évre: 3500,- Ft.

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők.

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban.

A folyóiratot a Soros Alapítvány támogatja.

A géntechnológia tudományos eredményei és társadalmi hatásai

Aldás vagy átok?

Mintegy negyedszázada ezzel a címmel jelent meg egy nagy feltűnést keltő könyv az automatizálásról és a számítástechnikáról. Azóta ezek alkalmazása — a távközléssel, a tájékoztató és hírközlő rendszerekkel összefonódva és a világot átszövő hálózat(ok)ba integrálódva — az életünket keresztül-kasul átható, szerves alkotóelemmé vált mindennapjainkban. Az is kiderült, hogy a kérdés egyik része sem igaz, vagy pontosabban: a kérdésfelvetésnek ilyen módon nincs értelme. Az integrált elektronika számos jótéményt hozott emberek, csoportok és társadalmak számára, de természetesen vannak olyan egyének, rétegek, akik (amelyek) az új tudomány és technika alkalmazásainak veszteséivé válnak. A károk, veszteségek minimalizálása természet- és társadalomtudósok, mérnökök, közgazdák, ésszel élő politikusok, filozófusok közös feladata kell, hogy legyen.

Erről is szólt a **Magyar Tudomány** 1998. februári kötete és reá következő idevágó tanulmányok sora, amelyekben az információs társadalom tudományos, technikai, és főleg: társadalmi problémáit igyekeztük feltárni. Most egy hasonlóan „forró” témakörrel, a **géntechnológiáról** próbálunk meg higgadt, elfogultságtól mentes, tárgyilagos és őszinte képet rajzolni, amikor kötetünkben a tudományág kialakulásáról, fejlődéséről, néhány konkrét alkalmazási területéről, legfrissebb nemzetközi és hazai tudományos eredményeiről, etikai aspektusairól adunk közre összeállítást.

Figyelemre méltó a bevezető cikk némileg provokatív címe, amellyel a szerző, *Venetianer Pál* érzékelteti azokat az indulatokat, amelyek napjainkban körülveszik ezt a tudományt. A szerző a géntechnológia alig néhány évtizedes történelméből kiindulva mutatja be a viták legfontosabb mozgatórugóit és a jövő forgatókönyveit. (A géntechnológiáról már megjelent egy pengeváltásos eszmecsere Venetianer Pál és Vida Gábor között a **Magyar Tudomány** idei márciusi számában, a *Viták—Vélemények* rovatban.) A következő írás szerzője, *Dudits Dénes* a géntechnológia egyik lényeges alkalmazásának, a növénynevelésnek új lehetőségeit, valamint a kockázatok mértékét, megítélésüket és kezelésük megoldási módszereit ismerteti meg az Olvasóval, egyúttal rámutatva a különböző régiók, országok közvéleményének alakulására, annak mozgatórugóira. *Bősze Zsuzsanna* a géntechnológiai alkalmazások másik nagy csoportját vizsgálja: tanulmányában a transzgenikus állatok létrehozásának tudományos hátterét, valamint az általuk nyerhető különféle javított tulajdonságok gazdasági előnyeit mutatja be. *Hadlaczky Gyula* írása kettős jelentőségű. Egyrészt megismerkedhetünk belőle a szatellit DNS alapú mesterséges

Géntechnológia összeállításunk szakmai vendégszerkesztője *Dudits Dénes*, szerkesztője *Szentgyörgyi Zsuzsa*.

kromoszómák létrehozására szolgáló technológiák hazai tudományos eredményeivel, másrészt megtudhatjuk egy magyar tudományos siker-sztori egyedi (és némileg szomorú) történetét is. A közvélemény a molekuláris genetika alkalmazásai közül talán leginkább az egészségügyben hasznosíthatókat „fogadja be”. *Raskó István* egyebek között bemutatja a Humán Genom Program megvalósulásából származó új módszereket, és részletesen kitér a legfontosabb genetikai eredetű, ma még jobbára gyógyíthatatlan betegségek tesztelésében és gyógyításában rejlő lehetőségekre. A szerző külön kiemeli, hogy óvakodnunk kell az új eljárások szenzációhajhász tálalásától. *Somfai Béla* tanulmánya egy valóban égető fontosságú problémával: a témakör etikai kérdéseivel foglalkozik, rámutatva, hogy a géntechnológiában végbemenő rohamos fejlődés megelőzte az erkölcsi és jogi értelmezést és értékelést. A szerző higgadt elemzéssel veszi sorra a pro és kontra érveket, tiszteletben tartva az ellentétes felfogásúak közelítéseit is. *Balázs Ervin* arról értekezik, hogy a hagyományos, kémiai és mechanikai alapokon nyugvó „zöld forradalom” eszköztárának és lehetőségeinek telítődésével új típusú „élelmezési forradalomra” van szükség a gyorsan szaporodó emberi ség ellátására. Egyúttal rávilágít a géntechnológia erősen eltérő fogadtatására a világ különböző régióiban.

Ezúttal *Kitekintés* rovatunk is a fő témakört szolgálja, amelyben körüljárjuk a géntechnológia gazdasági (ipari) és etikai kérdéseit, helyet adva a ellenzők táborát általában jellemző, jobbára érzelmektől és hipotézisektől vezérelt érvelésnek is.

Végül ezúton ragadjuk meg az alkalmat, hogy köszöntsük összeállításunk két szerzőjét, *Balázs Ervint* és *Hadlaczky Gyulát*, akik idén március 15-én Széchenyi-díjat kaptak tudományos munkásságukért.

Dudits Dénes — Szentgyörgyi Zsuzsa

Venetianer Pál

A génebeszlet két háborúja

Nem nagyon izléses dolog, ha egy szerző saját korábbi dolgozatára hivatkozva indítja cikkét, de van valami kísérteties abban, hogy közel negyedszázada e lap hasábjain „A varázsló pálcáját eltörlik?” címmel írt tanulmányomban [1], amely a génebeszlet helyzetéről szólt, azt a kérdést kellett felvetnem, hogy „...de vajon, lesz-e jövő?”. Most ez a kérdés sajnos ismét aktuálissá vált. A géntechnológia egyes alkalmazásai körül újra heves viharok dúlnak, számos országban a különböző motivációjú géntechnológia-ellenes mozgalmak és lobbyk a sajtó és az elektronikus médiumok lelkes támogatásával oly mértékben felheccelték a közvéleményt, hogy ismét fenyeget a komoly korlátozás, sőt a teljes betiltás veszedelemé is. Éppen ezért különösen időszerű, hogy a Magyar Tudomány tematikus összeállítását közöl a géntechnológia helyzetéről és perspektíváiról. Ennek bevezetéseként megkísérlem áttekinteni a technológia történetét és bemutatni a kiséró vitákat, összehasonlítva a mai helyzetet a vihar első hullámával, a hetvenes évekkel.

Elsőül essék néhány szó az elnevezésről. Valószínűleg az én „bűnöm”, hogy az angol *genetic engineering* génebeszétként vonult be a magyar nyelvbe. Ez nem egészen szerencsés magyarítás, mert téves asszociációkat kelt. Tapasztalhattuk az újságírók, tévériporterek meghökkenését észelve, amikor hiába keresték a műtőasztalt meg a szikét laboratóriumainkban és csalódottan regisztrálták, hogy csak standard és unalmas biokémiai felszerelést látnak. Szerencsére ma már az angolban is inkább használják a korrekt *gene technology* kifejezést, amelynek tökéletes megfelelője a *géntechnológia*. Ez nemcsak pontos, de értékmentes is, ellentétben a szintén korrekt, de némileg negatív konnotációjú „génmanipuláció”-val, az inkább gúnyszóként használt „génpiszkált”, vagy a sajnos nagyon elterjedt, de ostoba és értelmetlen „génkezelt” kifejezésekkel. Olykor használják — tévesen — a géntechnológia helyett a biotechnológia szót. E lényegesen tágabb fogalomba beletartozik a hagyományos bor-, sör- vagy sajtkészítés is. Tehát: *minden géntechnológia biotechnológia, de a biotechnológiának csak egy kis, bár egyre növekvő része géntechnológia.*

Az elnevezésen túlkerülvén, lássuk már, mit takar a géntechnológia fogalma? Természetesen igen nehéz volna pontos és egyértelmű definíciót megfogalmazni, de valószínűleg többé-kevésbé elfogadható a következő meghatározás: A géntechnológia azon eljárások összessége, amelyek tervezett, célzott beavatkozással, közvetlenül az öröklési anyag (DNS) szerkezetének megváltoztatásával, átrendezésével hoznak létre új, kívánt tulajdonságú élőlényt vagy biológiai eredetű anyagot. Egyszerűbben és pontatlanabbul: a géntechnológia az öröklési anyagba (DNS) való közvetlen beavatkozás.

Ha ezt a meghatározást előítélet nélküli, naiv olvasó próbálja végiggondolni, esetleg elcsodálkozik, hogy miért a nagy hűhő. Hiszen ha az állattenyésztő vagy növénynevelő ember évezredek óta hoz létre új tulajdonságú élőlényeket a véletlen és a tudatos keresztezés, szelekció kombinálásával, akkor miért volna olyan veszélyes, ha ezt most tervezett, célzott, vagyis pontosabb módszerekkel teszi? A feltételezett naiv olvasónak részben igaza van. A géntechnológia sokszor valóban csak gyorsabban, hatékonyabban, de ugyanazt a célt éri el, amit a természet vagy a hagyományos nevelő is tudna. A gondot az okozza, hogy a közvetlen beavatkozás olyasmit is lehetővé tesz, ami a természetben, vagy a nevelési gyakorlatban biztosan nem fordulhat elő: tetszés szerint képes átvinni egyik fajból a másikba géneket, géndarabokat, sőt mesterségesen szintetizált, a természetben elő nem forduló géneket is előállíthat és beépíthet egy élőlény öröklési anyagába.

Míndert egy alapján véve egyszerű biokémiai eljárás tette lehetővé, amelyet 1972-ben dolgoztak ki *Berg, Cohen* és *Boyer* amerikai tudósok. Amikor ezek az első kísérleti eredmények nyilvánosságra kerültek, a kutatók maguk is megrémültek az új eszközben rejlő lehetőségektől. Ennek a rémületnek az eredménye az ún. Berg-levél, amelynek aláírói felhívták a tudományos közvélemény figyelmét a technika lehetséges veszélyeire és önkéntes moratóriumot javasoltak az ilyen típusú kísérletekre, mindaddig, amíg egy autentikus testület meg nem vizsgálja, hogy mik is lehetnek a tényleges veszélyek és milyen óvintézkedésekkel, szabályokkal lehetséges ezek bekövetkeztét megelőzni. A történeti igazság kedvéért meg kell jegyeznünk, hogy Berg (aki egyébként Nobel-díjat kapott a felfedezésért) később, a következmények ismeretében, nagyon megbánta és hibának minősítette a levél megírását. A vihar ugyanis nagyobb lett, mint a levélírók gondolták volna, a tudománytörténetben példátlan módon magával ragadta a szélesebb közvélemény egy részét, sőt a politikát is. Dokumentumai egy kitűnő gyűjteményben olvashatók [2], ez ma már történelem. Minthogy azonban ma ismét egy hasonló vihar kellős közepén vagyunk, érdemes ezt a két vitát — ha úgy tetszik: génháborút — összehasonlítani. Mik a fő különbségek a hetvenes évek közepének és a kilencvenes évek végének géntechnológiai vitái között?

1. A korábbi vihar gyakorlatilag az Egyesült Államokra koncentrált, a világ többi része csak halványan reagált erre. A mai vita központja Európa, az USA szinte érintetlen.

2. A hetvenes években a kutatói közvélemény is erősen megosztott volt, jeles szakemberek is súlyos veszélyekről beszéltek. Ma nincs számottevő molekuláris biológus kutató, aki állást foglalna a géntechnológia ellen.

3. A régi vita idején még nagyon keveset tudtunk. Mind a pro, mind a kontra érvelés hipotetikus forgatókönyveken alapult, amelyek bizonyítására vagy cáfolatára akkor még nem volt lehetőség. Ma a géntechnológia az egész biomedicinális tudomány alapvető eszköze, az állítások jelentős részének igazsága hamissága kísérletesen vizsgálható.

4. A hetvenes években a félelem elsősorban a mikrobiológiai alkalmazásokat övezte, új, leküzdhetetlen, ismeretlen veszélyeket hordozó vírusok, baktériumok tudatos vagy véletlen létrehozásától féltették az emberiséget. Ma a mezőgazdasági alkalmazások, az új tulajdonságú kultúrnövényekben megtestesülő ökológiai vagy ételmisszer-toxikológiai veszélyek váltják ki a félelmet és ellenérzést.

5. Annak idején az ellentábor a géntechnológia totális betiltását tűzte zászlajára. Mint-hogy azóta a gyógyszeripari és más medicinális alkalmazások vitathatatlanul igazolták hasznosságukat és veszélytelenségüket, ma ezek ellen már nemigen tiltakozik senki, ezért is irányul az ösztűz a mezőgazdasági alkalmazásokra.

Talán ma már nincs szükség arra, hogy a negyedszázada lezajlott vita eseménytörténetét, érveit felidézzük, arról azonban érdemes szót ejteni, hogy minek volt köszönhető e vita elcsendesülése, lezáródása. Mint már hangsúlyoztam, ekkor még kiváló biokémikusok, genetikusok (*Chargaff, Wald, Sinsheimer, Signer, Beckwith*) is tiltakoztak a géntechnológia ellen, annak feltételezett veszélyeire hivatkozva — természetesen szakmai érvekkel. Ezek az érvek azonban kísérletesen vizsgálhatók voltak és ezeket az ellenőrző kísérleteket idővel el is végezték. Szigorúan elzárt biztonsági laboratóriumokban megvizsgálták különböző „worst case scenario”-kat és kiderült, hogy például a legtöbb kísérletben használt ártalmatlan laboratóriumi baktériumtörzset egyszerűen nem lehetséges veszélyes kórokozóvá tenni. A géntechnológia szabályozásáért felelős állami bizottság elnöke megfogalmazhatta azt a tételt, hogy a génszabványozás technikával létrehozott bármely organizmus annyira, és csakis annyira lehet veszélyes, amennyire bármelyik, a kísérletben felhasznált szervezet veszélyes volt. Azaz: nincsenek új, nem sejtett szörnyűségek a háttérben, a veszélyes mikroorganizmusok kezelésére vonatkozó jól bevált szabályok és övintézkedések alkalmasak az új technika kezelésére. Ez elhallgattatta a szakmán belüli ellentábor, következképpen a politika is kihátrált a vitából, nem születtek új törvények a géntechnológia korlátozására. A közvéleményre pedig elsősorban az eredmények hatottak. 1977-ben megszületett az első — gyakorlati hasznot ígérő — felfedezés, egy fontos emberi hormon előállításának bakteriális fermentációval. 1982-ban gyógyszerári forgalomba került a géntechnológiai úton — szintén bakteriális fermentációval — gyártott emberi inzulin, amelyet gyors egymásutánban követtek az interferon, a növekedési hormon, az infarktus elleni gyógyszerként alkalmazható plazminogén aktivátor, a vérképző eritropoetin és társaik. Igen nagy hatást tett a közvéleményre — és a politikára — az első beteg, egy Ashanti da Silva nevű kislány, akit a génterápia gyógyított meg egy korábban gyógyíthatatlannak minősült örökletes betegségből. Ashantit szinte „road show”-val hordozták körbe az USA-ban, bemutatták tévéműsorokban, a kongresszusban, így segítve az amerikai közvéleményben a géntechnológiáról kialakult pozitív image kialakítását.

Közben természetesen rohamléptekkel haladt a technika fejlődése a kutatólaboratóriumokba. 1982-ben sikerült először az irányított génbevitel növényekbe, valamint magasabbrendű állatokba. Ez megnyitotta az állat-, illetve növény-nemesítési alkalmazások lehetőségét. Noha a növényi géntechnológia úttörői európaiak voltak, a gyakorlati célú fejlesztések természetesen elsősorban az USA cégeiben indultak meg. (A biotechnológiában általában és a géntechnológiában különösen sokkal nagyobb az USA előnye Európával és Japánnal szemben, mint bármely más „high-tech” szférában.) A lázas fejlesztőmunka első kézzelfogható eredményei a kilencvenes évek közepére értek be. Megjelent az amerikai és angol szupermarketek polcain a lassabban puhuló-rohadó „Flawr-Saw” paradicsom, az amerikai farmerek elkezdtek vetni a különböző rovarkártevőknek, illetve gyomirtószereknek ellenálló, géntechnológiai úton előállított szóját, kukoricát, gyapotot, burgonyát. Állattenyésztési szempontból a géntechnológia eddig csekély eredményeket hozott, viszont kialakulóban van a gyógyszeriparnak és az állattenyésztésnek egy olyan sajátos

vegyüleke, amelyben háziállatokat (tehén, juh, kecske) használnak fel nagyértékű gyógyhatású fehérjék termelésére. (Az emberi fehérje termelését irányító gént úgy viszik be az állatba, hogy a gén a tejmirigyben működjön. Így a kérdéses fehérje a tejből állítható elő.) E sorok írása idején már 17 értékes emberi fehérje tejben termelését oldották meg, ezek közül három készítmény már a klinikai kipróbálás stádiumában van: az antithrombin-III, az alfa-1-antitripszin és az alfa-glukozidáz.*

Ezek a fejlemények az USA-ban gyakorlatilag következmények nélkül maradtak, nem keltettek különösebb visszhangot, ellenállást a közvéleményben vagy a politikában. Nem így Európában. Itt a különböző zöld mozgalmak elvileg következetes és kéréllhetetlen ellenállása a géntechnológiával szemben a közvélemény előtt mindig is erősebb támogatottságot élvezett, mint Amerikában, különösen a német nyelvterületen és a skandináv országokban. A közelmúltban azonban a hírhedt Pusztai-ügy kapcsán a brit közvélemény is felzúdult, és megerősödtek a betiltást, korlátozást vagy legalábbis moratóriumot követelő hangok. A jelenséggel szemben értetlenül állnak az USA szakemberei, farmerei és politikai döntéshozói egyaránt. Könnyen lehet, hogy súlyos kereskedelmi háború alakulhat ki az ellentétek miatt. Ausztrália, Új-Zéland és Japán inkább Európát követi, Dél-Amerika nagy mezőgazdasági termelő országai, valamint Kanada és Kína az USA-t, Afrika és Ázsia szegényebb országai pedig megosztottak a kérdésben.

Ha egy — állítólag szakmai természetű — kérdésben ilyen mértékben megosztott a világ, akkor ez gyanút kelt. Lehetetlen, hogy mindkét fél érvelése igaz legyen, érdemes tehát megvizsgálni a motivációkat, a hátteret. Mi magyarázhatja a homlokegyenest ellenkező megítélést? A következőkben megkísérlem néhány magyarázó tényező felsorolását és elemzését, annak előrebocsátásával, hogy e magyarázat helyességében nincs konszenzus, véleményem csak egy a számos lehetséges között.

1. Az amerikai közvélemény többé-kevésbé megbizik a kutatók, szakemberek véleményében, de ennél is fontosabb, hogy alapvetően megbizik a közérdek védelmére hivatott olyan állami szervekben, mint az FDA (az élelmiszer- és gyógyszerellenőrzési hivatal), vagy az EPA (a környezetvédelmi hatóság). Ha az FDA engedélyezi egy élelmiszerkészítmény forgalmazását, akkor azt aggály és kétely nélkül vásárolják és fogyasztják. Ha az EPA nem emel kifogást egy új kukoricafajta ellen, akkor nem hisznek a Greenpeace ellenvetéseinek. Ezzel szemben Európában a különböző zöld mozgalmak lakossági bizalmi indexe jóval magasabb a tudóstársadaloménál. A hivatalos szervek iránti bizalom korábban is alacsonyabb volt, mint az USA-ban, ezt a bizalmi tőkét tovább apasztották az utóbbi évtized egyes botrányai, így a francia AIDS-teszt ügye, a nagy-britanniai szarvasmarhák szivacsos agyosvadás (BSE) járványa, vagy a legújabb pánik, a belgiumi dioxin-ügy. Mindezekben az esetekben a közvélemény elmarasztalta a tévesen vagy késedelmesen nyilatkozó vagy intézkedő hivatalosságot. Az európai közvélemény jó része feltételezi (nem egészen indokolatlanul), hogy kormánya vagy más illetékes szervei képesek egy kis hazugságra, vagy az igazság késedelmes kimondására, ha vélt vagy valós, rövid távú nemzetgazdasági érdekek forognak kockán. Az amerikai átlagpolgár (lehet, hogy indokolatlan jóhiszeműséggel) ezt nem hiszi saját hatóságairól. Mondanom sem kell, hogy a magyar (vagy más volt szocialista állambeli) polgárnak az intézményei iránti bizalma még a nyugat-európainál is jóval alacsonyabb szinten áll. Nálunk — szerencsére — a közvéleményt még nem igazán aggasztják a géntechnológia feltételezett veszélyei. Ha azonban valóban megjelenne a félelem, biztosra vehető, hogy az illetékes szervek megnyugtató közleményei tökéletesen hatástalanok volnának, sőt olajat öntenének a tüzre.

2. Az amerikai társadalom innovatívabb, lelkesen fogadja be a technikai-tudományos felfedezéseket, hisz a haladásban. Európában sokkal erősebb a hagyományos értékek feltétele, a technikai haladásnak fenyegető, emberellenes erőként való felfogása, az újdonság iránti bizalmatlanság.

* A kérdéstről részletesen szól kötetünkben *Bösze Zsuzsanna* tanulmánya. — *A szerk.*

3. A mezőgazdasági biotechnológia terjesztői, élharcosai (és természetesen elsörendű haszonélvezői) a nagy multinacionális konszernek. Noha ezekért az amerikaiak többsége sem rajong, korántsem övezi őket és tevékenységüket olyan szigéri ellenszenv, mint Európában. Sok amerikai elfogadja az „ami jó a General Motorsnak (vagy ha úgy tetszik: a Monsanto-nak), az jó Amerikának” elvet. Olyan német azonban kevés van, aki hinne az „ami jó a Volkswagennek (vagy az AgrEvo-nak), az jó Németországnak” elvben. A géntechnológia elleni mozgalmak természetesen nagyon ügyesen rájátszanak erre a populista indulatra.

4. Az amerikaiak döntő többsége még életében nem látott kukoricaföldet. Abban a keleti és nyugati tengerparti sávban, ahol az amerikai lakosság meghatározóan nagy hányada él, semmiféle mezőgazdasági termelés nem folyik, az agrártevékenység az átlagamerikai számára valami egzotikum, aminek semmi köze mindennapi életéhez (közvetlenül a lakosság 2%-át foglalkoztatja). A környezettudatos amerikai nem óhajtja szennyezni a levegőt, a tengert, védi a Nemzeti Parkokat, de eszébe sem jut, hogy a farmerek tevékenységének — ott valahol az isten háta mögötti, unalmas Közép-Nyugaton — lehet ehhez valami köze. Ezzel szemben az európai ember közvetlen környezetében van a termőföld, a természetvédelmi területek mellett folyik a kultúrnövények termesztése, ha tehát azt olvassa vagy hallja, hogy a rovarkártévő-rezisztens kukorica telepítése esetleg fenyegeti a környezetében élő lepkéket, ez számára átélhető valóság, amit készséggel elhisz és kellőképpen felháborodik.

5. Mint már írtam, a negyedszázaddal ezelőtti „gensebézet-vita” szinte kizárólagosan az USA-ra koncentrálódott. Úgy tűnik, az amerikai társadalom akkor leereagálta a kérdést, még egyszer ebben az ügyben már nem korbácsolhatók fel a szenvedélyek. Ami most Európában zajlik, úgy látszik, egy kultúrtörténeti „spétreakció”.

6. Természetesen, minthogy a vita indulati töltését nagyrészt nem racionális érvek, hanem értékválasztások, érzelmi beállítódások adják, nem elhanyagolható tényező az egyes népek eltérő kulturális hagyománya sem. Ebből a szempontból tanulságosak az egyes európai országokban végzett közvélemény-kutatások eredményei. Kimutatható (mármint Európában) az egyértelmű korreláció a gazdasági fejlettség, életszínvonal és a géntechnológia elutasítása között (azaz: minél magasabb az életszínvonal, annál nagyobb mértékű az elutasítás). Másrészt azonban ebből a sorból erősen kilógnak a német nyelvű országok, kimagaslóan magas elutasítási arányukkal. Svájcban például a német területek élesen különböznek a francia-olasz régiótól. Erre a jelenségre két magyarázat kínálkozik. Egyrészt: a náci múlt okozta fokozott érzékenység mindarra, ami úgy értelmezhető, mint a genetika tudományával való visszaélés. Másrészt: a német romantikus irodalom túlhajtott természetimádata, természetkultusza, amely még ma is eleven tudatformáló erőként hat.

7. Utoljára, de nem utolsósorban: minden bizonynyal a legfontosabb magyarázó tényező a meztelen gazdasági érdek. Természetesen mindkét részről. Amerika évekkel megelőzi Európát a géntechnológia területén. Míg Európában — kísérleti parcellákon kívül — gyakorlatilag nincsen termelésben géntechnológiai úton módosított növény, az amerikai szójatermés 50, a gyapot 40 és a kukorica 35%-a már ilyen (e számok évről évre rohamosan nőnek). Ezt nem kormányzati nyomás érte el, hanem a piacgazdaság. A cégek fantáziát láttak ebben, éveken át dollármilliókat fektettek a kutatás-fejlesztésbe, majd piacra dobták az új vetőmagokat. A gazdák pedig, kőkemény gazdasági megfontolásból, józan önérdéktől vezetve, egyre nagyobb számban döntenek úgy, hogy noha az új vetőmagok drágábbak a hagyományosnál, a nagyobb terméseredmény és a kisebb növényápolási költség révén e kiadástöbblet bőven megtérül, tehát ilyen magokat vetnek. Most már viszont kormányzati érdek is, hogy e termények eladhatók legyenek a külpiacokon, azaz a többi ország, elsősorban Európa ne zárkózzon el megvásárlásuktól, befogadásuktól olyan érvekkel (ürügyekkel), amelyek az amerikai szakértők szerint mondvacsináltak, szakmailag megalapozatlanok.

Az állandó túltermelési válsággal küzdő Európában viszont sem a gazdák, sem a kormányok nem érdekeltek a termelés hatékonyságának növelésében, itt nem hatékonysági,

hanem támogatásszerzési verseny folyik. Még kevésbé érdekelt Európa az olcsóbb amerikai termék korlátlan beengedésében. A biztonsági okból (ürüggyel) elrendelt korlátozás tehát egyértelműen népszerű a politikusoknál is és a közvéleménynél is. Nem ez az első (és feltehetően nem az utolsó) példa arra, hogy minőségvédelmi, állategészségügyi — vagy ebben az esetben géntechnológiát korlátozó — intézkedések csak elfogadható ürüggyként szolgálnak alapján véve gazdasági protekcionista intézkedések meghozatalára. Mindezzel természetesen nem akarom azt állítani, hogy a géntechnológia veszélyességét hangsúlyozó zöld mozgalmak az európai farm-lobby, vagy az ezeket támogató politikusok fizetett ügynökei volnának, és természetesen azt sem, hogy a géntechnológia veszélytelensége mellett kiálló kutatók a multinacionális agrárcégek felbérelt lobbistái. Az azonban bizonyos, hogy a tiltakozó mozgalmak szándékos bátorításában, szavának felerősítésében (Európában), illetve fékezésében, csillapításában (Amerikában) ezek a gazdasági tényezők nem jelentéktelen szerepet játszanak.

Mindezen feltételezett okok, magyarázó tényezők áttekintése természetesen nem segít a 23 évvel ezelőtt feltett és most ismételten aktuálissá váló kérdés megválaszolásában: „...de vajon lesz-e jövő?”. A dolog kétesélyes. Az *egyik* lehetséges *forogatókönyv* szerint a haladás megállíthatatlan, az aggályok, ellenindulatok — miként negyedszázada is — ismét el fognak csitulni. Ahogyan a gyógyszeripari, orvosi területen, úgy a mezőgazdasági területen is tudomásul veszi a közvélemény, hogy nincs komoly veszély, a korlátozó rendelkezéseket fokozatosan feloldják, és az új technika éppoly gyorsan halad majd előre világhódító útján, mint az informatika.

A *másik forogatókönyv* szerint az európai korlátozások, tilalmak fennmaradnak, sőt erősödnek és tovaterjednek. Az „amerikai” (kanadai, argentin, kínai) farmerek, mivel termékeiket nem tudják eladni, illetve a jelölési, szeparálási kötelezettségek miatt csak igen nagy veszteségekkel, tehát visszalépnek, visszatérnek a hagyományos vetőmagokhoz. A cégek belátják, hogy nem megy a dolog, stratégiát váltanak, leállítják a géntechnológiai fejlesztéseket. A mezőgazdasági biotechnológia tudománytörténeti epizóddá válik.

Noha szerintem az első forogatókönyv bekövetkezésének lényegesen nagyobb a valószínűsége, jelenleg nem zárható ki a második lehetőség megvalósulása sem. A következőkben megkísérlem megválaszolni azt a kérdést, hogy milyen tényezők fogják ezt eldönteni. Talán könnyebb lesz a fordított megközelítés: mi az, ami valószínűleg nem fog ebben szerepet játszani?

Csaknem biztosra vehető, hogy tudományos érveknek, kísérleti eredményeknek, bizonyítékoknak semmi jelentőségük sem lesz. Az ugyanis elképzelhetetlen, hogy bármilyen, jövőben elvégzendő kísérlet a géntechnológia globális veszélyességét támasztja alá. Természetesen az ellenkezője sem lehetséges, a teljes és általános kockázatmentességet bizonyító eredmény. A kísérletek kizárólag egyes lehetséges alkalmazások, konstrukciók veszélyességéről vagy veszélytelenségéről szólhatnak — ahogy eddig is — és ezek alapján lehet egyes tervezett új fejlesztésektől visszalépni, a hibákat kiküszöbölni, illetve korlátozásokat, tilalmakat elrendelni. Mindez azonban nem vonatkozhat a technológia egészére. Az első génebeszet-vitában még volt ilyen szerepe a tudományos vizsgálatnak, hiszen akkor a szakmai közvélemény is megosztott és meggyőzendő volt. Ma nem ez a helyzet.

Ugyancsak valószínűtlennek tűnik, hogy az az érték- és ideológiafüggő megközelítés, amely jelenleg a géntechnológia-ellenes mozgalmakban nagyon erőteljesen jelen van (is-tentelen, természetellenes, állatkinzó stb.), döntő szerepet játsszék a küzdelem kimenetelében. Ebből a szempontból igen tanulságos az 1998-as svájci népszavazás kampányának és eredményének utólagos elemzése. Mint ismeretes, Svájcban ekkor „népi kezdeményezés”-re népszavazást irtak ki, amelynek téje lényegében a géntechnológia teljes betiltása volt (még a tisztán tudományos, laboratóriumi kísérletezést is jelentősen korlátozták volna). Az előzetes közvélemény-kutatások hónapokon keresztül a betiltást óhajtott többségét mutatták ki. Minthogy a népszavazás döntése az alkotmány erejénél fogva megváltozha-

tatlan, a tudományos közösség (és természetesen az érintett iparágak képviselői) igen erőteljes ellenkampányba kezdtek, amely végül sikerrel járt — a betiltási kezdeményezés vereséget szenvedett. Miért? Az utólagos elemzések kimutatták, hogy az ellenzők értékalapú agitációja és a géntechnológia-párt tudományos-felvilágosító érvelése egyaránt meglehetősen hatástalannak bizonyult abban, hogy az ingadozó, el nem kötelezett többséget befolyásolja. Ezt a többséget egyetlen harci jelszó mozdította meg hatásosan: az, hogy a tilalom eredményeként a gyógyszeripar nagyrészt ki fog vonulni Svájcból. Ez pedig munkahelyek tízezreinek elvesztésével és a nemzeti jövedelem csökkenésével fog járni.

Lehet, hogy a brechti „előbb a has jön, aztán a morál” tételnek ez az igazolódása szomorú hír az értelmiségi idealizmus számára, de nagyon valószínű, hogy ehhez hasonló gazdasági megfontolások fogják végső fokon eldönteni a mezőgazdasági géntechnológia sorsát. A pesszimistább változat szerint a kérdés körül szabályos kereskedelmi háború fog kitörni az USA és Európa között (erre már volt jó néhány példa a közelmúltban) és ez a háború az erősebb fél (feltehetően az USA és a multinacionális cégek) győzelmével végződik, Európa morogva és ellenkezve, de behódol.

Én azonban az optimistább változatban reménykedem. Eszerint hamarosan megjelennek a piacon a mezőgazdasági géntechnológia olyan termékei, amelyek — ellentétben az eddigiekkel — nemcsak a gyártóknak, illetve a termelő farmereknek hasznosak, hanem a fogyasztónak is. Akár úgy, hogy olcsóbbak a hagyományosnál, akár úgy (ez a fontosabb), hogy valamilyen új, előnyösebb tulajdonsággal rendelkeznek. Ilyen például az a szója, amelynek olaját sokkal többször lehet felhasználni sütésre, mint a hagyományosat, mert kevesebb benne a kellemetlen vagy káros égéstermékhez vezető komponens. A sort természetesen hosszan lehetne folytatni, magasabb tápértékű, könnyebben emészthető, kevesebb káros terméket tartalmazó élelmiszeripari nyersanyagokkal, a harmadik világ éhezőinek rendkívül fontos, magasabb A-vitamintartalmú rizsszel stb. E forгатókönyv szerint tehát a következő egy-két évben valamilyen kényszerű kompromisszum fog kialakulni a két fél között, tovább tart a huzavona, majd lassan-lassan megenyhül az európai közvélemény (és nyomában a politika), elfogadván a diadalmasan hódító új technikát, annak termékeivel együtt.

IRODALOM:

- 1 Venetianer Pál: A varázsló pálcáját eltörik? Magyar Tudomány, 22 (1977) 340—346.
- 2 J.D. Watson — J. Tooze: The DNA Story: a Documentary History of DNA Cloning. W.H. Freeman & Co. 1981.

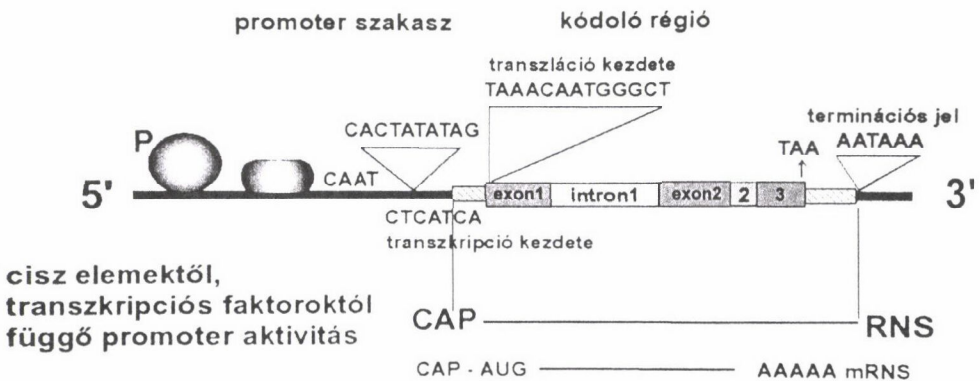
Új korszak a növénybiológiában és -nemesítésben

A tudomány eddigi története számos példával szolgált arra, hogy egy-egy zseniális felismerés nyomán a kutatás alapjaiban új metodikai háttére jött létre, ami aztán lényeges szemléletbeli változásokhoz is vezetett. Ilyen általános hatású, nagy horderejű eredménynek tekinthetjük a rekombináns DNS-módszerek kidolgozását, és ez a biológiai tudományok szinte minden területén jelentős, új felismerések megszületését tette lehetővé. A 70-es években vált lehetségessé a DNS-molekulák in vitro módosítása: restrikciós endonukleázokkal történő feldarabolása, ligázokkal való összekapcsolása, kör alakú plazmid DNS-ek segítségével adott szekvenciárészek felszaporítása (klónozása). Elkészültek az első génkönyvtárak, megvalósíthatóvá vált a gének izolálása. A nukleotidok sorrendjének meghatározására kidolgozták a DNS-szekvenálás módszerét. A DNS kémiai szintézise szintén fontos eleme a rekombináns DNS-technológiának. A rövid DNS-szakaszok szintetizálása különösen nélkülözhetlenné vált a polimeráz láncreakcióval (PCR) megvalósított DNS-molekula megsokszorozásánál. A kémcsőben kialakított DNS-molekulák a transzformáció módszerével visszazárhatóak a sejtekbe, biztosítható az idegen, transzgén működőképessége. Új, hirtív DNS-molekulák, fehérjék szintézisével megváltoztathatók a sejtek funkciói, új öröklődő tulajdonságok alakíthatók ki.

Teljesen magától értetődő, hogy a mikrobiális kísérleti rendszerekben kidolgozott megközelítések a növénybiológusok számára is izgalmas kutatási lehetőségeket kínáltak. Az első növényi génilizálási próbálkozások eredményeiről 1979-ben Edinburghban megrendezett konferencián számoltak be a kutatók. Ekkorra már idehaza is folytak növényi DNS klónozására épülő kísérletek. Az MTA Szegedi Biológiai Központ Genetikai Intézetében Koncz Csabának és munkatársainak a kukorica mitokondriumában található plazmid DNS klónozásáról készült közleménye 1981-ben jelent meg. Ez jelentette a növényi géntechnológia hazai kezdetét [1]. A legfontosabb módszereket ez ideig csak kevés magyar nyelvű könyv ismertette [2, 3, 4]. A géntechnológia és a kapcsolódó molekuláris módszerek az elmúlt 20 év alatt nemcsak a növények életjelenségeinek megismerésében váltak nélkülözhetlenné, hanem a fajtaelőállító növény-nemesítés eszköztárát is sokban gazdagították. Az alábbiakban néhány példa segítségével mutatjuk be a rekombináns DNS-módszerek használatára épülő megközelítések lényegét, különös tekintettel a nemesítési felhasználásra. A génilizálás és -beépítés alapot ad a növények agronómiai hasznosíthatóságát javító tulajdonságok kialakításához. Így egyre intenzívebben folynak a géntechnológia módszereit felhasználó növény-nemesítés. Köztermesztésben már vannak fajták, amelyeket ezen az úton állítottak elő. A géntechnológiával nemesített (GN) fajták (a sajtóban genetikailag módosított szervezeteknek, GMO-nak nevezik ezeket a növényeket) terjedésével kapcsolatban igen heves viták alakultak ki az előnyöket és kockázatokat illetően. Ezért indokolt, hogy — néhány szempont felvázolásával — kísérletet tegyünk az álláspontok közelítésére.

A DNS-szekvenciától a funkcióig: növényi genomprogramok

A DNS-molekula nukleotid-sorrendjében tárolt információ részint az RNS- és fehérje-molekulák szintézisének (transzkripció, illetve transláció) irányításán keresztül meghatározza a sejtekben lejátszódó folyamatokat, részint kromoszómákba való szerveződést követően az információ átkerül az osztódással létrejött utódsejtekbe, így biztosítva az információ megőrződését, öröklődését. A géneket, az örökítő anyag funkcionális egységeit a genetikusok hosszú ideig csak a felszínen megjelenő tulajdonságok, a fenotípus vizsgálataival tudták azonosítani és tanulmányozni. A rekombináns DNS-módszerek kidolgozásával vált lehetővé a gének izolálása, szerkezeti elemeinek behatárolása és módosítása. Sor kerülhetett nagyszámú növényi gén szekvenciájának meghatározására, majd pedig felismerhetővé váltak a legfontosabb funkcionális elemek, mint ahogy azt az 1. ábra bemutatja. Az 5' végen elhelyezkedő ún. promotorszakasz felelős a gén működésének szabályozásáért. Az itt található szekvenciamotívumok (*cisz-elemek*) specifikus fehérjéket (*transzkripciós faktorokat*) képesek megkötni. Az így kialakuló fehérje–DNS kölcsönhatás felelős lehet az mRNS (messenger [m], hírvivő RNS, l. 1. ábra) szintézisének megindításáért vagy a gén működésének leállításáért. A növény életciklusának különböző szakaszaiban a gyökérben, a szárban vagy a virágban más-más gének működnek és irányítják a sejtek funkcióit, a szervek differenciálódását. A gének promoterei döntő szerepet játszanak a szövet- vagy szervfüggő génműködés biztosításában. Vannak olyan promoterek, amelyek csak akkor kapcsolnak be, ha a növényeket valamilyen stresszhatás éri. Természetesen azonosíthatók alapvető, minden sejt működéséhez szükséges fehérjék, enzimek is. Az ezeket meghatározó gének promoterei folyamatos, ún. *konstitutív* működést mutatnak. A biotechnológiai alkalmazások szempontjából kiemelt jelentősége van a promoterként funkcionáló DNS-molekuláknak, hiszen segítségükkel érhető el a célnak megfelelően szabályozott génműködés. Ezért külön géntechnológiai programok szolgálják a promoterek izolálását; az így kapott szekvenciák gyakran szabadalmi védelmet kapnak, és eladható terméként jelennek meg.



1. ábra.

A növényi gének főbb strukturális és funkcionális elemei

A növényi gének is rendelkeznek az ún. *kódoló régióval*, amelynek DNS-szekvenciája először hírvívó RNS-sé íródik át, majd megtörténik a fehérje szintézise. A gén 3' végén található még az ún. *terminációs jel*, amely behatárolja az mRNS-molekula hosszát. A génizolálás célja sok esetben nem az ún. *genomikus klón* megkeresése, hanem az mRNS-ről készült kópia-DNS (cDNS) *in vitro* szintézise. A cDNS-ek reverz transzkripcióval nyerhetők, amelyek a sejtekben éppen működésben lévő géneket reprezentálják. Mind alapkutatási, mind alkalmazási szempontból figyelemre méltó információkhoz juthatunk, ha különböző állapotú sejtekből származó mRNS-molekulákról készítünk cDNS-klónárakat, valamint azokban a megegyező és eltérő cDNS-klónokat azonosítjuk. Így például összevethető a baktérium által fertőzött, illetve nem fertőzött, a hidegkárosított és normál hőmérsékleten nevelt gyökér-, levél-, szár eredetű sejtekben a *génkifejeződési mintázat*, és felismerhetők az egyes sejtállapotokra jellemző cDNS-klónok. A differenciális génkifejeződés tanulmányozásában az utóbbi években jelentős előrehaladást jelentett a *DNS-chip technológia** megszületése. Nagyszámú, akár több tízezer cDNS-klont — egy szigorúan meghatározott rendszerben, robot segítségével — üvegfelületre rögzítenek, amihez fluoreszcens próbák hibridizálhatók, különböző eredetű sejtekből származó minták felhasználásával. A hibridizációs jel erősségének mérését, valamint a specifikus fluoreszcens jelek szétválasztását lézerleolvasó készülék végzi. A digitalizált jelek analizálásával azonosíthatók azok a cDNS-klónok, illetve az általuk képviselt gének, amelyek meghatározott sejtállapot esetén vagy erős kifejeződést mutatnak, vagy kikapcsolt állapotban vannak. A cDNS-klónok szekvenciájának ismeretében a nemzetközi adatbázisok segítségével megállapítható, hogy az adott gén egy ismert vagy ismeretlen fehérjét kódol-e. Ha új, az adatbázisban nem szereplő fehérjét azonosított a vizsgálat, már akkor is — a kifejeződési mintázat alapján — bizonyos funkcionális információhoz juthatunk. Részletes felbontású transzkripciósmintázat-értékelés megbízható kiindulópontot jelent a funkciók behatárolásához.

Több növényfaj bevonásával is folyamatban van különböző eredetű génkönyvtárakból véletlenszerűen kiválasztott cDNS-klónok szekvenciájának meghatározása. A nagy teljesítményű, automata DNS-szekvenátorok egy-egy növény esetében akár több tízezer cDNS-t mint génkifejeződési markert (expressed sequence tag, EST) is azonosíthatnak. Napjainkban a legnagyobb EST adatbázisok rizs és *Arabidopsis*** esetében állnak rendelkezésre. Az EST-klónok 25%-a már ismert gén megfelelője. Az EST cDNS-ek igen fontos szerephez jutnak a genetikai és molekuláris térképek elkészítésénél. Az EST programokkal párhuzamosan folyik nagyméretű (300—1000 kb [ahol 1 kb = ezer nukleotid]) növényi genomikus DNS-szakaszok klónozása bakteriális vagy élesztő vektorokba (bacterial artificial chromosome, BAC; yeast artificial chromosome, YAC). Az ilyen génkönyvtárak jelentik az alapját a sokszor nemzetközi összefogással megvalósuló *szekvenálási programoknak*, amelyek célja valamely növény teljes DNS-állományára kiterjedően a nukleotidsorrend megfejtése. A legfrissebb közlemények szerint az *Arabidopsis* 2. és 4. kromoszómájának megszekvenálása sikeresen befejeződött [5, 6]. Ez fontos mérföldkő a teljes genom DNS-szekvenciájának meghatározását célzó programokban. Feltételezhető, hogy a nukleotidsorrend megfejtése sikeresen halad a rizs és kukorica esetében is. Két kromoszóma adatai alapján 40—60% az ismeretlen gének aránya. Érdekes eredmény, hogy igen nagymértékű genomátrendezésre utaló szekvenciamotívumok találhatóak. Magas a gének, illetve a kromoszómaregiók megduplázódásának gyakorisága.

A folyamatban lévő szekvenálási programok jelentős szellemi és anyagi háttérrel igényelnek. Szinte elképzelhetetlen, hogy a felszínre került információkat ne használják fel a növénybiológiai alapkutatásokban, illetve az alkalmazott molekuláris növénynevelés-

* A DNS-chip technológiával találkozhatunk még kötetünkben *Raskó István* tanulmányában. — *A szerk.*

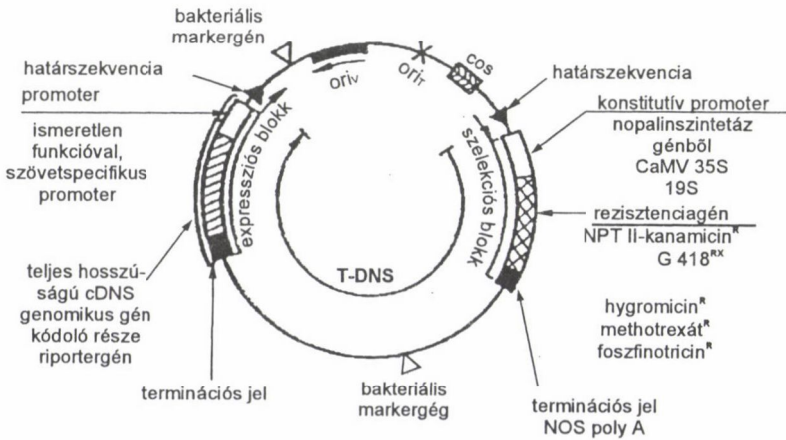
** A molekuláris növénybiológiai kutatások modell-növénye.

ben. Különösen így lesz, ha minél több szekvenciariészlet esetében megállapítható a kódolt fehérje szerepe is akár szekvencia-összehasonlítás, akár fehérje-fehérje kölcsönhatás segítségével. Az ún. *funkcionális genomprogramok* többféle megközelítést is felhasználnak. Az evolúció során struktúrájukban és funkciójukban konzervált fehérjék jellemzése megtörténhet heterológ sejtekben. Így élesztőtőmutánsok eredményesen használhatók növényi cDNS-ek funkciójának megállapításához. Mutációk kijavitása, komplementációja vezetett például több növényi sejtciklusgén izolálásához. Igen kiterjedten használják az *élesztő kéthibridrendszer*t fehérje-fehérje kölcsönhatásban résztvevő partnerek génjeinek klónozására. Ebben a kísérleti rendszerben az élesztősejtek akkor szaporodnak, ha két növényi cDNS-t hordozó plazmiddal történt transzformáció után a szintetizálódó fehérjék komplexeket képeznek. A kölcsönhatás ténye már funkcióra vonatkozó információ, amelyet természetesen más módszerekkel is indokolt megerősíteni. A gén és funkció összekapcsolásában kiemelt szerephez jutnak az *inszerciósmutáns-gyűjtemények*. Ezekhez úgy juthatunk, hogy ugráló gének, ún. transzpozonok vagy ismert szekvenciájú idegen DNS-szakaszok beépülnek a növényi gén bármely régiójába, és így a gén elveszti működőképességét. A gén működési hibája folytán megváltozott mutáns fenotípus alakul ki. Mivel a mutációt kiváltó DNS szekvenciája ismert, a beépülésük helyét közrefogó DNS-szakasz, az elrontott gén izolálható és szekvenciája meghatározható.

Ezzel kezdetét veszi a gén funkcionális analízise, amikor kapcsolat teremthető egy fenotípus és a szekvenciaadat között. A gének funkciójára vonatkozó közvetlen információt a génbeépítés, az ún. transzformáció módszerével nyerhetünk. Ha működőképes formában akár genomikus klón promotorrégióját vagy kódoló szekvenciáját, akár cDNS-t visszajuttatunk növényi sejtekbe, melyekből aztán transzgenikus növényt nevelünk fel, akkor a fenotípusos bélyegek megváltozásából következtetni lehet a gén szerepére. *A transzformáció módszere elengedhetetlen eleme a funkcionális genomprogramoknak.* Magától értetődő törekvés, hogy ha a növénybe beépített gén kifejeződésének eredményeként agronómiai szempontból kedvező változás következik be, akkor azt a növénynemesítő hasznosítani akarja. Igen visszás helyzetet szűlné, ha az így nyert értékes tenyészcsoportokat csak azért kellene kidobni, mert azok izolált gén beépítése nyomán alakultak ki. Mint korábban láthattuk, a szekvenálási programok a teljes DNS-állományt veszik célba. Ezzel egy időben alig találhatunk növényi szervet, életjelenséget, amellyel kapcsolatban ne lenne folyamatban génilizálási munka és természetesen transzformánsok előállítás. Könnyen belátható, hogy ezek közül azok a géntechnológiai megoldások, amelyek *nemesítik a növényeket*, azaz emberi igényeket kielégítő terméket biztosítanak, *előbb vagy utóbb felhasználásra kerülnek*. Nem véletlen, hogy a legutóbbi években ugrásszerűen megnőtt a transzgenikus technológiára alapozott szabadalmak száma. Ennek az igen intenzív technológiai fejlesztésnek az alapját a legújabb tudományos eredmények jelentik, így volt ez a növénynemesítés korábbi története során is. Gondoljunk a citológiai megfigyelésekre épülő poliploid nemesítés sikereire. Néhány évtizede elegendő információt jelentett a kromoszómák számának meghatározása. Napjainkban ez már kevés, és a módszerek a genetikai anyag mélyebb szerveződési szintjeinek feltárására hivatottak. Mindinkább a sejtfunkciók, a fejlődési program genetikai szabályozásának központi problémájává válik annak tisztázása, hogy a sejtet ért külső jelek miként tevődnek át a transzkripciós változások szintjére. Az egyes jelátviteli láncolatok koordinációjára épül az egyedfejlődés belső programozottsága, a külső környezeti tényezőkre adandó válaszreakciók létrejötte. A génilizálási kísérletek megközelíthetővé teszik ezeket az alapvető biológiai kérdéseket, ugyanakkor hozzájárulhatnak a növénynemesítés eredményességéhez is.

A transzgenikus növények előállításának módszerei

A nemzetközi gyakorlatban és így automatikusan a hazai sajtóban is, a génbeépítéssel létrehozott transzformánsokat *genetikailag módosított szervezeteknek* (genetically modified organisms, GMOs) nevezik. Ez a nem igazán szerencsés szóhasználat sok félreértésre ad lehetőséget. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a ténytet, hogy *minden köztermesztésben lévő gazdasági növényünk genetikailag módosított szervezet*, hiszen amikor a nemesítő keresztezést végez és szelektálja a kívánt tulajdonságú növényeket, akkor drasztikusan megváltoztatja a növény génállományát. A transzgenikus növények előállítása csak módszerében új nemesítési eljárás, de a lényeg ebben az esetben is új génkombinációk létrejötte. Indokoltabb lenne transzgenikus növényekről, illetve *géntechológiával nemesített* (GN) *fajtákról* beszélni. Természetesen vannak lényeges megkülönböztető jegyei is ennek a technológiának. Elsőként említhetjük, hogy míg a nemesítói munka során az ivarsejtek, illetve a megtermékenyített petesejt, a zigóta közvetíti az új génvariánsok létrejöttét, addig az izolált géneket, a mai gyakorlat szerint, *testi*, ún. szomatikus sejtekbe építjük be. Ennek megfelelően külön feladatot jelent fertilis növények felnevelése a transzformált sejtekből. A növények esetében az egyedfejlődési program rugalmassága folytán a differenciált levél- vagy gyökér eredetű sejtekben is kialakulhat totipotens állapot, és embriogenezisen vagy organogenezisen keresztül teljes értékű, földbe kiültethető növény nyerhető egyetlen tenyésztett sejtből. Napjainkra szinte valamennyi termesztett növény szövettényészetében kidolgozott a növényregeneráció metodikája. A génbeépítés másik fontos eleme a *transzformációs vektor*, amelynek főbb alkotóit az 2. ábra szemlélteti. A plazmid DNS-molekula több funkcionális részt is tartalmaz. Transzformálás során csak néhány sejtbe kerül be az idegen DNS, és még ritkább a sejtmagi vagy organellum DNS-be történő integráció bekövetkezése. A transzformált sejtek, növények kiválasztását a rezisztenciamarkert hordozó szelektációs blokk biztosítja. Az itt elhelyezkedő antibiotikum- vagy herbicidrezisztenciagént valamilyen konstitutív promoter működteti. Az utóbbi időkben megfogalmazott fenntartások miatt az antibiotikumrezisztencia-gének használata háttérbe szorul, és növényi eredetű markerek kapnak elsőbbséget. A biológiai hatást biztosító gén lehet cDNS vagy genomikus DNS-szakasz. A hatékony termék-előállítás érdekében indokolt lehet mesterségesen szintetizált gén beépítése a vektormolekulába. Ilyenkor növényi kód használatával növelhető a fehérjetermék mennyisége.



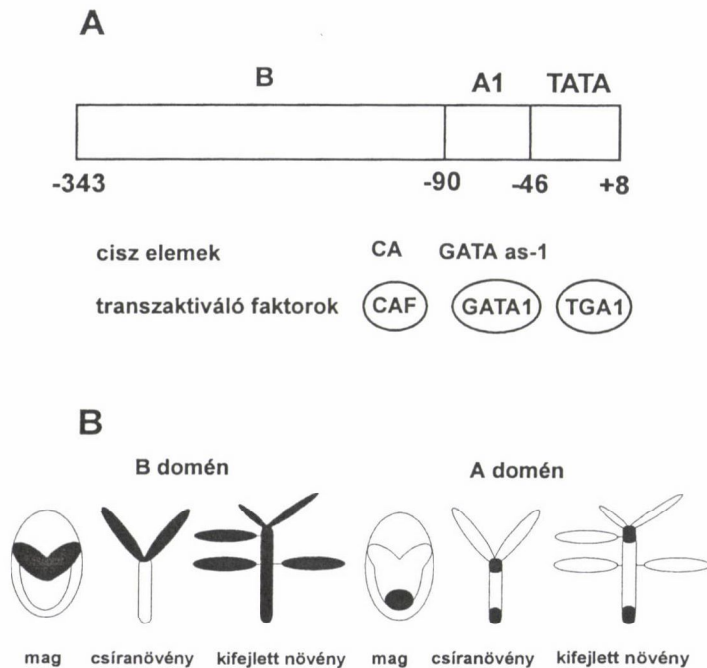
2. ábra.
A transzformációs vektor felépítése

A transzformációhoz használt gén igen gyakran növényből származik, sok esetben ugyanannak a fajnak a génjét építik vissza. A promoter megváltoztatása, irányított mutációk kialakítása a meglévő anyagcsere-folyamatok lényeges módosítására, új tulajdonságok kialakítására ad lehetőséget. Különösen eredményes lehet az ún. *antiszensz* megközelítés, amikor a gén kódoló régióját fordított orientációban építik össze a promoterral, és a képződő antiszensz RNS-molekulák hibridizációval hatástalanítják a növény eredeti génjéről szintetizálódott mRNS-molekulákat. Ennek következtében nem keletkezik fehérjetermék, elveszik egy funkció. Ezt a stratégiát sikeresen használták például a paradicsom érésének befolyásolására. Az etilén érést serkentő növényi hormon, szintézisét gátolva piacképes terméket lehetett forgalomba hozni. *A növényi DNS-szekvenenciák felhasználásával megvalósított transzformáció elvben nem különbözik a keresztezéssel történő géntáviteltől.* Integráció után a beépített gén a recipiens növény többi génjéhez hasonlóan viselkedik. Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy a mendeli törvények szerint öröklődnek, ki vannak téve molekuláris módosításoknak, mint pl. a metilációnak. A növényi géneket felhasználó géntechnológiai eljárások esetén kevésbé kell számolni nem várt mellékhatásokkal. Egyetlen izolált gén beépítése nagyfokú specifitást, a hatások pontosabb irányíthatóságát teszi lehetővé. Keresztezést követően nagyszámú gén véletlenszerű kombinálódása következik be. Ezért a növénynevelés hasadó utódgenerációkban végzi el a szigorú szelekciót. Eltávolítja a nem kívánt tulajdonságokat hordozó egyedeket, további szaporításra és vizsgálatra csak az értékes tenyészanyagot használja. Növények esetében a transzformáció jelenlegi módszerei nem teszik lehetővé az idegen gén integrációjának irányítását. Nem működnek hatékonyan a homológ rekombinációhoz szükséges mechanizmusok, így a beépülés véletlenszerű. Gén integrálódhat funkcionálisan fontos DNS-szakaszba, ami inszerciós mutációt eredményezhet. A környező DNS-régiók is befolyásolhatják a beépített gén kifejeződését. Bekövetkezhet a gén elhallgattatása vagy kontrollálatlan működése. Sokszor a beépített DNS egyszerre több példányban is megtalálható a transzformánsok genomjában. Ezek a bizonytalan események azonban nem akadályozzák meg használható tenyészanyagok előállítását. A keresztezéses nemesítés gyakorlatához hasonlóan több generáción át kell értékelni a transzformációból származó növények agronómiai és piaci értékeit, és csak a kívánt tulajdonságokkal rendelkező növények maradnak bent a nemesítési programban. Mindezek szükségessé teszik akár több száz független transzformáns előállítását és a több generáción át folytatott szelekciót, mielőtt sor kerül a fajtaminősítésre és a GN növény termesztésére. *A transzformációs módszer a növénynevelés integráns része, és csak az alapanyag-előállítás fázisában különbözik a többi nemesítési eljárástól.*

A transzformációs vektor kialakításakor növényi promoterral összeépíthetők vírusból, baktériumból, élesztőből vagy akár állatokból származó DNS-szakaszok. Számos példa ismert arra, hogy ezek a heterológ gének kifejezethetők transzgenikus növényekben, ami hasznos tulajdonságok megjelenéséhez vezethet. A genetikai beavatkozásnak ezen esetei már alapvetően eltérnek a keresztezéses nemesítés során lejátszódó genetikai rekombinációs folyamatoktól. A génbeépítés következtében a korábbiakban nem létező génkombinációk jönnek létre, új anyagcsereutak és termékek alakulhatnak ki a növényekben. Mivel megnő az előre nem jelezhető hatások valószínűsége, ezekben az esetekben szükségessé válik a transzformánsok még sokoldalúbb értékelése. *Gén- és növénykombinációnként változhat a transzformáció hatása,* ami kizárja, hogy általános érvényű következtetéseket vonjunk le akár sikeres, akár sikertelen kísérletekből. A több tízmillió hektáron folytatott termesztési tapasztalat arra utal, hogy agronómiai értékű fajták állíthatók elő vírális vagy bakteriális gének növényekbe történő beépítésével. Ez ideig nem tudunk biológiai katasztrófáról a géntechnológiával nemesített fajták esetén.

A géntechnológiára támaszkodó nemesítés eredményessége érdekében kiemelt figyelmet célszerű fordítani a promoter eredetére és működésének sajátosságaira. A promoter kiválasztásakor a kialakítandó tulajdonság, az előállítandó termék alapvetően körülhatárolja a lehetőségeket. Biológiai aktivitással rendelkező anyagok termeltetésére a növények

mint biofermentorok előnyösen hasznosíthatók. Gazdaságos hatóanyag-előállításához célszerű az idegen gént egy magas kifejeződést biztosító, konstitutív promoterral működtetni a transzformáns növényekben, amelyek aztán ipari felhasználásra kerülnek. Számos géntechnológiai megoldásnál *indokolatlan a beépített gént folyamatosan kifejezteni, mert a gén termékére csak bizonyos szövetekben, szövetekben, a fejlődés egy rövid szakaszán van szükség*. Felesleges például egy gyomirtószer-rezisztenciát eredményező gént a szója vagy kukorica termésében aktív állapotban tartani. A rezisztenciagén által kódolt fehérjének a vegetációs periódus korai szakaszán van szerepe, amikor a gyomirtó szert kipermetezik. A későbbiekben a virágzási és magkötési stádiumban a terület borítottsága gátolja a gyomosodást. A génizolálási programok feltárnak olyan géneket, amelyek a zöld vegetatív szövetekben fejeződnek ki, az ivarszervekben és a fejlődő magban nem működnek. Ezek promotereivel biztosítható, hogy a fogyasztásra kerülő termék mentes legyen a rezisztenciagén termékétől. A géntechnológiai beavatkozások precizitásának növelésével a vásárlói fenntartások mérsékelhetők, hiszen megoldható, hogy a transzformációval előállított fajta termése azonos összetételű legyen a kiindulási fajtáéval.



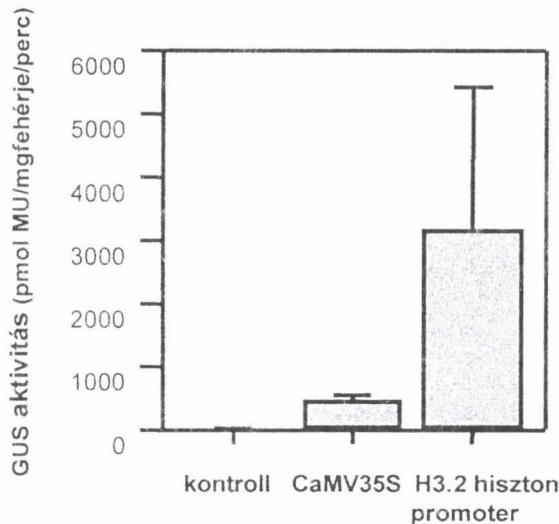
3. ábra.

A virális CaMV35S promoter fő funkcionális elemei és működésük jellegzetességei a β -glukuronidáz riportergén működése alapján.

A TATA boxot és az AS-1 cis elemet tartalmazó A domén az embrió gyökérkezdeményében valamint a hajtás- és gyökérmerisztémában biztosít aktivitást. A teljes hosszúságú B elem a sziklevelekben (mag és csíranövény), illetve a kifejlett növény valamennyi szövetében működteti a riportergént (Benfey és Chua, 1990 nyomán)

Az utóbbi hónapok sajtóvitáiban kiemelt figyelmet kapott a karfiol mozaik vírusból származó ún. CaMV35S promoter. Mint a 3. ábrán [7] látható, ez a 343 nukleotidból álló DNS-szakasz több transzaktiváló faktort tud megkötni a növényi sejtekben, és sajátos génkifejeződési mintázatot eredményez a transzformáns növényekben. Ezt a konstitutív

promotert igen széleskörűen használták transzgenikus növények előállításakor. A kísérleti értékelés alatt lévő tenyésztényanyagok, illetve termesztésbe vont fajták többsége hordozza ezt a rövid DNS-szakaszt. Annak ellenére, hogy nem állnak kísérleti adatok rendelkezésre, felmerült, hogy ez a szekvencia részt vesz nagymértékű genomátrendeződésekben és horizontális génátvitel esetén az emberi egészséget is veszélyeztetheti [8].

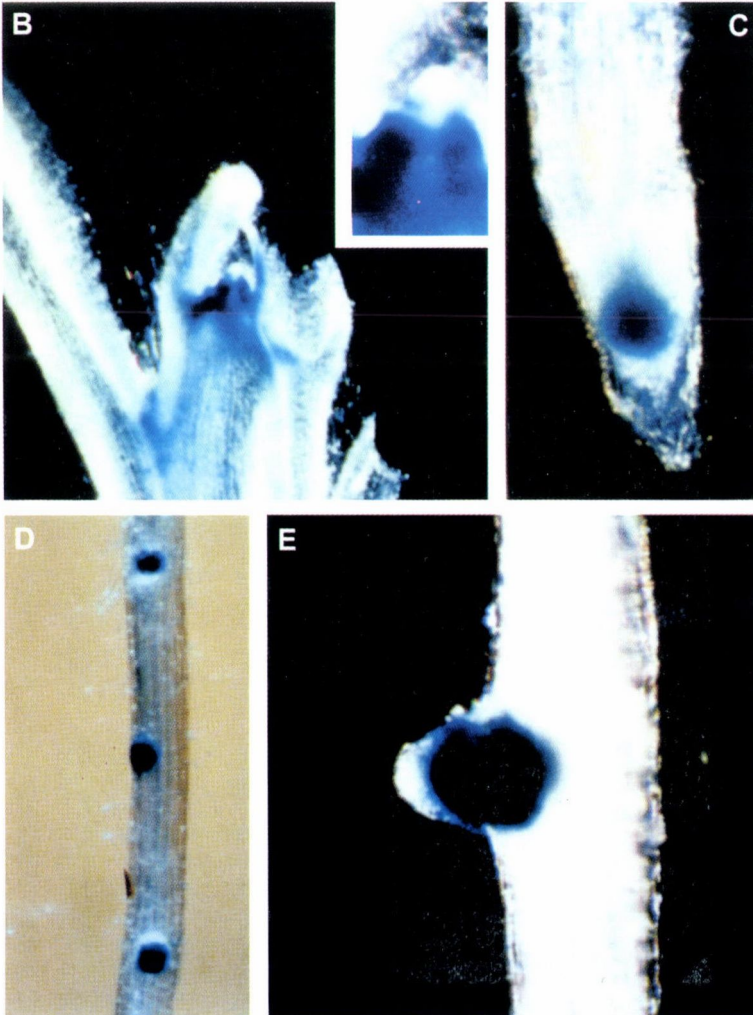
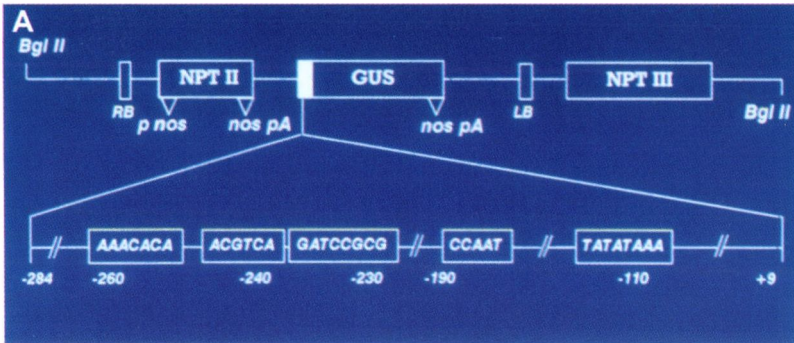


4. ábra.

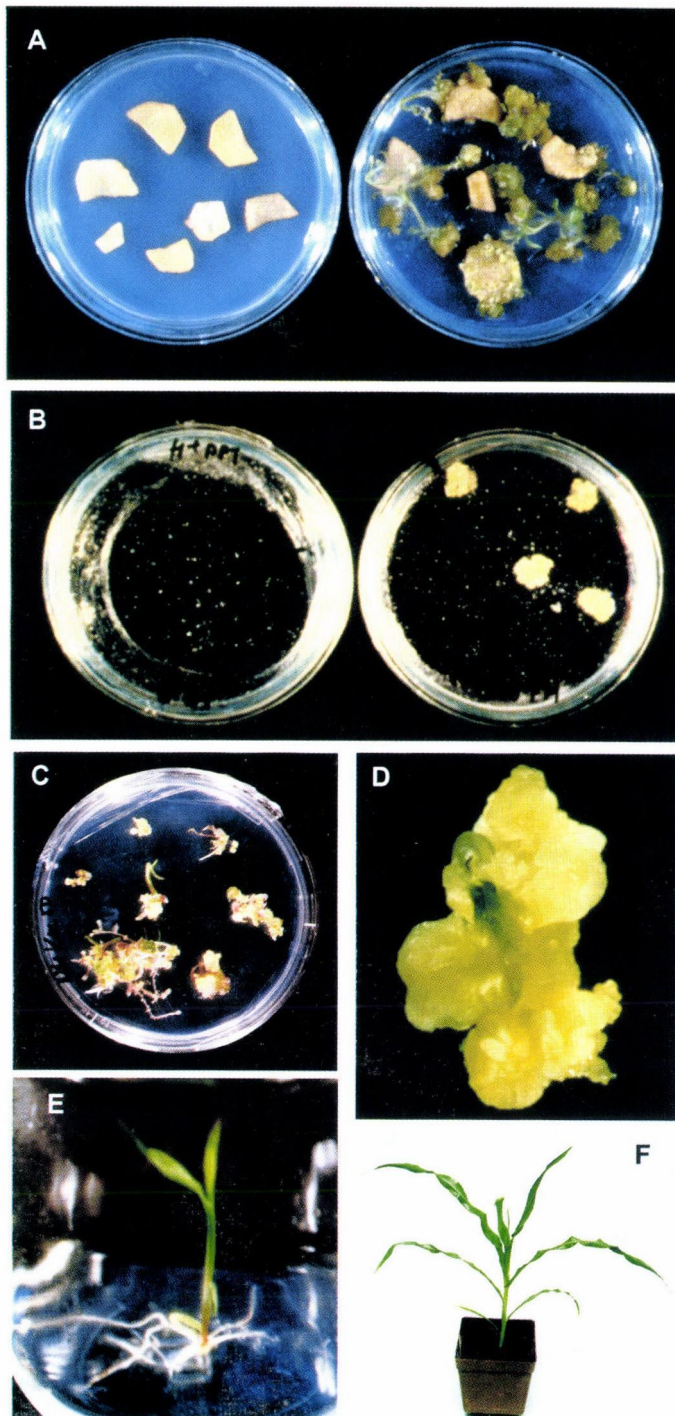
A polipirimidinekben (timin, citozin) gazdag régiókat tartalmazó konstitutív lucerna H3 hiszton gén promotere magas ripotergén-kifejeződést biztosít dohány transzformánsokban.

β-glukuronidáz (GUS) enzim aktivitása 4-metilumbelliferil-glukuronid szubsztrát jelenlétében (Kelemen Zsolt és Kapros Tamás kísérlete, SZBK, Szeged)

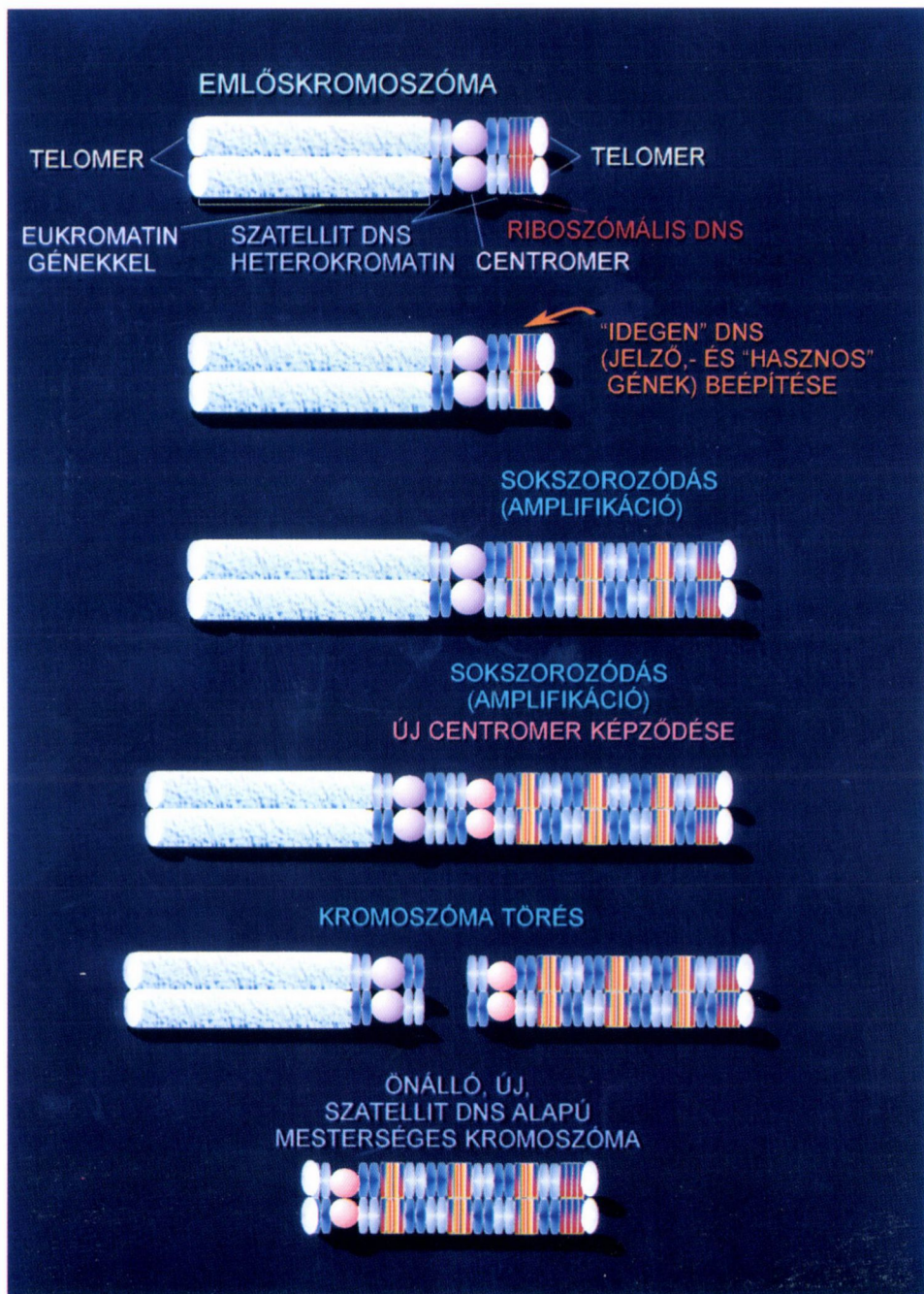
Az indulatoktól fűtött vitákban nehéz eligazodni, különösen olyan kérdésben, amelyet kísérletesen nem vizsgáltak. Sürgetve az ilyen kutatások elindítását, néhány szempont felvetése talán segít a véleményalkotásban. A növényi vírusok kutatói szerint Angliában a piacon árult karfiol és karalábé 10%-a fertőzött ezzel a vírussal. Ez azzal jár, hogy a növény minden egyes sejtjében 100 000 kópiában van jelen a teljes vírus DNS. Ezzel szemben a transzformáns növények sejtjeiben 1–5 példányban található a 343 nukleotidnyi DNS-darab. Mindez azt jelenti, hogy tízezerszer több vírus- és promoterszekvenciát fogyasztanak az emberek, mint amennyi a transzformáns növényekben megtalálható. Ezeket az adatokat vette figyelembe az amerikai mezőgazdasági minisztérium, amikor évekkor ezelőtt a kockázatot elhanyagolhatónak minősítette. Érdemes megemlíteni, hogy a CaMV35S promotert hordozó transzformánsokkal végzett etetési kísérletek nem mutattak káros elváltozást csirkében, halakban, szarvasmarhában és patkányban [9]. Addig is, amíg kísérleti eredmények birtokában a kérdés megnyugtatóan megválaszolható lesz, indokolt alternatív promoterek után kutatni. A növényi eredetű regulátor szekvenciák közül jelentősége lehet a lucernából izolált hisztonpromoternek. Mint az a 4. ábrán látható, ez a promoter erősebb kifejeződést biztosít, mint a CaMV35S promoter. Hasonlóan jól



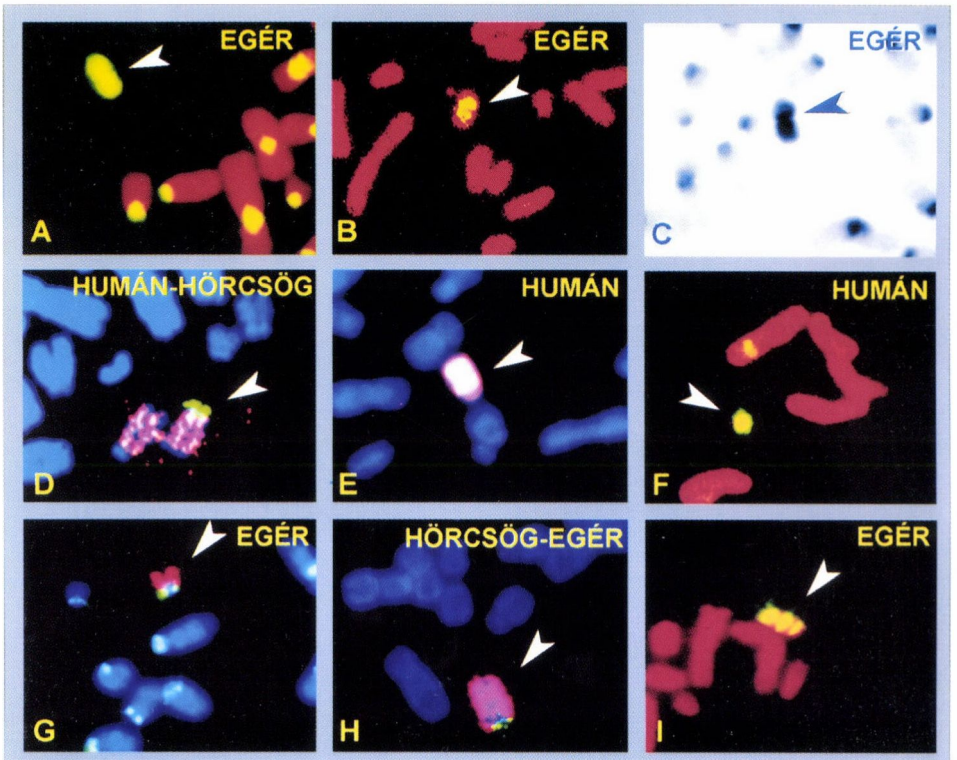
I. kép



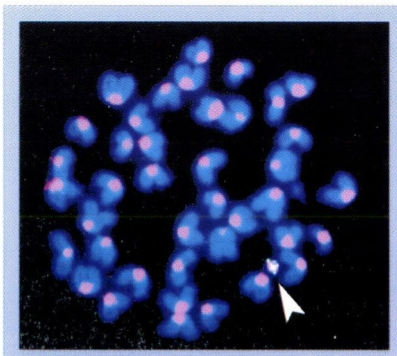
2. kép



1. kép



2. kép



3. kép



4. kép

használhatók a növényi aktin vagy ubiquitin gének promoterei is. Az 1. színes kép egy olyan növényi promotor működését teszi szemléletessé, amelynek 284 nukleotidból álló szabályozó régiója elegendő ahhoz, hogy egy riporten gént merisztémaszövetekben működtessen. A két indigó festék megjelenése jelzi azokat a szövetrészeket, amelyekben a promotor funkcionál. Várható, hogy a növényi eredetű promoterek választékának bővülésével a géntechnológiával nemesített fajták elterjedése felgyorsul.

A felhasználás céljának megfelelően a rekombináns DNS-módszerekkel kialakított transzformációs vektor, mint egy kör alakú DNS-molekula, különböző módszerekkel juttatható be a növényi sejtekbe. A legkiterjedtebben használt génbeépítési megközelítés egy természetes génátviteli mechanizmusra épül. Az *Agrobacterium* talajbaktériumok Ti-plazmidján megtalálhatók azok a funkcionális elemek, amelyek szükségesek ahhoz, hogy szedett növényi részekkel érintkezve egy 23 kb nagyságú DNS-szakasz (T-DNS) kivágódjék, majd a sejtmagi DNS-be integrálódjon. A beépülésben kitüntetett szerepe van az ún. határszekvenciáknak, amelyek közé elhelyezett bármely DNS-szekvencia a növényi szövetek *Agrobacteriummal* történő fertőzésével a növényi genomba építhető. A 2. színes kép transzformáns burgonyahajtás kezdeményeinek megjelenését mutatja, gumószeletek *Agrobacterium* szuszpenzióval történt együtt-tenyésztése után. A rendelkezésre álló kísérleti tapasztalatok szerint egy- és kétszikű fajok esetében egyaránt eredményesen használható. Az *Agrobacterium* közvetítésével történő transzformáció mellett a plazmidmolekulák közvetlenül is bejuttathatók a növényi sejtekbe. Így a sejtfal enzimatikus eltávolításával létrehozott protoplasztok külső membránja a DNS-molekulák számára átjárhatóvá tehető kémiai és elektromos kezeléssel. A kialakuló pórusokon át a plazmid bekerül a citoplazmába, és ezzel lehetővé válik a sejtmagi integráció. Ez az eljárás igen hatékony, de csak azoknál a növényeknél alkalmazható, amelyek protoplasztjaiból fertilis növények nevelhetők fel. A 2. színes kép kukorica transzformáns növények előállításának lépéseit szemlélteti, a kallusz kolóniák kialakulásától a talajba kiültethető növény felneveléséig. Alternatív megoldást jelent, ha a fém (wolfram) részecskékhez kötött DNS-t belöjük növényi szövetekbe. A sejtmagokat ért találatok esetén a DNS leoldódása után megtörténhet a beépülés. Előnye a közvetlen DNS-beviteli módszernek, hogy a transzformáció előtt a vektormolekulákról eltávolíthatók a nem kívánt szekvenciariészek. Így nem jelent problémát a bakteriális antibiotikumrezisztencia-gén kivágása. Bár kísérleti adatok nincsenek a bakteriális szekvenciáknak a növényi DNS-től eltérő degradációjára a tápanyag lebomlásakor, mégis, ha ezzel megnyugtathatók a fogyasztók, illetve a géntechnológia használatát ellenzők táborá, akkor célszerű élni ezzel az egyszerű megoldással és tanácsos csak növényi szekvenciát hordozó vektort használni a transzformációhoz.

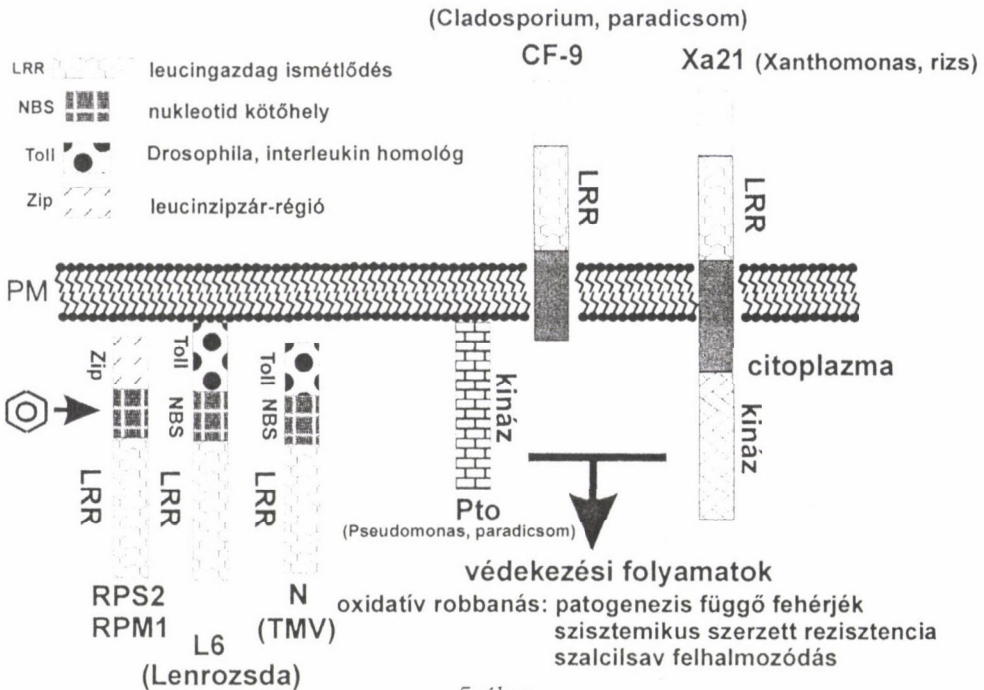
A géntechnológiával nemesített (GN) betegség- és kártevőrezisztens fajták és szerepük a biotermesztésben

Világméretben igen jelentős, akár 40%-os veszteséget is okozhatnak a különböző kórokozók, amelyek a növények termését, mind a szántóföldön, mind betakarítás után csökkenthetik. Bár a vegyszeres növényvédelem fontos, integráns része a napjainkban alkalmazott növénytermesztési technológiáknak, egyre inkább megfogalmazódik az igény a környezet vegyszerterhelésének mérséklése, illetve az emberi egészséget nem veszélyeztető technológiák használata iránt. Ezekben a törekvésekben kiemelt szerep hárul a rezisztenciánemesítésre. *Ellenálló fajták használatával válik megalapozottá a biotermesztés.* A kémiai növényvédő szerek mellőzése csak akkor érheti el célját, ha egyúttal a növények rezisztenciagénjeik révén képesek a kórokozók elszaporodását mérsékelni. Vajon milyen értéket jelentenek azok a biogabona vagy biotakarmány tételek, amelyek az erős fuzáriumfertőzés következtében nagy mennyiségű toxint tartalmaznak? A fajta-előállítás során a nemesítők állandóan értékelik a különböző tenyésztési anyagok betegségekkel és kórokozókkal szembeni érzékenységét. Folyamatosan keresik a rezisztenciaforrásokat és

keresztezéssel hasznosítják ezeket az értékes géneket, amelyeknek létezését, a genetikai térképen való elhelyezkedését a kísérletek egyértelműen mutatják. A rezisztenciagének szerencsés esetben megtalálhatók a köztermesztésben lévő tenyészanyagokban. Gyakran azonban rokon vadfajokat kell bevonni a rezisztencianemesítésbe. Ezzel jelentősen megnehezül a nemesítő munkája, hiszen keresztezéskor nagy számban kerülnek át rossz, nem kívánt tulajdonságok a kultúrnövénybe. Ezért több generáción keresztül végzett visszakeresztezéssel és állandó szelekcióval lehet csak biztosítani az értékes tulajdonsággal rendelkező növényegyedek felszaporodását. Nehezíti az előrehaladást, hogy egy adott rezisztenciagén a kórokozó változatai közül csak néhány esetben hatásos. Mindig várható új biotípusok megjelenése, amelyek életre szóló elfoglaltságot biztosítanak a nemesítőnek. Az állandó versenyben a nemesítő előnyre tehet szert, ha bővül a hozzáférhető rezisztenciagének köre, illetve növelhető a génkészlet átalakításának precizitása. Így érthető, hogy igen nagy érdeklődést és jelentős kutatási-fejlesztési kapacitást vonz a géntechnológiai megközelítések felhasználása. Az ötletek, a kísérletesen kipróbált stratégiák száma végtelen. Néhányuk használhatóságát az első természeti tapasztalatok meggyőzően igazolták. Elsősorban a *vírusrezisztens és rovarkártévéknek ellenálló fajták* elterjedését mutatják a statisztikák. Érdeemes megemlíteni, hogy a legsikeresebb megoldások alapötlete jól ismert a korábbi kórtani kutatásokból. Így a kutatók már régen megfigyelték a keresztvédetség jelenségét, amikor valamilyen vírussal fertőzött növény védett a további újrafertőzésekkel szemben. A fertőzött sejtekben jelenlévő virális eredetű molekulák védő hatását a transzgenikus növényekkel végzett kísérletek kristálytisztán igazolták. Ugyanis akár vírus burokképződésének, akár RNS-molekularésznek a géneit fejeztették ki transzformánsokban, vírus-ellenállóságot lehetett kimutatni. Szintén régi növényvédelmi gyakorlatra épül a rovarrezisztens transzformáns növények előállításának koncepciója. Ismert, hogy a *Bacillus thuringiensis* (Bt) szuszpenzióval végzett permetezés több rovar esetében is jó védelmet biztosít. A baktérium által termelt endotoxin a rovar bélrendszerében a hámsejtek membránjának károsításával pusztítja el a kártevőt. Maga a toxinféhrje igen specifikusan csak bizonyos rovarokban fejt ki hatását, ezért a biológiai növényvédelem egyik leggyakrabban használt eljárása a *B. thuringiensis* sejtsuszpenzió kijuttatása. A géntechnológusok ezeket a tapasztalatokat hasznosították, amikor a toxingént növényekbe építették, és a fehérjét a növényekkel termeltették. Bakteriális génről lévén szó, a toxinszintézis hatékonyságát jelentősen lehetett növelni a DNS kémiai szintézisével. A Bt. toxint termelő burgonya, gyapot és kukorica termesztése néhány év alatt jelentősen megnőtt. Ez a kedvező gazdasági és környezetvédelmi hatásoknak köszönhető. A *burgonyabogárrezisztens fajták használata esetén 40%-kal lehetett csökkenteni a rovarölő permetezőszerek mennyiségét*. A Bt. szója termesztése 1998-ban elérte a 16 millió hektárt. Az Amerikai Egyesült Államokban a szója vetésterületének 40%-át ilyen fajták foglalták el.

A génoizolálási és transzformációs módszerek segítségével jelentősen kibővültek ismereteink a növény-patogén kölcsönhatás molekuláris mechanizmusaival kapcsolatban. Az *inkompatibilis* (rezisztens) kölcsönhatás során megnyilvánuló védekezési választ, az ún. *hiperszenzitív reakciót* (HR), először *Klement Zoltán* írta le. A HR hatására a fertőzés helyén sejthalál következik be, ami gátolja a fertőzés további terjedését. Az inkompatibilis kapcsolatot jelzi még reaktív oxigéngyökök (szuperoxid anion: $O^{\cdot-}$; hidrogén-peroxid: H_2O_2) képződése és a védekezési gén gyors aktiválódása. A kórokozó a gazdanövényt „gén-gén” kölcsönhatás során ismeri fel, ami azt jelenti, hogy a baktérium domináns avirulencia (avr) génjének megfelelő szintén domináns rezisztenciagén, (R), működik a növényben. A rezisztenciagének szerepét régen megfigyelték, mégis csak több ilyen gén izolálása után lehetett a fehérjék szerkezetét és funkcióját feltárni. Az utóbbi évek funkcionális genomprogramjainak köszönhetően több R gén termék vált ismertté, mint azt az 5. ábra [10] szemlélteti. Láthatjuk, hogy ezek a fehérjék vagy a növényi sejt külső membránján vagy annak közelében helyezkednek el. Majd mindegyik tartalmaz leucin aminosavban gazdag szakaszt, amely a fehérje-fehérje kölcsönhatás kialakításában játszhat szerepet. A

Rezisztencia gének által kódolt fehérjék



5. ábra.

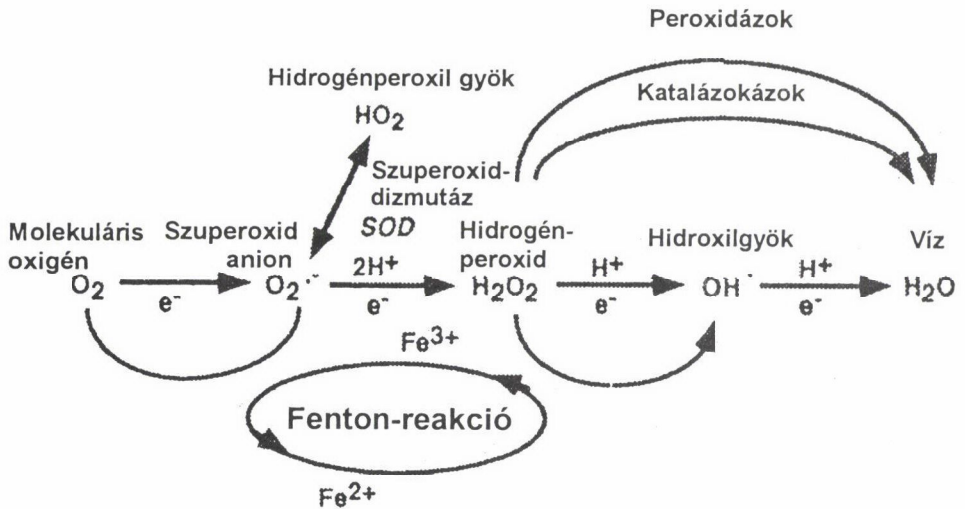
A kórokozók széles körét érintően sikerült rezisztenciagént izolálni különböző növényekből.

A leucin-ismétlődésben gazdag fehérjerégió igen gyakori komponense ezeknek a géntermékeknek. A kinázok fehérjék foszforilációjával vesznek részt a jelátviteli folyamatokban. A membránon (PM) túlnyúló fehérjeszakaszok szerepet játszhatnak a bakteriális avirulencia (avr) gének termékeivel való kölcsönhatásban. Ez a kölcsönhatás létrejöhet a növényi sejten belül is (Baker, 1997 nyomán)

paradicsom *Pto*, illetve a rizs *Xa21* *R* gének szerin/treonin kinázokat kódolnak, megerősítve a foszforilációs módosítások jelentőségét a betegségrezisztenciában. Ugyanis több kináz részvételével egy foszforilációs láncolat elindulása aktiválja a sejt védekezési mechanizmusait. Így bekövetkezik a szabadgyökök képződésével az oxidatív robbanás, a programozott sejtihalál. A hidrogén-peroxid, H_2O_2 , képződése jelként szolgál a HR reakció elindításához, a védekezési gének bekapcsolásához. A szalicilsav másodlagos jelátvivőként részt vesz széles spektrumú védettség, az ún. *szisztémikusan szerzett rezisztenciát* biztosító folyamatok kialakulásában. Ennek során a tünetek mérséklődnek a növény azon részein is, amelyek nem kerültek közvetlen kapcsolatba a kórokozóval. A növényi rezisztenciagének (R) izolálását követően kézenfekvő próbálkozás a transzgenikus növények létrehozása. A rizs *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*-val szembeni ellenállósági *Xa21* lokusz genomi DNS-ének felhasználásával előállított rizstranzformánsok 6 rasszal szembeni rezisztenciát mutattak.

A géntechnológiai stratégiák közül kiemelt jelentőséget tulajdoníthatunk azoknak, amelyek a növényekben már működő, természetes védekezési mechanizmusok hatékony-

ságát növelik. Ilyenkor kevésbé kell számolnunk nem kívánt mellékhatások megjelenésével. Többek között figyelmet érdemelnek a sejteket többszörösen károsító *reaktív oxigéngyökök* (ROS) képződését befolyásoló molekuláris folyamatok. A növényeket akár biotikus (vírus-, baktérium-, gombafertőzés), akár abiotikus (alacsony vagy magas hőmérséklet, vízhiány, sugárzás és öregedés) stresszhatások érik, az oxigéngyökök létrejötté döntő szerepet játszik a biológiai funkciók károsításában.



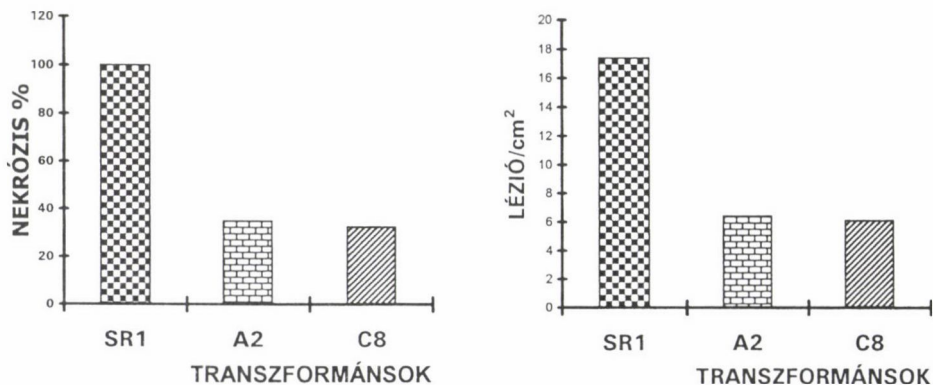
6. ábra.

A reaktív oxigéngyökök (ROS) képződésének főbb lépései.

A sejtek károsításában igen aktív hidroxilgyök (OH[•]) kialakulásában szerepe van a szabad vas (Fe²⁺) jelenlétének. (Hammond-Kosack és Jones, 1996 nyomán)

A ROS-képződés fontosabb lépéseit a 6. ábra [11] mutatja be. A szuperoxid anion és a hidrogén-peroxid eltávolítását a sejtekből többféle enzim is elvégezheti. Ebből kiindulva számos kísérletet végeztek szuperoxid-dizmutázt (SOD), katalázt és aszkorbát-peroxidázt kódoló gének túltermeltetésére transzgenikus növényekben. Az oxidatív stresszel szembeni ellenállóság ugyan változott az egyes transzformánsok esetében, azonban többségükben a hatás megbízható volt. A 6. ábrán az is látható, hogy az igen káros hidroxilgyökök (OH[•]) képződéséhez vas (Fe²⁺) szükséges. A hidroxilgyökök felelősek a lipidperoxidációért, a fehérje- és DNS-molekulák károsításáért. Mindezek alapján felvetődik a kérdés, lehet-e az oxidatív sejtkárosokat mérsékelni a szabad vastartalom csökkentésével. Valamennyi sejtben vaskötő fehérjék, mint pl. a *ferritin*, szabályozzák a szabad vas mennyiségét. A növényi ferritint kódoló gének működésbe lépnek stressz hatására, illetve abszcizinsav-kezelést követően. Vastúlادagolás is aktiválhatja ezeket a géneket a növények vegetatív szöveteiben. A ferritin cDNS-ek izolálásával lehetővé vált ennek a vaskötő fehérjének a folyamatos, magas szintű termeltetése transzformáns dohánynövényekben [12]. A ferritint túltermelő növények kevésbé károsodtak *paraquat*-kezelés hatására. Ez a korábban gyomirtóként használt szer szabad oxigéngyököket generál a fotoszintetizáló növényi részekben. Az

AZ OXIDATÍV STRESSZREZISZTENS DOHÁNYNÖVÉNYEK PSEUDOMONAS ÉS VÍRUSREZISZTENCIÁJA



7. ábra.

A bakteriális, illetve vírusfertőzés okozta tünetek mérsékeltebb formában jelennek meg a ferritint szintetizáló transzformánsok (A2, C8) levelein
(Barna Balázs és Király Zoltán kísérlete, MTA Növényvédelmi Kutatóintézet)

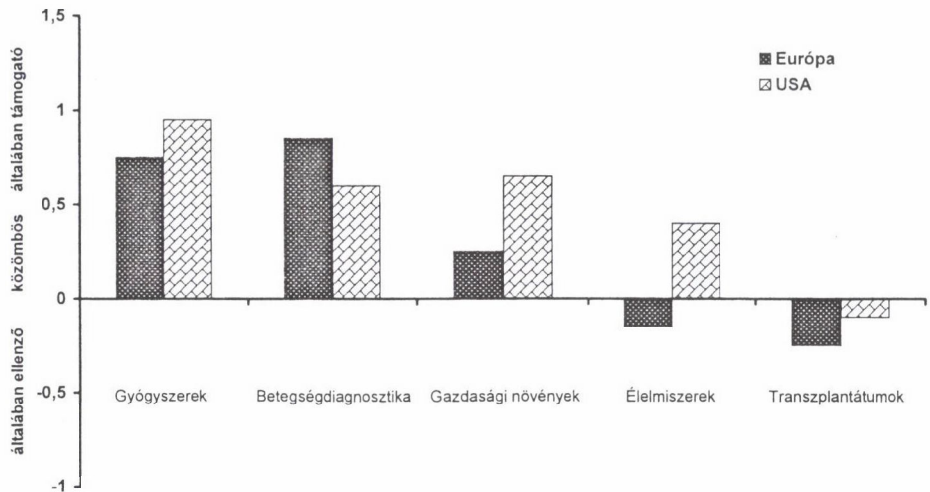
oxidatív stresszel szembeni rezisztencia ismeretében feltételezhető, hogy a ferritintranszformánsok megváltozott tüneteket mutatnak kórokozókval történő fertőzés esetén. A 7. ábrán látható, hogy jelentősen csökkentek a léziós tünetek a *Pseudomonas tabaci*-val, illetve vírussal történt fertőzést követően. Ezek a transzformánsok nekrotikus gombafertőzés esetén is mérsékelt tünetkialakulást mutattak. A ferritin vaskötő fehérjét túlermelő transzformánsok módot adtak a szabad vasnak az oxidatív károsodásban betöltött szerepének igazolására, illetve új példát szolgáltattak a kórokozókval szemben toleráns növények előállítására.

A GN fajták elterjedése a valós előnyöktől és kockázatoktól függ

Az első géntechnológiai módszerekkel megvalósított génbeépítésről, transzgenikus növényekről szóló közleményeket 1983/84-ben publikálták. Négy évvel később megkezdődött a transzgenikus növények szabadföldi kipróbálása. 1994-ben jelent meg a piacon a géntechnológiával nemesített növényből származó első termék, az etilén anyagcserében megváltoztatott paradicsomból készült püré. Ez a sikeres próbálkozás méreteiben elhanyagolható volt, ugyanakkor megmutatta, hogy megfelelő piacpolitikával (jó minőség, kisebb ár) biztosítható a kedvező vásárlói fogadtatás nemcsak az Amerikai Egyesült Államokban, hanem Angliában is. A ráfordított kutatási-fejlesztési kapacitásokkal arányban, a 90-es évek közepétől már nemcsak évente több ezer szabadföldi kísérletet végeztek, hanem megindult a szántóföldi termesztés is. A géntechnológiával nemesített (GN) fajták vetésterülete évről évre jelentősen nőtt, és így 1999-ben elérte a 40,1 millió hektárt [13].***

*** Az idősort Balázs Ervin tanulmánya mutatja be. — A szerk.

A statisztika nem teljes, mert valójában nem ismert, hogy például Kínában mekkora területen termesztenek ún. GN fajtákat. Egyes becslések szerint több millió hektárt foglal el csak a rovarrezisztens Bt. gyapot. Igen fontos információt jelent a GN fajták természetének földrajzi eloszlása. Az adatok szerint majdnem kizárólag az amerikai kontinensre korlátozódik a jelenlegi hasznosítás [14]. Ezek az arányok igen súlyos megosztottságot tükröznek, aminek különböző okai lehetnek. Talán megismétlődik az információs technológiai fejlesztések idején már tapasztalt európai lemaradás. Az tény, hogy a legfontosabb szabadalmak, az újdonság értékű géntechnológiai eredmények amerikai cégek tulajdonában vannak. Évről évre nő a szakadék, annak ellenére, hogy az EU országai jelentős összegeket fordítanak a kutatásra, segítik a kis vállalatok alapítását ezen a területen. Mindez kevés a lemaradás kedvezőtlen gazdasági és társadalmi következményeinek elhárításához.



8. ábra.

Szignifikáns a különbség az európaiak és amerikaiak között a biotechnológia különböző ágazatainak támogatásában (Gaskell, 1999 nyomán)

A GN fajták termesztésbe vonását Európában több tényező is késlelteti. A multinacionális cégek gazdasági dominanciája elleni védekezés részét képezi a hasznosítást nehezítő feltételek kialakítása. Nagyon fontos faktor a közvélemény fogadókészsége a GN fajták termékei iránt. Érdekes tanulsággal szolgálnak az európai és amerikai lakosság körében végzett közvélemény-kutatások. A 8. ábra [15] adatai szerint az európaiak egyedül a molekuláris diagnosztikai módszerek használatában mutatnak nagyobb nyitottságot. Véleményük legeléesebben a GN fajták termesztése és élelmiszerként történő hasznosítása kérdésében különbözik az amerikaiakétól. Gaskell és mtsai [15] ennek okát három tényezőben látják:

1. A sajtó befolyása: különösen a lehetséges technológiai ellentmondásokkal foglalkozó cikkek számának növekedése segíti az elutasító hozzáállás kialakulását;
2. Az amerikaiak jobban megbíznak a szabályozásért felelős szervek véleményében, mint az öreg kontinens lakói. Az amerikai szabályozás kiindulópontja, hogy a biotechnológia nem jelent különleges kockázati forrást, és a termékeket a meglévő szabályozási rendszerben kell értékelni. Ezzel szemben

Európában a biotechnológiát új eljárásnak tekintik, amihez új szabályzók kellene;

3. A tudományos ismeretek színvonala mellett döntő tényező a megfélemlítés mértékében megfigyelhető különbség. Négyeszer több európai, mint amerikai gondolja azt, hogy csak a transzgenikus élelmiszerek tartalmaznak DNS-t, géneket vagy azt, hogy a transzgenikus eredetű élelmiszerek fogyasztásával genetikai fertőzés következhet be, illetve minden transzgenikus állat nagyobb. Így nem meglepő, hogy a legalapvetőbb biológiai, genetikai ismeretek hiányában könnyen félrevezethetők, megfélemlíthetők az emberek. Ehhez jó táptalajt nyújt a média szenzációt hajhászó tájékoztatási gyakorlata. A félrevezetés eredményességét segítik a rossz, félbeszakadt kísérletek, az ún. szakértői vélemények, amelyeket nem támasztanak alá kutatási eredmények. A harcos ellenzők táborában sokszor jutnak szóhoz olyan „jól tájékozott” kívülállók, akik saját kísérleti tapasztalatok nélkül, a tudományos kutatómunka szabályait figyelembe kívül hagyó forrásokra hivatkozva fejtik ki elítélő véleményüket a géntechnológiáról.

Természetesen a kialakult európai helyzetért felelősek a géntechnológiai fejlesztéseket végző kutatók, a termékeket előállító és forgalmazó cégek szakemberei is. Nem elég eredményes például a meglévő tudományos ismeretanyag népszerűsítő terjesztése, pedig erre igen nagy szükség van, hogy az emberek a tudományos tények birtokában alkothassanak véleményt. Hazánkban az egyetemi tananyagok magas színvonalon tartalmazzák a molekuláris biológiára épülő géntechnológiai ismereteket. Ugyanakkor kívánatos lenne a gimnáziumi és általános iskolai biológiatanítás anyagába beépíteni a legfontosabb új információkat. A biotechnológiai, agrokémiai cégek több súlyos hibával járultak hozzá a kedvezőtlen vásárlói fogadtatás kialakulásához. Az egyik, hogy nem fektettek megfelelő hangsúlyt a technológia alapjainak, a termékek tulajdonságainak bemutatására. A másik: fejlesztési stratégiájuk kidolgozásakor nem a vásárlót közvetlenül érintő tulajdonságok javítása került előtérbe. Nem éppen szerencsés érvelés, hogy a természetben lévő GN fajták 70%-a gyomirtó szerekkel szemben rezisztenciával rendelkezik. Bár ezek a tenyésztésanyagok kedvezőbb technológiai háttérrel nyújtanak a gazdaember számára, mégis a termék fogyasztóját választásában nem befolyásolják a növénytermesztési szempontok. A GN fajták 22%-a rovar- és vírusrezisztencia géneket hordoz. Ezek a kedvező tulajdonságok is még elsősorban az agrotechnika javítását szolgálják, ugyanakkor ebben az esetben igen jelentősek a környezeti és egészségvédelmi pozitívumok. A kémiai növényvédő szerek használatának mérséklése már lehet olyan többlet, amely irányítja a vásárlói szokásokat. Mégis a géntechnológiai termékek számottevő elterjedését akkor várhatjuk, ha ezek az áruk olcsóbbak és jobb minőségűek lesznek, ha garantálják az egészséget veszélyeztető összetevők (akár szermaradványok, akár a beépített gén működésével összefüggő anyagok) hiányát a termékben. Nem nehéz megjósolni, hogy az ezeknek a kritériumoknak megfelelő termékek fejlesztése világszerte egyre jelentősebb kapacitással folyik.

Érdemes felhívni a figyelmet azokra a különbségekre, amelyek a géntechnológia határait illetően a fejlődő és fejlett államokban fellelhetők. A mezőgazdasági túltermelés gondjaival elfoglalt országok esetében érthető az elzárkózás minden kezdeményezéstől, amely többletermést, újabb problémákat okozhat. Elsősorban az élelmiszerek minősége, illetve a megszokott tradíciók irányítják a vásárlói szokásokat ezekben a fejlett országokban. Ugyanakkor a Föld élelmiszerhiánnyal küzdő részein minden technológia, amely többlettermést eredményez, igen nagy jelentőségű. Különösen a kedvezőtlen adottságú területeken folytatott növénytermesztés igényli a biológiai potenciál javítását, a növények életfolyamatainak optimalizálását. Egy-egy betegség-ellenálló vagy szárazság-, sótűrő tenyésztésanyag sokat segíthet embermilliók szenvedésének mérséklésében. Mivel a kedvező hatású gének a helyi tájfajtákba építhetők be, így biztosítható a meglévő mezőgazdasági kultúrák fenntartása, és az eredményesség javítása. A géntechnológia alkalmazásában ezek az országok rászorulnak a fejlett világ támogatására. Nemzetközi szervezetek kiemelt

szerepvállalása mellett a biotechnológiai cégek nyitottságára is szükség van. Természetesen a fejlődő országok saját kutatási-fejlesztési tevékenysége is meghatározó jelentőségű. Így például Kína már kiterjedten használja a géntechnológiával nemesített fajták előnyeit. A jövő ad választ arra a kérdésre, hogy milyen szerepet játszanak majd ezek a tenyészanyagok 20–40 év múlva, amikor — az előrejelzések szerint — a mainál kétszer több élelmiszert kell termelni a Föld megnövekedett népessége számára.

Az elkövetkező években a géntechnológia szerepvállalását jelentősen befolyásolja majd a törekvés, hogy megfeleljen a jogos elvárásnak: azaz, hogy a géntechnológiával nemesített növények termékei a lehető legkisebb kockázatot jelentsék a fogyasztó egészsége és a környezete számára. Számos félreértésre vagy tudatos félremagyarázásra adhat lehetőséget a felületes általánosítás. Nem lehet általában azt állítani, hogy a kalapos gombák veszélyt jelentenek, hiszen nap mint nap fogyasztunk ízletes, ehető gombákat. Minden egyes transzgenikus növény esetében *növény- és génkombinációnként kell értékelni a kockázat mértékét*. Így más megítélés alá esik például, ha növényi szekvenciákat építenek be. Lényeges kérdés, hogy a beépített gén terméke jelen van-e a termékben, és milyen biológiai hatásai lehetnek. Magától értetődő követelmény, hogy amennyiben új hatóanyag jelenik meg a fogyasztott termékben, akkor kiterjedt, az élelmiszer-minősítés előírásainak megfelelő módon el kell végezni a szükséges toxikológiai, mutagénteszteket. Ezzel egy időben túlzás egy vírus- vagy herbicidrezisztens cukorrépából készült cukor részletes vizsgálatát megkövetelni. A törvényi szabályozás lehetőséget ad a mérlegelésre. Talán joggal feltételezhető, hogy a termék előállítójának jól felfogott érdeke a minőség biztosítása. Az árunak a paraméterei fontosak és nem az, hogy milyen módszerrel — keresztezéssel, mutációval vagy poliploidizációval — állították elő. Könnyen létrehozható keresztezéses nemesítéssel olyan tenyészanyag, amely nem kívánt hatóanyagokat tartalmaz. Ezek kiszűrését a növény-nemesítő, a fajtaminősítés és élelmiszer-ellenőrzés szakemberei hivatottak elvégezni. Mivel a transzgenikus genotípusok is bekerülnek az értékelés hasonló folyamatába, több generáción át végzett minősítés garantálhatja a nem kívánt változatok eltávolítását és csak az értékes növények további felhasználását.

A GN fajták használatának ellenzői veszélyeztetve látják a természetes növénypopulációkat, hiszen számos vadon élő faj kereszteződhet a kultúrnövényekkel. Ez egy fontos, figyelmet érdemlő probléma, ezért indokolt kísérletesen is megvizsgálni a transzgen átjutásának esélyeit a vadon élő fajokba. Kiterjedt kísérletezési tapasztalat mutatja, hogy számos termesztett növényünknek (pl. búza, kukorica, burgonya stb.) nincs olyan rokon faja, amellyel spontán kereszteződne. Így ezekben a fajtákban a transzgen biztonságban van. A lucerna vagy repce esetében a beépített gének átkerülnek gyomnövényekbe, így ezekben az esetekben körültekintően kell a hatásokat értékelni. Megfontolandó annak végiggondolása, hogy ilyenkor a transzgen ugyanolyan valószínűséggel kereszteződik át, mint a kultúrnövény többi génje. Tehát a vad fajok ilyen úton történő nemesedése már hosszú idő óta bekövetkezhetett volna, hiszen a termesztett növény számos génje jelenthet szelekciós előnyt egy gyom számára. A tapasztalat azt mutatja, hogy a gyomok populációi nem változnak a kultúrnövény irányába. Sajnos az ellenkező irányú génáramlás jeleit sem látjuk, hogy a szárazságtűrő gyomok génjei spontán módon javítanák a fajták stresszrezisztenciáját.

A biológiai sokféleséget is sokan féltik a transzgenikus növény elterjedése kapcsán. Ebben a kérdésben az álláspontok közelítését nehezíti, hogy nehéz kísérletet tervezni a probléma vizsgálatára. Abból kellene kiindulni, hogy függetlenül a GN fajták használatától, az évszázadok során kialakult növénytermesztési gyakorlat szüntette meg a szántóföldeken a biológiai sokféleséget. A fajtaelőállítás elsődleges szempontja, hogy egyetlen faj igen hasonló egyedeit neveljük, ami lehetővé teszi a gépesítést és a hatékony földhasználatot. Szántóföldjeinken a fajok sokféleségét minden évben gyomirtással szüntetjük meg. A termesztett növények populációi alapjaiban térnek el a természetes ökoszisztémáktól. Nemesítési szempontból a transzgenikus növények előállítása növeli a genetikai variabilitást. Ennek a technológiának éppen az az előnye, hogy a specifikus hatást a genotípusok

széles körét érintően el lehet érni. Nincs hasonló nemesítési módszer, amely egy-két év leforgása alatt több száz fajtában ki tudna alakítani egy új tulajdonságot. Ma már nagy fajtaválasztékok kínálnak a géntechnológia módszerét használó nemesítő cégek.

Látva az európai és amerikai stratégiák különbözőségét a géntechnológiai fejlesztések területén, igen jelentős kihívás Magyarország számára a lehetséges mozgásterület megtalálása. Érdekes abból kiindulni, hogy hazánk klimatikus és talajadottságai jobbakként, mint az európai és világátlag. Igen jelentős növény-nemesítési hagyományokkal rendelkezünk. A magyar nemesítők fajtái sokszor piacra találnak külföldön is. Meghatározó szerepű a vetőmagipar. A nemesítés és vetőmagtermesztés olyan terméket eredményez, amelyben jelentős hozzáadott szellemi érték testesül meg. A fentiek alapján elsőrendű érdekünk ennek a tevékenységnek a versenyképességét biztosítani. Ha hihetünk a bemutatott kutatási eredményeknek és az amerikai kontinensen tapasztalható fejlesztések gazdasági fontosságának, akkor érdemes felkészülni arra, hogy élni tudjunk a géntechnológia által nyújtott előnyökkel. A kutatás oldaláról az alapfeltételek megteremtése ideje korán megkezdődött, hiszen 1986-ban, 2—3 évvel az első transzgenikus növények közlése után megjelent Deák és mtsai cikke [16] a lucernába történt génbeépítésről. Azóta a magyar növény-nemesítők közreműködésével kukorica, repce, burgonya, dohány, rizs, búza transzgenikus növényeket állítottak elő idehaza. Több agronómiai szempontból jelentős gén izolálásáról is beszámoltak kutatóink. Különösen az EU-csatlakozás előtti felkészülés időszakában lehet indokolt, hogy hatékonyan kihasználjuk a meglévő szellemi és metodikai alapokat, hiszen így lehet kedvező versenyhelyeztet biztosítani és felkészülni a jövő kihívásaira.

A kedvező amerikai tapasztalatokat alapul véve és feltételezve, hogy a közvélemény előbb vagy utóbb meggyőződik a géntechnológiai termékek előnyeiről és megbízhatóságáról, jelentős fejlődést és kielezett versenyt prognosztizálhatunk. Ez a technológia jelenlegi kezdeti formájában még további igen intenzív kutatómunkát és tökéletesítést igényel. Mindez nem jelentheti azt, hogy elutasítjuk ezt a tudomány által felkínált lehetőséget, hiszen folyamatosan több és jobb minőségű élelmiszerre van szükség ezen a bolygón.

Köszönetnyilvánítás Ezúton szeretnék köszönetet mondani Kecván Józsefné Czákó Zsuzsannának a kézirat gépelésében és az ábrák elkészítésében nyújtott segítségével.

IRODALOM:

1. Koncz, Cs., Sümegi, J., Udvardy, A., Ramcsány, M. and Dudits, D. (1981) Cloning of mtDNA fragments homologous to mitochondrial S2 plasmid-like DNA in maize. *Mol. Gen. Genet.*, 183: 449—458.
2. Dudits, D. és Heszky, L. (1990) Növény-biotechnológia, Mezőgazdasági Kiadó, 310 oldal.
3. Dudits, D. és Heszky, L. (2000) Növényi biotechnológia és géntechnológia, Agroinform Kiadóház, 300 o.
4. Balázs, E. és Dudits, D. (szerk.) (2000) Szemelvények a molekuláris növénybiológiából Akadémiai Kiadó,
5. Lin X., Kaul, S., Rounsley, S., Shea, T.P., Benito, M-I., Town, C.D., Fujii, C.Y., Mason, T., Bowman, C.L., Barnstead, M., Feldblyum, T.V., Buell, C.R., Ketchum, K.A., Lee, J., Ronning, C.M., Koo, H.L., Moffat, K.S., Cronin, L.A., Shen, M., Pai, G., Van Aken, S., Umayam, L., Tallon, L.J., Gill, J.E., Adams, M.D., Carrera, A.J., Creasy, T.H., Goodman, H.M., Somerville, C.R., Copenhaver, G.P., Preuss, D., Nierman, W.C., White, O., Eisen, J.A., Salzberg, S.L., Fraser, C.M and Venter, C. (1999) Sequence and analysis of chromosome 2 of the plant *Arabidopsis thaliana*. *Nature*, 402: 761—768.
6. Mayer, K. et al. (1999) Sequence and analysis of chromosome 4 of the plant *Arabidopsis thaliana*. *Nature*, 402: 769—777.

7. Benfey, P.N. Chua, N.H. (1990) The cauliflower mosaic virus 35S promoter: combinatorial regulation of transcription in plants. *Science*, 250: 959—966.
8. Ho, M-W., Ryan, A. and Cummins, J. (1999) Cauliflower mosaic viral promoter — A recipe for disaster? *Microbial Ecology in Health and Disease*, 11: www.scup.no/mehd/ho
9. Hammond, B.G., Vicini, J.L., Hartnell, G.F., Naylor, M.W., Knight, C.D., Robinson, E.H., Fuchs, R.L. and Padgett, S.R. (1996) The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosphate tolerance. *American Institute of Nutrition*, 717—727.
10. Baker, B., Zambryski, P., Staskawicz, B. Dinesh-Kumar, S.P. (1997) Signaling in plant-microbe interactions. *Science*, 276: 726—733.
11. Hammond-Kosack, K. E. Jones, J.D.G. (1996) Resistance gene-dependent plant defense responses. *The Plant Cell*, 8. 1773—1791.
12. Deák, M., Horváth, V.G., Davletova, S., Török, K., Sass, L., Vass, I., Barna, B. Király, Z. and Dudits, D. (1999) Plants expressing the iron-binding protein, ferritin ectopically are tolerant to oxidative damage and pathogens. *Nature Biotechnology*, 17: 192—196.
13. Ferber, D. (1999) GM crops in the cross hairs. *Science*, 286: 1662—1666.
14. Serageldin, I. (1999) Biotechnology and food security in the 21st century. *Plant Biotechnology: Food and Feed*, 387—389.
15. Gaskell, G., Bauer, M.W., Durant, J., Allum, N.C. (1999) Worlds apart? The reception of genetically modified foods in Europe and the U.S. *Plant Biotechnology: Food and Feed*, 384—387.
16. Deák, M., Kiss, Gy.B., Koncz, Cs. and Dudits, D. (1986) Transformation of Medicago by Agrobacterium mediated gene transfer. *Plant Cell Reports*, 5: 97—100.

SZÍNES KÉPEK FELIRATA:

1. **kép** A lucerna hisztongén rövid DNS-szakasza merisztéma specifikus génkifejeződést biztosít transzgenikus dohánynövényekben.
 - A. Egy transzformációs vektor, amely tartalmazza a promoterrégiót és a hozzá kapcsolt β -glukoronidáz (GUS) riportergént.
 - B-E. A GUS riportergén működése kék indigófesték felhalmozódását eredményezi, ami jelzi azokat a szövetrészeket, ahol a gén aktív állapotban van.
2. **kép** Transzgenikus burgonya és kukorica előállításának lépései.
 - A. Burgonyagumó szeletek fertőzése *Agrobacteriummal* beépített gént hordozó hajtások differenciálódását eredményezi.
 - B. Kukorica protoplasztokba történt DNS-molekula bevitele után kisselektálhatók a transzformáns kolóniák.
 - C-D. Hajtáskezdemények differenciálódása transzformáns szövetekből.
 - E. Virus burokfehérjéjét hordozó kukoricánövényke nevelése táptalajon.
 - F. Transzformáns kukoricánövény talajba történt kiültetés után.

Transzgenikus gazdasági állatok

Transzgenikusnak nevezünk minden olyan állatot, melynek genomja emberi közreműködéssel bejuttatott DNS-t tartalmaz. Amióta napvilágot látott az első olyan közlemény, amely bebizonyította, hogy lehetséges idegen DNS bevitelle emlős genomba (Gordon és mtsai, 1980), transzgenikus egerek ezreit állították elő a génműködés *in vivo* szabályozásának vizsgálatára, illetve humán betegségek modelljeként. A Medline keresés alapján a transzgenikus állatokkal foglalkozó tudományos publikációk száma napjainkig 15 720, ám ezeknek kevesebb mint 10%-a foglalkozik transzgenikus haszonállatokkal. Még az ilyen irányú, 1496 publikáció tekintélyes hányada is irodalmi összefoglaló. A transzgenikus haszonállatok körébe tartozónak tekintjük a szarvasmarhát, sertést, birkát, kecskét és nyulat. A transzgenikus haszonállatokkal foglalkozó tudományos közlemények alacsony száma világosan mutatja előállításuk rendkívül magas költségét és azokat a technikai nehézségeket is, melyekkel mind a mai napig szembe kell nézni a kutatóknak. Ugyanezen okból azon a területen, nevezetesen a transzgenikus állatok bioreaktorként történő felhasználása terén történt a legjelentősebb előrehaladás, ahol a befektetések leggyorsabb megtérülése várható.

A máig fennálló nehézségek ellenére már 1985-ben közlemény jelent meg első transzgenikus sertés és birka *mikroinjektálással* való előállításáról, és ez a technika gazdasági állatok esetében — az egérmodelltől eltérően — egészen 1997-ig egyeduralkodó volt. Az első felnőtt állati szövetből nyert sejtmag donorral történt sikeres átültetés, melyből Dolly, a világhírű bárány született (*Wilmut és mtsai, 1997*), frontátörést eredményez a transzgenikus haszonállatok előállításában. A sejtmagátültetés módszere emlősállatokban csaknem egyidejű a *mikroinjektálásos* technikával, először birkákon alkalmazták 1986-ban (*Willadsen és mtsai*). Sejtmagdonorként azonban „klasszikusan” korai embriósejteket használtak, melyek száma igen korlátozott. A kutatók számára az okozta a legfőbb nehézséget, hogy haszonállatokban — az egérmodellel ellentétben — nem sikerült olyan embriónális őssejt vonalak (ES sejt) *in vitro* tenyésztése, melyekből kiindulva sikeres ivarsejt kiméra állatok születtek volna. Egér esetében a pluripotens ES sejtvonalak a hólyagcsira állapotban levő embriócsomóból származnak. Első ízben 1981-ben számoltak be létrehozásukról (*Evans és Kaufman, 1981; Martin, 1981*). Az ES sejtek folyamatosan osztódnak és optimális tenyésztési feltételek mellett nem differenciálódnak. Jelentőségük abban áll, hogy más szövettenyésztési sejtekhez hasonlóan az ES sejteket transzfektálni lehet *exogén* DNS vektorral, majd a módosított ES sejtekből kiméraképzéssel hozhatóak létre a transzgenikus állatok.

A testi sejtekből történő sejtmagátültetés jelentőségét pedig az adja meg, hogy haszonállatokban ez a módszer pótolhatja az ES sejtvonalak hiányát. Ha felnőtt állatokból származó szöveti sejtekből is lehetséges sikeres sejtmagátültetés — amint az Dolly esetében már beigazolódott —, akkor ezen sejtek szöveti kultúrájába is bejuttatható az idegen DNS. A transzfektált sejtek *in vitro* szelekciója pedig lehetővé teszi, hogy csak a kívánt módosítást hordozó sejtek sejtmagjainak átültetésével kísérletezzenek, és így idő- és költségtaka-

rékos módon állítsanak elő transzgenikus haszonállatokat. A sejtmagátültetés módszerét már fel is használták transzgenikus birkák (Schnieke és mtsai, 1997) és szarvasmarha (Cibelli és mtsai, 1998) előállítására. Végso soron az in vitro transzfektált sejtek sejmagi donorként történő felhasználása ugyanolyan spektrumban teszi lehetővé a transzgenikus haszonállatok előállítását, mint az ES sejt technológia egerekben.

Mezőgazdasági alkalmazások

A hagyományos szelekciois eljárásokkal gyakran nem lehet elválasztani egy kívánatos tulajdonságot egy vagy több nemkívánatos jellegtől. Természetszerűen kizárt volt a genetikai információ fajok közötti átvitele, a fajok közötti kereszteződés. Ez okból a kedvező tulajdonságokért felelős géneket (például egy betegség elleni rezisztencia génjét) korábban nem lehetett egyik fajból a másikba átvinni. Ezen célok elérésére a molekuláris genetika és a rekombináns DNS mikroinjektálás módszerének együttes alkalmazása teremtett lehetőséget.

Transzgenikus haszonállatok előállítására minőségi vagy mennyiségi tulajdonságok megváltoztatása céljából azonban csak akkor kerül sor, ha a hagyományos tenyésztési eljárásokkal a kívánt változtatást nem, vagy csak nagyon hosszú idő alatt lehet előidézni. Az eddigi kísérletek az endokrin rendszer, a tej és gyapjú szerkezeti fehérjei, az immunrendszer megváltoztatását, illetve betegség rezisztencia létrehozását célozták.

Mikroinjektálás során a megtermékenyített nőivarú egyed petevezetőjéből nyernek embriókat. Ebben az állapotban a megtermékenyült petesejt két sejtmagja még nem egyesült, jól látható a sarki test és a két előmag. Az exogén DNS-t egy finom üveg kapilláris segítségével az egyik előmagba juttatják. Az előmag láthatóvá tétele szarvasmarhában, sertésben és birkában is sokkal nehezebb, mint egérben. Jelentős előrehaladást jelentett ezért a donor embriók számának növelését lehetővé tevő szuperovulációs protokoll fajokra szabott kidolgozása. A legmagasabb költségvonzatú szarvasmarha esetében egy olyan módszert is kidolgoztak, amely a vágóhídi petefészkekből származó petesejtek érlelésével és in vitro megtermékenyítésével nagyszámú és viszonylag olcsó embrió létrehozását teszi lehetővé. Sokat fejlődött a szarvasmarha embriók in vitro tartási körülményeinek optimalizálása is. Az injektált embriók hólyagsíra (100–200 sejt) állapotukig kultúrában tarthatóak, mely lehetőséget ad előzetes DNS-vizsgálatokra, mint pl. a transzgen beépülés és az állat nemének meghatározása PCR technikával. Ezáltal jelentősen csökkenthető az adott kísérlethez szükséges recipiens állatok száma is. Recipiens állatoknak nevezzük azokat a hormonálisan előkészített ún. álvemhes nőtényeket, melyek a mikroinjektált embriókat kihordják. Az előszelektált szarvasmarha embriókat laporoszkópos eljárással ültetik a recipiensbe. A sertés, birka és kecske embriók in vitro tenyésztésének körülményei kevésbé kidolgozottak, az embriókat 1–4 sejt állapotukban sebészeti eljárással kell a recipiens nőtények petevezetőjébe ültetni. A birka és a kecske évszakhoz kötött ivarozása is lényegesen növeli a transzgenikus állatok előállításának költségét és csökkenti a módszer hatékonyságát. Amint azt az 1. táblázatban összefoglalt adatok is alátámasztják, minden technikai előrehaladás ellenére a transzgenikus haszonállatok előállítása alacsony hatásfokú, nagy technikai felkészültséget igényel és rendkívül időigényes. Ez utóbbi tényező az első homozigóta transzgenikus állat (F2 generáció) megszületéséig eltelt hónapok számával jellemezhető.

Fajok	Embriók száma/ szuper-ovuláció	Vemhesülési arány (%)	Donorok száma/ recipiens	Születési arány (%)	Transzgenikus állatok (születés %-ában)	F2 generáció születéséig eltelt idő (hónap)
Egér	20	50	2	10—20	15	7,5
Nyúl	20	50	2	10	10	17
Sertés	15	40	2	5—8	10	38
Juh	4	40	1—5	15	5	52
Szarvasmarha	5	20	1	10	5	100

A növekedési erély fokozása

A legelső transzgenikus gazdasági állatok előállítása óta eltelt másfél évtizedben folyamatosan jelennek meg publikációk, melyek célja a növekedési erély megváltoztatása. Az ilyen irányú kísérletek indíttatását *Palmiter* és *mtsai* (1982) úttörő kísérlete adta, melyben bizonyították, hogy transzgenikus egerekben a keringésben levő növekedési hormon mennyiségének megemelésével az egerek növekedési erélye és felnőttkori mérete is befolyásolható. A kezdeti lelkesedés után, mikor a kutatók megfogható közelségben érezték a gigantikus sertések és szarvasmarhák létrehozását, kiderült, hogy a háziállatok az egértől eltérő módon válaszolnak a növekedési hormon megemelt szintjeire. A transzgenikus sertések és juhek sem mutattak fokozott növekedési erélyt, annak ellenére, hogy a tápanyag-hasznosítási mutatóik kedvezőbbek voltak, mint a kontroll állatoké. Ezen túlmenően a növekedési hormon folyamatosan megemelt szintje abnormális élettani folyamatokat indított el, melyek keringési és kiválasztási rendellenességeket és a fertilitás csökkenését okozták.

Az elmúlt időszakban húsznál több génkonstrukciót próbáltak ki — túlnyomórészt transzgenikus sertésekben melyek magukban foglalták a növekedési hormont kiválasztó faktor (GRF), a szomatostatint, a növekedési hormon és az inzulin típusú növekedési faktor (IGF-I) valamelyikének kódoló DNS szakaszát, fuzionáltatva több típusú például virális eredetű, illetve májspecifikus enzimeket kódoló gén (metallothionein [MT], PEPCCK) szabályozó elemeivel. A legkedvezőbb fenotípussal a MT-bGH transzgenikus sertések bírtak. A transzgenikus malacok nem nőttek nagyobbra, mint az azonos alomból származó kontroll állatok, de 13%-kal nagyobb súlygyarapodást mutattak és 18%-kal hatékonyabban hasznosították a takarmányt. A megemelt növekedési hormonszint jelentősen és a potenciális fogyasztók számára kedvezően változtatta meg a hasított tömeg (karkasz) összetételét is. A GH transzgenikus sertések hasított tömegének zsírtartalma 85%-kal alacsonyabb volt (*Pursel* és *Solomon*, 1993).

Az eredmények összességükben elmaradtak a várakozástól, ennek tudható be, hogy az utóbbi években egyes kutatócsoportok visszatértek az egér modellhez (*Vidal* és *mtsai*, 1999), illetve alacsony költséggel előállítható transzgenikus nyulakat használtak modellállatnak (*Costa* és *mtsai*, 1998). Ez utóbbi kísérletek is alátámasztották a transzgenikus sertéseken, illetve birkákon nyert adatokat, nevezetesen hogy GH szint egész életen át tartó megemlése káros mellékhatásokat (transzgenikus nyulakban pl. akromegáliát és cukorbetegséget) okoz, ezért ez az út így nem járható.

Az utóbbi három évben megjelent közlemények előrevetítik egy sokkal specifikusabb beavatkozás lehetőségét. Egy szabályozó gén működésének megértéséhez vezethet, ha ún. null mutáns egeret állítanak elő, melyben a vizsgált gént úgy változtatják meg, hogy arról működőképes termék ne keletkezessen, majd analizálják az állat fenotípusát. A növeke-

dést és differenciálódást szabályozó TGF- β faktorok családjába tartozó, az izomfejlődési gének működését represszáló, miosztatin gén esetében is ez történt (McFerron és mtsai, 1997). A miosztatinhiányos egerek vázizomzata fejlettebb, mint a kontroll egereké, mely fenotípust nem kísérik negatív mellékhatások, mint például a termékenység csökkenése. Egy magyar kutatócsoport kimutatta, hogy az ún. kompakt egér fenotípusát is a miosztatin génben bekövetkezett mutáció okozza, melyről aberráns fehérje termék képződik (Szabó és mtsai, 1998). Bebizonyosodott továbbá, hogy tenyésztők által régóta ismert Belga kék, illetve Piedmonti és az ún. kettősen izmolt fajták esetében ugyancsak a szarvasmarha miosztatin gén mutációi eredményezik az állatok habitusát, melyekre mint a húsállattenyésztők számára kedvező küllemre szelektálva alakultak ki ezen szarvasmarhafajták. Miosztatin-hiányos szomatikus sejtek *in vitro* létrehozása, majd az ezen sejtekből kiinduló sejtmagátvitel elvben lehetővé teszi miosztatin-hiányos húsállatok, elsősorban sertés és szarvasmarha létrehozását, melyekben az extra mennyiségű hús remélhetően az állatok egészségkárosodása nélkül termelhető meg.

A gyapjú minőségének javítása

Az öltözködést szolgáló természetes és szintetikus anyagoknak csak mintegy 5%-át adja a gyapjútermelés, azonban a természetes anyagok népszerűsége folyamatosan növekszik. A legelőterületek növelését ellenző környezetvédők és az ezzel párhuzamosan lejtászódó népességrobbanás következtében alternatív, gazdasági haszonnal is kecsegtető lehetőségként vetődött fel a transzgenikus birkák előállítását. A transzgén technika így lehetőséget adhat a gyapjútermelés volumenének növelésére, illetve a termelt gyapjú minőségi javítására. A módosított gyapjút termelő transzgenikus birkák előállításával döntően ausztráliai és új-zélandi kutatócsoportok foglalkoznak.

Damak és mtsai (1996) abból indultak ki, hogy a gyapjú növekedését a szórtüszőben lévő epiteliális sejtek osztódása és differenciálódása döntően befolyásolja. Ezért a növekedési hormon hatását közvetítő IGF-1 cDNS-ét, az egér egyik keratin génjének szabályozó régióját irányítása alá helyezve, a hibrid génnel transzgenikus birkákat állítottak elő. A transzgén öröklődését és a gyapjútermelésre gyakorolt hatását két nemzedéken át követték nyomon 51, illetve 59 állaton végzett egyedi mérésekkel. Az első nemzedékhez tartozó transzgenikus birkák fokozott — de évszaktól függően változó — gyapjútermelő képességet mutattak. A maximális különbség a transzgenikus állatok javára 17%-os volt. A transzgenikus állatok gyapjúja durvább volt és kisebb szálerősségű. A második transzgenikus nemzedékben viszont a gyapjú súlya nem különbözött szignifikánsan a kontroll állatokétól, bár a transzgén öröklődését és kifejeződését ezekben az állatokban is ki tudták mutatni (Su és mtsai, 1998).

A gyapjú minőségének megváltoztatását célozták azok a kísérletek, melyekben a II. típusú keratin túltermelésének hatását vizsgálták transzgenikus birkákon. Azokban az állatokban, melyekben a transzgén magas szinten fejeződött ki, a gyapjúsál mikro- és makroszerkezete is markáns változást mutatott (Bawden és mtsai, 1998).

Betegség elleni rezisztencia kialakítása

Az állati termékek előállításai költségeinek 10–20%-át az állatállomány betegségből eredő elhullása, illetve a megelőzés és gyógyítás költségei teszik ki. A betegségekkel szembeni rezisztencia kialakítása ezért már a transzgenikus állatokkal kapcsolatos legkorábbi elképzelések között is szerepelt. A védekezés másik lehetséges módja az intracelluláris immunizálás alatt eredetileg csak azt értették, amikor egy mutáns vírusfehérjét fejeztetnek ki transzgenikus állatokban. Ez azután interferál a vad típusú vírus sejtbe történő belépésével, illetve gátolja annak szaporodását. Újabb ide sorolják a sejten belüli ellenanya-

gok, illetve antiszenz RNS-ek kifejeztetésével történő védekezési módot is, melyek ez idáig elsősorban a humán gyógyászatban, illetve transzgenikus növényekben kerültek kipróbálásra.

Kevés olyan állati betegséget ismerünk, amellyel szembeni rezisztencia egyetlen génhez kötött. Az Mx1 gén kifejeződése transzgenikus egerekben az influenza A vírussal szemben rezisztenciát hozott létre (Arnheiter és mtsai, 1996). A birkaállomány jelentős része fertőzött a lentivirus családba tartozó visna vírussal. A kutatók visna vírus burok fehérje génjét juttatták transzgenikus juhokba. Elméletileg azt az eredményt várták, hogy a transzgén kifejező állatokban a burok fehérje kötődik az endogén visna receptorokhoz és így valós fertőzőeszkor majd interferál a vírusfelvétellel. Mindhárom transzgenikus bárány kifejezte a vírusfehérjét, nem ismeretesek azonban utódjaik vírusellenállósági tesztjeinek eredményei (Clements és mtsai, 1994).

Alternatív megközelítésként az újszülött állatok védettségét az anyai immunitás fokozásával próbálják elérni. Ezen elképzelés jegyében transzgenikus egereket állítottak elő, melyek nagy mennyiségben termelik a sertés gasztroenteritisz vírust neutralizáló ellenanyagot (Sola és mtsai, 1998). Ez a vírusfertőzöttség csaknem 100% mortalitást okoz újszülött sertésekben. A transzgenikus egereken kapott biztató eredmények alapján remélhetjük, hogy a kísérletet kiterjesztik transzgenikus sertésekre is. Más kutatók az IgA típusú ellenanyag transzportjában résztvevő receptor fehérjét fejeztették ki transzgenikus egerek emlőszövetében, azt remélve, hogy ez lehetővé teszi nagyobb mennyiségű IgA kiválasztódását a tejben (de Groot és mtsai, 1999).

A tejösszetétel megváltoztatása

A tej és tejtermékek képezik a fejlett világ teljes fehérjefogyasztásának kb. 30%-át. A tejösszetétel megváltoztatására irányuló kísérletek haszonállatok esetében ez ideig az egyes tejfehérjék extra kópiáinak hozzáadására korlátozódtak. A jövőben lehetőség lesz bármely tejfehérje gén deléciójára vagy célzott megváltoztatására is. Az eddigi eredmények az olyan célok eléréséhez vittek közelebb, mint például a tej feldolgozhatóságának kedvezőbbé tétele, a tej tápértékének növelése, humanizált tehéntej előállítás.

A tehéntej hat fő fehérjekomponense az $\alpha 1$ -, $\alpha 2$ -, β -, és κ -kazein, továbbá két savófehérje: az α -laktalbumin és a β -laktoglobulin. Az összfehérje-tartalom 80%-át adják a kazeinek (24–28 gr/l) míg a savófehérjék 5–7 gr/l, koncentrációban vannak jelen. A kazeinek CaPO_4 -tal kapcsolódva 20–600 nm méretű micellákat alkotnak.

Transzgenikus egereken és haszonállatokon végzett kísérletek tanulsága szerint nem lehet lényegesen változtatni az összfehérje-tartalmat, mert egy pontosan még nem tisztázott mechanizmus a nagy mennyiségben termelődő transzgén fehérje mellett csökkenti az endogén fehérjék termelését. Lehetséges azonban az egyes tejfehérjék egymáshoz viszonyított arányának megváltoztatása. A kazein fehérjék arányának növelése a savófehérjékhez képest a sajtgyártás számára kedvező irányú változás lenne. Mivel a szarvasmarha esetében a kazein gének kapcsolatosan helyezkednek el a 6. kromoszóma egy 260 kb nagyságú szegmensén, az egyik lehetőség a teljes kazein régió mikroinjektálása YAC klón transzgenézissel, melynek technikai akadályai ma már nincs (Brem és mtsai, 1996), az eredmények azonban mégis váratnak magukra. Megtörtént viszont — igaz, túlnyomórészt transzgenikus egérmódellen — az egyes kazein és savófehérje gének mikroinjektálása és az így túltermelt fehérjék megjelenéséből adódó következmények vizsgálata. A tejfehérje gének extra kópiáinak beépítéséből azt a fontos következtetést lehetett levonni, hogy a laktáló nőtények egészségének károsítása nélkül valósítható meg egy tejfehérje nagy mennyiségben (a normális érték 2–3-szorosa) történő termelése az emlőmirigyben (Clark, 1996).

Egyes esetekben részletesebb analízist is végeztek: a szarvasmarha β -kazeint túltermelő egerek esetében pl. megállapították, hogy a transzgén termék az eredeti fehérjével

megegyező mértékben foszforilált és képes az egér kazeinek alkotta micellába beépülni (Hitchin és mtsai, 1996). Ugyanakkor Bleck és mtsai (1995) azt is kimutatták, hogy azon laktáló egerek, melyek tejében a legmagasabb koncentrációban termelődött szarvasmarha β -kazein, a normálisnál rövidebb laktációs idejüknek bizonyultak és tejük viszkozitása oly mértékben megemelkedett, ami megnehezítette, illetve lehetetlenné tette hogy a tej eltávozzon az emlőkből.

A kazein micellák méretét a felszínen elhelyezkedő κ -kazein befolyásolja, ezért számos olyan összefoglaló jelent meg az elmúlt 15 évben, amely prognosztizálta, hogy a κ -kazein mennyiségének növelésével a micellák mérete csökkenni fog és ennek következményeként fokozódhat a tej hőstabilitása. Egy ilyen módosulás kedvező lehet a tejgyártás sterilizálási folyamatában, illetve tejtermékek előállításánál, ahol nőhet az alvadáskor keletkező gél erőssége. Az eddig elvégzett kísérletek során szarvasmarha κ -kazeint túltermelő egerek tejében beigazolódott a kazein micellák méretének csökkenése és kimutatták, hogy az ilyen tej alvadáskor keletkezett gél erőssége megnövekedett. *Munkacsoportunk* κ -kazein túltermelő egerek tejének vizsgálatával megállapította, hogy azoknak a laktáló nőstényeknek a tejében, amelyek a legnagyobb mennyiségben termelik a nyúl κ -kazeint, az, a micellák mellett, a savó frakcióban is megjelenik. A micellák mérete ebben az esetben is csökkent, mégpedig a tejben mért nyúl κ -kazein mennyiségével fordított arányban. A κ -kazein túltermelő transzgenikus nőstények ivadéknevelő képességét összehasonlítva nem transzgenikus alomtársaikéval azt tapasztaltuk, hogy bár a kisebb micellaméret megkönnyíti az emésztést, a transzgenikus nőstények által táplált alom súlygyarapodása mégis elmaradt a kontroll nőstény által szoptatott egerekéhez képest (Hiripi és mtsai, 1999).

Az α -laktalbumin, mely a tehéntej összes fehérjetartalmának mindössze 3%-át kitevő savófehérje, fontos szerepet játszik a tejcukor szintézisében. A kazein fehérjékkel szemben, ahol extra kópiák bejuttatásával azok mennyiségének növelése a kívánatos cél, az α -laktalbumin esetében olyan transzgenikus stratégiákat dolgoztak ki, melyekkel a tejcukor mennyiségének csökkenése érhető el. Csökkentett tejcukortartalmú tej már ma is kapható, ezt a tehéntej utókezelésével állítják elő. Erre a termékre azért van szükség, mert világméretben a felnőtt populáció jelentős hányada szenved a tejcukor elégtelen feldolgozásának következményeként fellépő bélrendszeri betegségekben. Ezen megbetegedések oka, hogy a legtöbb felnőttben a csecsemőkor végén lecsökken a vékonybélben termelődő tejcukor hidrolizáló enzim mennyisége.

Az α -laktalbumin szerepének vizsgálatára a kutatók α -laktalbumin-hiányos egereket állítottak elő. A homo- illetve heterozigóta nőstények tejmintáinak analízisével kimutatták, hogy a várakozásoknak megfelelően az α -laktalbumin mennyisége és a tejcukortartalom direkt összefüggést mutat. Ugyanakkor az is kiderült, hogy a tejcukor mennyiségének drasztikus csökkentése nem járható út, mivel a homozigóta nőstények tejének viszkozitása oly mértékben megnőtt, hogy az gátolta a tejelválasztást. Ugyanezen okból ezek a nőstények nem tudták táplálni utódaikat (Stinnakre és mtsai, 1994). Ezért egy újabb kísérletben szarvasmarha α -laktalbumin mRNS specifikus ribozim molekulát fejeztettek ki transzgenikus egerek emlőszövetében. Mikor ezen egérvonal egyedeit keresztezték olyan transzgenikus egerekkel, melyekben szarvasmarha α -laktalbumint termeltettek, azt tapasztalták, hogy a kettős hemizigótákban a szarvasmarha α -laktalbumin mennyisége 50–78%-kal csökkent (*L'Huillier és mtsai, 1996*). Másfajta megközelítést követtek azok a kutatók, akik a normálisan csak a vékonybélben termelődő tejcukor hidrolizáló enzim (laktáz) emlőszövet specifikus kifejeződését érték el transzgenikus egerekben. A tejcukor hidrolizáló enzim termelődése az emlőszövetben a tejcukortartalom 50–85%-os csökkenését eredményezte, anélkül hogy a tejsír- vagy fehérjetartalom, illetve a laktáló nőstények ivadéknevelő képessége megváltozott volna (*Jost és mtsai, 1999*).

A tejösszetétel megváltoztatásának az eddig tárgyaltaktól elvben különböző lehetősége egy másik fajban jelenlevő tejalkotórész kifejeztetése, vagy egy tejfehérje módosítása. Az eredmény mindkét esetben a tej felhasználhatóságának előnyös megváltoztatása lehet. Ebbe az irányzatba tartoznak azok az elképzelések, melyek humanizált tejet termelő

transzgenikus haszonállatok előállítását tűzik ki célul. Humán lactoferrin termeltetés céljából már 1991-ben transzgenikus szarvasmarhákat állítottak elő, sajnos azonban nem ismeretesek a génkifejeződésre vonatkozó adatok (*Krimpenfort és mtsai*, 1991). A lactoferrin, mely a humán tejben 1,7 mg/ml, míg a tehéntejben 0,02–0,2 mg/ml-es koncentrációban van jelen, a legfontosabb vaskötő tejfehérje és jelentős antibakteriális hatása is van. Megemelt koncentrációja csökkenthetné az emlőgyulladás gyakoriságát. Emellett az ilyen tehéntejjel táplált csecsemőkben megelőzhetővé válhatna a vashiányos állapot kialakulása. Egyelőre csak tervben léteznek olyan transzgenikus haszonállatok, melyek módosított — fenilalanin-mentes — tejfehérjéiből készítenek majd pl. sajtot. Az ilyen genetikailag módosított tejből (GMO) készült sajt kiegészíthetné az örökletes fenilketonureában szenvedő emberek étrendjét. A fenilketonureában szenvedő betegek nem képesek a fenilalanin lebontására, ezért, hogy mentesüljenek a felhalmozódó fenilalanin idegrendszeret károsító hatásától, egész életükben gyakorlatilag fehérjementes diétára kényszerülnek. Itt kell megjegyezni, hogy transzgenikus állati eredetű termékek felhasználása emberi táplálékként ma még jogi akadályokba is ütközik.

Érdekes eredményt adott, amikor transzgenikus egérmodellel vizsgálták a humán lizozim előszövet specifikus kifejeződésének következményeit. A lizozim fehérjék jelentős antimikrobiális aktivitással bírnak, természetes körülmények között előfordulnak többek között a különböző testnedvekben. A transzgenikus egerek tejből kivont humán lizozim megőrizte antibakteriális hatását és pozitív töltésénél fogva kölcsönhatásba lépett a kazein micellákkal, csökkentve ezáltal a micellák átlagos méretét és az alvadási időt (*Maga és mtsai*, 1995).

*A mezőgazdasági céllal előállított transzgenikus állatokkal végzett kísérletek számos előremutató részeredményt hoztak, ezek azonban elmaradnak a kezdeti várakozásoktól. A kutatók nem várt nehézségekkel találták szemben magukat, amikor komplex, több gén által befolyásolt élettani folyamatokat akartak befolyásolni. Az alap kutatás új eredményei számos problémát megoldottak, így ma már lehetséges olyan transzgen konstrukciókat tervezni, amelyek szövet- és fejlődésspecifikusan fejeződnek ki (például az izomszövetben) és ezáltal elkerülhetőek a korai kísérleteket jellemző mellékhatások. Az elvégzett kísérletek számát elsősorban etikai megfontolások alapján korlátozták, de ahhoz hozzájárultak az üzleti, költség/haszon számítások is. Mezőgazdasági célú hasznosulás esetén a gazdaságossági számítások kiindulópontját annak kell képeznie, hogy — szelektált géntől függően — hatékony hagyományos szelekcióval évi 1–3%-os javulást, ún. genetikai előrehaladást lehet elérni. Ehhez járul még hogy a hatékonyságot növelendő egyre több molekuláris genetikai markert vonnak be a szelekcióba, illetve hogy folyamatosan bővülnek a háziállatok genetikai térképeiről rendelkezésünkre álló információk is (*Fésűs*, 1998).*

Mivel a transzgenikus haszonállatok mezőgazdasági felhasználásának célja a genetikai előrehaladás felgyorsítása, a kutatóknak azzal a ténnyel kell szembe nézniük, hogy bár a transzgen kifejeződése miatt ez az állat egy tulajdonság szempontjából kiemelkedő lehet, ugyanakkor fel kell tételezniük, hogy az összes többi szelektált marker szempontjából átlagos tulajdonságú lesz. Így a transzgent hordozó egyed olyan állatokkal kerül összehasonlításra, melyek sok más szempontból kiválóbbak. Ehhez a szelekciós hátrányhoz korábban hozzáadódott még az a tény is, hogy lehetetlen volt megoldani egy már meglévő pozitív tulajdonság gyors elszaporítását nagy állományokban. Ez a probléma azonban a sejtmagátültetés széles körben történő elterjedésével meg fog oldódni. A módszerrel az alapító állat testi sejtjeiből kiindulva tetszőleges számú és nemű — az alapító egyeddel genetikailag identikus — utódot hozhatnak létre. Ez a korábban alkalmazott (*1. táblázat*) két generációnyi időintervallumot igényel, az utódokban pedig a transzgen kimutatását igénylő módszerhez képest jelentős idő- és költségmegtakarítással jár majd. Ugyanakkor ez az új módszer fokozza a teljesen azonos genetikai állománnyal rendelkező állatok elszaporodásából eredő kockázatokat (pl. járványokkal szembeni védtelenség) is.

Feltétlenül figyelembe kell azt is venni, hogy a közvéleményben növekvő ellenállás tapasztalható a kereskedelmi céllal előállított, transzgenikus eredetű termékekkel szemben. Feltételezhetően lesznek olyan genetikai változtatások, amelyek társadalmi fogadtatása kedvezőbb lesz. Ilyen lehet például a prion fehérje gén deléciója birkákban és szarvasmarhákban, ami kergékór, illetve BSE elleni rezisztenciát eredményezne. Mindezen okokból nehéz megjósolni, hogy várható-e olyan robbanásszerű térnyerés ezen a vonalon is, mint amely a transzgenikus növények vetésterület növekedésében bekövetkezett.

Gyógyászati alkalmazások

Számos betegség, illetve örökletes rendellenesség gyógyítható sikeresen a transzgenikus állatok által termeltetett gyógyszerekkel. A rekombináns fehérjék világpiaca 1998-ban 12,8 milliárd USD volt. A transzgenikus haszonállatok bioreaktorként való felhasználása ma már realitás, nem egy olyan termék van, amely a klinikai kipróbálás különböző stádiumába ért. Ezen túlmenően a transzgenikus haszonállatok előállításának további fontos célja az állattenyésztők igényeinek kielégítése: több vagy jobb minőségű hús, tejtermék és gyapjú termelésére képes haszonállatok létrehozása. Ezen célokhoz csatlakozott egy újabb gyógyászati célú felhasználás, nevezetesen olyan transzgenikus minisertések előállítása, melyek szervei (szív, vese) ideiglenes vagy állandó xenograftként beültethetők.

Transzgenikus állatok bioreaktorként alkalmazása

Rekombináns fehérjék előállítása a biotechnológiai ipar első sikerei közé tartozott. Hamar kiderült azonban, hogy egyes gyógyhatású fehérjék több típusú poszttranszlációs módosítást igényelnek a teljes aktivitáshoz és stabilitáshoz. A poszttranszlációs módosítók típusai a teljesség igénye nélkül: szignál peptid kivágódás; -s-s- hidak kialakítása; fehérje folding; alegységek egyesülése; (O⁻ és N) glikozilálás; amidálás; acetilálás; foszforilálás stb. A rekombináns fehérjék előállítására korábban használt rendszerek (pl. baktériumok, élesztők, gombák, transzgenikus növények) nem képesek bizonyos típusú poszttranszlációs módosításokra, ezért az ilyen típusú fehérjék előállítása a transzgenikus haszonállatok alkalmazását megelőzően csak emlőssejt kultúrában volt lehetséges. Az emlőssejt kultúra rendkívül költséges és kis hatékonysággal képes csak fehérjét termelni. Transzgenikus állatok bioreaktorként történő felhasználásánál, mivel a termék fehérjét tovább kell tisztítani elsősorban a testfolyadékok (vér, tej, vizelet) jöhettek szóba, mint nagy mennyiségű és újra felhasználható forrás. Bár a vér fehérjék nagy mennyiségben történő feldolgozása és frakcionálása mint kiindulási pont már sok éve rendelkezésre állt, idegen fehérjék vérben történő termeltetése mégsem terjedt el széles körben, elsősorban azért, mert ha az idegen fehérje biológiailag aktív, az káros hatással lehet a termelő állat egészségére. Az emlőszövet mellett szól, hogy a benne termelt tej kiválasztódik, sokkal kevésbé bonyolult összetételű, mint a vér, és nagy mennyiségben könnyen nyerhető. Az is az emlőszövet felhasználása mellett szól például, hogy a viszonylag kis számú tejfehérje szinte mindegyikének génjét izolálták és szabályozó régióikat analizálták. Ez a körülmény megkönnyítette a hatékony emlőszövet-specifikus vektorok kifejlesztését. Az emlőszövet sejtjei specializálódtak a nagy mennyiségben történő termelésre, rendelkeznek azokkal a transzportfolyamatokkal, melyek lehetővé teszik a prekursor molekulák felvételét a vérből és olyan intracelluláris sejtalkotó részekkel, melyek megengedik a fehérjék poszttranszlációs módosítását és kiválasztását.

A skóciai Roslin Intézetben hoztak létre elsőként α -1-antitripsint nagy mennyiségben termelő transzgenikus egereket, majd egy transzgenikus birkanyáját is (Carver és mtsai, 1993). A kísérletben részt vevő kutatók egy csoportja már 1987-ben megalapította a PPL Therapeutics Ltd. céget. A 2. táblázatban foglaltam össze azokat a gyógyhatású fehérjéket,

melyeket a különböző biotechnológiai cégek transzgenikus birka-, illetve kecskenyájak által termeltetnek és már a közeli jövőben várható piacra kerülésük.

2. táblázat

Termék	Felhasználás	Gyártó	Fejlesztési fázis
Alfa-1-antitripszin	Cisztikus fibrózis Tüdőtágulás	PPL	Klinikai II. fázis
Alfa-1 proteináz inhibitor	Örökletes rendellenesség	GTC	Fejlesztés alatt
Antitrombin III	Szív koronáriák bypass műtétei	GTC	Klinikai III. fázis
Béta interferon	Szklerózis multiplex	GTC	Fejlesztés alatt
Epe só stimulálta lipáz	Cisztikus fibrózis Akut hasnyálmirigy-gyulladás	PPL	Klinikai kipróbálásra előkészítve
C-1 észteráz inhibitor	Akut szívinfarktus	PHARMING	Klinikai kipróbálásra előkészítve

Az eddigi kísérletek bebizonyították, hogy a teljes fehérjetartalom 50%-át is elérheti egy idegen fehérje koncentrációja a tejben, a legtöbb esetben anélkül, hogy károsan befolyásolná az állatok egészségét, emlőszövetük működését vagy a transzgenikus nőstények alomszámát, illetve az alom súlygyarapodását. Ahhoz, hogy az állati tejből tisztított gyógyhatású fehérjék végül forgalomba kerüljenek, a gyártóknak dokumentálniuk kell az állatok eredetét, egészségi állapotát, a transzgen stabilitását és az előállított fehérje részletes jellemzését. Az a tény, hogy sok éven keresztül alkalmaztak szarvasmarha-, illetve sertésinzulint és sertés VIII. véralvadás faktort a humán gyógyászatban, anélkül, hogy a fajok között vírus transzmisszió előfordult volna, csökkenteni látszik a transzgenikus termékekkel kapcsolatos ez irányú aggodalmakat.

Xenotranszplantáció

Az utóbbi öt évben egyre több közlemény lát napvilágot, melyben transzgenikus egereket, illetve minisertéseket állítanak elő, azzal a céllal, hogy végül létrejöjjön egy olyan minisertés, mely immunológiai szempontból tökéletesen megfelelő emberi szervdonor. A xenotranszplantáció legfőbb akadálya az ún. hiperakut reakció, melynek során a szervezetben már létező ellenanyagok a komplement rendszer közvetítésével a beültetett szerv vagy szövet azonnali kilökődéséhez vezetnek. Az eddigi eredmények két kérdéskör vizsgálatából születtek: egyfelől megállapították, hogy mely antigén determinánsok váltják ki a legerősebb ellenanyag választ, majd megpróbálták transzgenézissel eltüntetni azokat. Másfelől a befogadó szervezet komplement rendszerét szabályozó (gátló) fehérjéket fejezték ki a szervdonor állatokban. A kísérletek végzését a beültethető szervek iránti egyre növekvő igény motiválja (3. táblázat).

Transzplantáció típusa	Regisztrált transzplantációra várók*
Vese transzplantáció	44307
Máj transzplantáció	13523
Hasnyálmirigy transzplantáció	481
Hasnyálmirigy sziget transzplantáció	114
Vese—hasnyálmirigy transzplantáció	1932
Bél transzplantáció	114
Szív transzplantáció	4348
Szív—tüdő transzplantáció	231
Tüdő transzplantáció	3360
Összesen	68410

*Az adatokat az UNOS (USA) tette közzé 1999-ben.

Megállapították, hogy az óvilági főemlősök (ide tartozik az ember is) nagy mennyiségű ellenanyaggal rendelkeznek olyan szénhidrát oldalláncokkal szemben — az egyik legfontosabb pl. a Gal(α 1-3)Gal — melyek ezen főemlősökben nem képződnek. Transzgenikus egeret állítottak elő, melyből eltávolították a Gal(α 1-3)Gal szintézisében részt vevő egyik enzim génjét. Megállapították, hogy az enzim hiánya nem okoz egészségkárosodást. Ez az út tehát járható lesz minisertésekben is, így olyan transzgenikus állatokat tudnak majd létrehozni, melyekben a hiperakut reakciót kiváltó legfőbb antigén determináns nem fog szintetizálódni (Sandrin és mtsai, 1997).

A komplement rendszer gátlására többfajta emberi fehérjét (decay accelerating factor [hDAF], CD 59) fejeztettek ki a szervdonor állatok epiteliális sejteiben (Platt, 1996). Beszámoltak hDAF-ot termelő transzgenikus minisertés szívének majomba történt transzplantációjáról, mellyel kéthónapos szervtúlélést értek el (Lambrigts és mtsai, 1998). A kutatócsoportok most olyan transzgenikus minisertések előállításán dolgoznak, melyek több transzgen egyidejű kifejezésére képesek. A sejtmagátültetés technikája módot ad több gén egyidejű kicserélésére, illetve eltávolítására is, ami jelentős előrelépést jelenthet a hiperakut reakció megelőzésében. Aggudalomra adhat viszont okot, hogy bebizonyosodott: egyes sertés retrovírusok képesek emberi szövettenyészetekben osztódni, így fennáll a veszély, hogy képesek átugrani a fajok közötti határokon. Ugyanakkor minisertésekből, könnyen létrehozható olyan speciális körülmények között tartott állomány (SPF), amelynek állandó ellenőrzésével ez a veszély minimálisra csökkenthető. A legtöbb országban moratórium van érvényben a xenotranszplantációra, de oly nagy a szervek iránti igény, hogy korlátozott klinikai kísérletek engedélyezésére már a közeli jövőben is sor kerülhet.

Transzgenikus haszonállatok gyógyászati célú felhasználásával kapcsolatban még számos etikai, jogi és tudományos kérdés vár megoldásra, mint például az állatok genetikai módosításának vallásfilozófiai következményei, a környezetszennyezés problémája, az azonos genetikai állománnyal rendelkező klónok felszaporításának veszélyei, vagy az, hogy jogos-e a transzgenikus állatok szabadalmi védelem alá helyezése.

IRODALOM:

- Arnheiter H., Kambadur R., Meier E., Haller O. (1996) Mx transgenic mice-animal models of health. In: Transgenic models of human viral and immunological disease (F.V. Chisari and M.B.A. Oldstone eds.) Springer-Verlag 119–147.
- Bawden C.S., Powell B.C., Walker S.K., Rogers G.E. (1998) Expression of a wool intermediate filament keratin transgene in sheep fibre alters structure. *Transgenic Res.* 7. 273–287.
- Bleck G.T., Jimenez-Flores R., Bremel R.D. (1995) Abnormal properties of milk from transgenic mice expressing bovine β -casein under control of the bovine α -lactalbumin 5' flanking region. *Inter. Dairy. J.* 5. 619–632.
- Brem G., Besenfelder U., Aigner B., Müller M., Liebl I., Schütz G., Montoliu L. (1996) YAC transgenesis in farm animals: rescue of albinism in rabbits. *Mol. Reprod. Dev.* 44. 56–62.
- Carver A.S., Dalrymple M.A., Wright G., Cottom D.S., Reeves D.B., Gibson Y.H., Keenan J.L., Barrass J.D., Scott A.R., Colman A., Garner I. (1993) Transgenic livestock as bioreactors: stable expression of human alpha-1-antitrypsin by a flock of sheep. *Bio/Technology* 11. 1263–1270.
- Cibelli J.B., Stice S.L., Golueke P.J., Kane J.J., Jerry J., Blackwell C., de Leon A.P., Robl J. (1998) Cloned transgenic calves from nonquiescent fibroblasts. *Science* 280. 1256–1258.
- Clark A.J. (1996) Genetic modification of milk proteins. *Am. J. Clin. Nutr.* 63. 633S–638S.
- Clements J.E., Wall R.J., Narayan O., Hauer D., Schoborg R., Sheffer D., Powell A.M., Carruth L.M., Zink M.C., Rexroad C.E. (1994) Development of transgenic sheep that express the visna virus envelope gene. *Virology* 200. 370–380.
- Costa K., Solanes G., Visa J., Bosch F. (1998) Transgenic rabbits overexpressing growth hormone develop acromegaly and diabetes mellitus. *Faseb J.* 12. 1455–1460.
- Damak S., Su H.Y., Jay N.P., Bullock D.W. (1996) Improved wool production in transgenic sheep expressing insulin-like growth factor 1. *Bio/technology* 14. 185–188.
- Evans M.J., Kaufman M.H. (1981) Establishment in culture of pluripotential cells from mouse embryos. *Nature* 292. 154–156.
- Fésüs L. (1998) Szekelő az állattenyésztésben molekuláris genetikai markerekkel. *Magy. Tud. I.* 32–44.
- Gordon J.W., Scangos G.A., Plotkin D.J., Barbosa J.A., Ruddle F.H. (1980) Genetic transformation of mouse embryos by microinjection of purified DNA. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 77. 7380–7384.
- de Groot N., Kuik-Romeijn P., Lee S.H., de Boer H.A. (1999) Over-expression of the murine polymeric immunoglobulin receptor gene in the mammary gland of transgenic mice. *Transgen. Res.* 8. 125–135.
- Hitchin E., Stevenson E.M., Clark A.J., McClenaghan M., Leaver J. (1996) Bovine β -casein expressed in transgenic mouse milk is phosphorylated and incorporated into micelles. *Prot. Expr. Purif.* 7. 247–252.
- Híripi L., Baranyi M., Szabó L., Tóth Sz., Fontaine M-L., Devinoy E., Bősze Zs. (1999) Effect of rabbit κ -casein expression on the properties of milk from transgenic mice. *J. Dairy Res.* (submitted)
- L'Huillier P.J., Soulier S., Stinnakre M.G., Lepourry L., Davis S. R., Mercier J.C., Vilotte J. L. (1996) Efficient and specific ribozyme-mediated reduction of bovine α -lactalbumin expression in double transgenic mice. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 93. 6698–6703.
- Jost B., Vilotte J. L.; Duluc I., Rodeau J. L., Freund J. N. (1999) Production of low-lactose milk by ectopic expression of intestinal lactase in the mouse mammary gland. *Nature Biotech.* 17. 160–164.

- Krimpenfort P., Rademakers A., Eyestone W., van der Schans A., van den Broek S., Kooiman P., Kootwijk E., Platenburg G., Pieper F., Strijker R., de Boer H. (1991) Generation of transgenic cattle using in vitro embryo production. *Bio/technology* 9. 844—847.
- Lambrigts D., Sachs D.H., Cooper D.K. (1998) Discordant organ xenotransplantation in primates: word experience and current status. *Transplant*. 15. 547—561.
- Maga E. A., Anderson G. B., Murray J. D. (1994) The effect of mammary gland expression of human lysozyme on the properties of milk from transgenic mice. *J. Dairy Sci.* 78. 2645—2652.
- Martin G.R. (1981) Isolation of a pluripotent cell line from early mouse embryos cultured in medium conditioned by teratocarcinoma stem cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 78. 7634—7638.
- McPherron A.C., Lawler A.M., Lee S.J. (1997) Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF- β superfamily member. *Nature* 387. 83—90.
- Palmiter R.D., Brinster R.L., Hammer R.E., Trumbauer M.E. (1982) Dramatic growth of mice that develop from eggs microinjected with metallothionein-growth hormone fusion genes. *Nature* 300. 611—615.
- Platt J.L. (1996) Xenotransplantation: recent progress and current perspectives. *Curr. Op. Immunol.* 8. 721—728.
- Pursel V.G., Solomon M.B. (1993) Alteration of carcass composition in transgenic swine. *Food Rev. Int.* 9. 423—439.
- Sandrin M.S., Osmann N., McKenzie I. F. C. (1997) Transgenic approaches for the reduction in expression of GAL α (1,3) Gal for xenotransplantation. *Front. Biosci.* 2. 1—11.
- Schnieke A.E., Kind A.J., Ritchie W.A., Mycock K., Scott A.R., Ritchie M., Wilmut I., Colman A., Campbell K.H.S. (1997) Human factor IX transgenic sheep produced by transfer of nuclei from transfected fetal fibroblasts. *Science* 278. 2130—2133.
- Sola I, Castilla J, Pintado B, Sanchez-Morgado JM, Whitelaw CB, Clark AJ, Enjuanes L. (1998) Transgenic mice secreting coronavirus neutralizing antibodies into the milk. *J Virol.* 72. 3762—3772.
- Stinnakre M.G., Vilotte J.L., Soulier S., Mercier J.C. (1994) Creation and phenotypic analysis of α -lactalbumin deficient mice. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91. 6544—6548.
- Su H.Y., Jay N.P., Gourley T.S., Kay G.W., Damak S. (1998) Wool production in transgenic sheep: results from first-generation adults and second-generation lambs. *Anim. Biotechnol.* 9. 135-147.
- Szabó G., Dallmann G., Müller G., Patthy L., Soller M., Varga L. (1998) A deletion in the myostatin gene causes the compact (Cmpt) hypermuscular mutation in mice. *Mammalian Gen.* 9. 671—672.
- Vidal S., Stefanescu L., Thapar K., Aminyar R., Kovacs K., Bartke A. (1999) Lactatoroph hyperplasia in the pituitaries of female mice expressing high levels of bovine growth hormone. *Transgen. Res.* 8. 191—202.
- Willadsen S.M. (1986) Nuclear transplantation in sheep embryos. *Nature* 320. 63—65.
- Wilmut I., Schnieke A. E., McWhir J., Kind A.J., Campbell K.H. (1997) Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature* 385. 810—813.

Kromoszomatörténet: az alapkutatótól a technológiáig SATAC — a mesterséges kromoszóma

Az 1980-as évek második felében, a Szegedi Biológiai Központ Genetikai Intézetében elkezdődött egy kutatási program, melynek célja működőképes, mesterséges emlőskromoszómák előállítása volt. A kromoszómaépítés igénye egyértelműen alapkutatói megfontolásban gyökerezik. A genetika egyik alapvető megoldatlan kérdése a magasabbrendű szervezetek kromoszómainak pontos szerkezeti felépítése és működése.

A kromoszómák olyan hordozó szerkezetek, amelyek egyben a genetikai anyag szabályozott működését is biztosítják. Bármelyik sejtünket példának tekintve az ebben található genetikai információt hordozó DNS körülbelül 2 m hosszúságú, mintegy 3 millárd építőelemből, bázispárból áll. Ez a 2 méternyi DNS kódolja azt a megközelítőleg százezer gént, amely minden tulajdonságunkért felelős és tízezerszeresen összehajtogatódva működési egységekbe, a kromoszómákba van csomagolva. A kromoszómák biztosítják, hogy ez az irdatlan hosszúságú DNS bázispár igen nagy pontossággal képes legyen megduplázódni, és a százezer génről géntermék képződhessen. Ugyancsak a kromoszómák révén történik meg a genetikai anyag hajszálpontos elosztása az utódsejtekbe, a sejtosztódások során.

Ma még nem tudjuk pontosan, hogy valójában milyen is az a szerkezeti felépítés, amely ezt a látszólag megoldhatatlan feladatot biztosítani képes. Úgy gondoltuk, ha sikerülne egy működőképes mesterséges kromoszómát építenünk, akkor olyan modellrendszerhez jutnánk, amelyben az elemek megváltoztatásával, cseréjével talán közelebb juthatnánk a kromoszómák szerkezeti felépítésének és működésének megismeréséhez. Ezen túlmenően, már másfél évtizeddel ezelőtt is nyilvánvaló volt, hogy egy mesterséges kromoszóma alkalmas génhordozó, szállító eszköz (vektor) lehet számos biotechnológiai alkalmazásban. Tizenöt év elteltével e program — alapvető célját tekintve — teljesült, sikerült kidolgozni egy olyan eljárást, mellyel lehetővé vált kívánalmainknak megfelelő, mesterséges emlőskromoszómák előállítása. Ezen kromoszómák alapanyagát döntően rövid, ismétlődő DNS szakaszok (szatellit DNS) alkotják, erre utal elnevezésük: szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák (Satellite DNA-based Artificial Chromosome — SATAC).

A szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák létrehozása azon a felismerésen alapult, hogy bizonyos körülmények között az élő sejtek új kromoszómák építésére kényszeríthetők. Egyes kromoszómákon meghatározott helyre történő idegen DNS beépítése az adott szakasz megkettőződésének finoman szabályozott folyamatát megzavarja. Ennek eredményeképpen az idegen DNS, illetve a beépülés környéki DNS szakaszok megsokszorozódnak (amplifikáció), új kromoszómaszakaszok, kromoszómakar és végső soron új kromoszóma képződik. E folyamat révén ezek az új kromoszómák döntően a beépülés környéki DNS szakaszokból és az idegen DNS-ből épülnek fel. Ha a „kromoszómaépítés” helyéül választott szakasz géneket nem hordozó, úgynevezett szatellit DNS-ből áll, akkor a

képződő új kromoszóma csakis azt vagy azokat a géneket hordozza, amelyeket „idegen” DNS formájában a sejtekbe juttattunk. Azaz megtervezhető az új kromoszóma DNS összetétele és genetikai tartalma. (1. színes kép)

Napjainkra bebizonyosodott, hogy a szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák előállításának módszere jelenleg az egyetlen olyan eljárás, amellyel biotechnológiai alkalmazásokra kész mesterséges kromoszómák állíthatók elő. A felhasználás szempontjából a szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák egyedülálló sajátosságai:

1. Ismételhető és hatékony előállításuk különböző „hasznos” génekkel (2. színes kép),
2. Szerkezetük és biológiai aktivitásuk megtartása mellett ipari méretekben tisztíthatók,
3. Sikeresen átvihetők más fajok sejtjeibe, beleértve a petesejtet (embrió) is,
4. A tisztított mesterséges kromoszómákkal transzgenikus állatok állíthatók elő,
5. Transzgenikus állatokban öröklődik; a szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák jelenléte semmilyen észrevehető „mellékhatást” nem idéz elő az állatokban (3. színes kép).

Alaputatás- és innovációtámogatás

Így létrejött egy mesterséges kromoszómán alapuló technológia, a SATAC technológia, amelynek főbb felhasználási területei is körvonalazódtak: bioaktív molekulák termeltetése sejtenyészetekben, gyógyszer-alapanyag termelése transzgenikus állatok tejében (testnedveiben), nagyteljesítményű, betegséggellenálló haszonállatok előállítása, „humanizált”, átültetésre alkalmas szövetek és szervek „termelése” transzgenikus állatokban, öröklött vagy szerzett betegségek gyógyítása, megelőzése génterápiával.

A szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómákkal végzett munkánk több olyan „alapkutatási” felismerést eredményezett, amelyek részben máris igazolták reményünket, hogy a mesterséges kromoszómák révén fontos ismereteket szerezhetünk az emlőskromoszómák szerkezetét és működését illetően. Ezek közül, a teljesség igénye nélkül, néhány említésre méltó példa:

1. Sikertől meghatározunk a kromoszómákon egy olyan centromer közeli, különleges DNS szakaszt (megareplikátor), amely egy több millió bázispár hosszúságú kromoszómadarab (magában foglalva a centromert is) megkettőződését irányítja. Ez az a DNS szakasz, amely egyben az új kromoszómák képződésének is a kulcsa.

2. A szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák léte megtörte azt a dogmát, hogy a géneket nem hordozó kromoszómaszakaszok különleges szerkezeti felépítése (heterokromatin) gátolja az ilyen szakaszok közelében elhelyezkedő, vagy a heterokromatinba beépült (beépített) gének működését. Valamennyi eddig előállított SATAC heterokromatikus, ennek ellenére valamennyi magas szintű, állandó géntermék-képződést biztosít az általuk hordozott és heterokromatinba ágyazott génekről.

3. Fontos adatokat szereztünk a heterokromatikus kromoszómaszakaszok megkettőződésének időbeli és térbeli szabályozását illetően.

4. Az állatvilágban és az ember esetében is, a faj szempontjából meghatározónak tartott kromoszómaszám megváltozása többnyire súlyos, gyakran végzetes következményekkel jár. A SATAC-ot hordozó állatok születése és normális fejlődése bebizonyította, hogy arra alkalmas, megfelelően tervezett mesterséges kromoszómával megváltoztatható a kromoszómaszám, minden káros következmény nélkül. A mesterséges kromoszóma öröklődése, az egészséges, megváltoztatott kromoszómaszámú utódok világrajötte bebizonyította, hogy a SATAC jelenléte nem zavarja meg az ivarsejtképződés folyamatát.

* A színes képek magyarázó feliratait a cikk végén található. – A szerk.

Visszatérve az alapkutatás és az innováció kapcsolatára, a mesterséges kromoszóma bonyolultságát is tekintve, a SATAC rendkívül rövid idő alatt jutott el „hasznosításközei” állapotba. Figyelembe véve, hogy a SATAC előfutárának tekinthető első „mesterséges” kromoszómát 1989-ben állítottuk elő, *alig tíz esztendő alatt az alapkutatási eredményekből technológia született*. Alig tíz évre volt szükség ahhoz, hogy — a némi túlzással — a science fiction körébe sorolt mesterséges emlőskromoszóma a biotechnológia eszközüvé váljon. Ennek alapján joggal tekinthetnénk az alapkutatási eredmények innovációs láncba történő illesztésének e példáját sikertörténetnek.

Hiszén sikerült a már-már nemzeti sajátosságunknak tekinthető aktív „ellendrukker-ség” közepette is eredményt elérni, a kutatásfinanszírozás—támogatás csődje ellenére sikerült valamit úgy Magyarországon tartani, hogy az itthon tartás nem a szokásos asztalfiókba, süllyszöbe kerülést jelentette. Akkor miért a feltételes mód? Leginkább azért, mert véleményem szerint, a valódi sikertörténetnek magában kell hordoznia az *ismételhetőség* lehetőségét. Az alapkutatás—innováció kapcsolata szempontjából egyfajta „receptet”, követhető sémát kellene adnia. Ad-e ilyen követhető sémát a jelen történet? A kérdés egyértelműen megválaszolható, ha visszatekintünk a mesterséges kromoszóma technológiájává válásának történetén és meghatározzuk annak döntő vagy jelentős eseményeit.

1986—1989 között kísérleteinket az OTKA és az OKKFT Biológiai Alapkutatási Pályázatok által biztosított, szokásos méretű anyagi háttérrel végeztük, mely összevethető értékű volt annak a vegyszerkészletnek a maradékával, melyet még 1981-es skóciai tanulmányutam végeztével, vendéglátóim nagyvonalú ajándékoként, hoztam magammal. A jól ismert „éhen halni sok, élni kevés” állapotban egyfajta biztos, rövid távú túlélési csomagot jelentett az SzBK akkori főigazgatójának személyes közbenjárására — pályázaton kívül — kapott mintegy 2 millió forint OMFB „segély”. Megszületett az első, szelektálható „mesterséges” egérekromoszóma, a neo-minikromoszóma. A rendszerváltás hajnalán, 1989-ben két amerikai professzor (egyikük az SzBK-ból „külföldre szakadt” hazánkfiá), hasznosítható alapkutatási eredményekre „vadászva” az SzBK-ban, úgy vélte, hogy ez a minikromoszóma egyike a lehetséges értékesíthető eredményeknek. A későbbiek szempontjából ez döntő fontosságúnak bizonyult. Több kanadai és amerikai előadás után, a kettős — ez idő tájt Kanadában dolgozó — magyar származású tagja személyes kapcsolatainak, illetve egy amerikai óriásvállalat vezérigazgatója extravaganciájának köszönhetően, az amerikai cég vállalta a kutatások részbeni finanszírozását, a kutatási eredmények szabadalmaztatási költségeit, az esetleges, jövőbeni szabadalmak hasznosítási jogáért cserébe. 1991-ben, az akkori földművelésügyi miniszterrel mint társ pályázóval benyújtott hároméves OMFB-pályázatunk (Gazdasági állatok génterápiái technológiájának kidolgozása mesterséges minikromoszómával, OMFB KF 02177-1991,0515) keretében mintegy 20 millió forint áll rendelkezésünkre. Így az amerikai és az OMFB kutatási támogatásnak köszönhetően, az elkövetkező 4—5 év anyagi biztonsága (évi kb. 10 millió forint) lehetővé tette a kromoszómaképződés alapvető folyamatainak tisztázását és ezáltal az ismételhető kromoszómaépités módszerének kidolgozását. Az Amerikai Egyesült Államok Szabadalmi Hivatala 1993-ban elfogadta története és történetünk első mesterséges emlőskromoszóma szabadalmát, majd 1994—95-ben elkészültek a szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák prototípusai. 1995-re, a kutatási támogatást biztosító amerikai cég kivásárlását követően, a pénzügyi támogatás megszűnt. Viszont maximális szakmai bírálati pontszámmal elnyertünk egy OTKA pályázatot az 1996—1999. évekre, amely a pályázati munkatervet változtatlanul hagyva megadta a kért kutatási támogatás 5%-át. A négy évre szóló teljes pályázati összeg éppen fedezte a prototípus SATAC-ot leíró két közleményünk színes ábráinak nyomdai költségeit, így már 1996 tavaszán megszabadultunk az évi csaknem 200 ezer forintot kitevő pályázati összeg ésszerű felhasználásának minden gondjától. Tíz fős munkacsoportunk „visszatért” a — legalábbis az SzBK-ban megszokott — lét-nemlét határán egyensúlyozó alapállapotba.

A kiutat, a továbblépést ismét a kanadai—amerikai személyes kapcsolatokból eredő két olyan momentum eredményezte, melyek végül is eldöntötték a technológia sorsát:

1. Meghívást kaptam és kutatóprofesszorként 1994—1996 között évi 3—4 hónapot dolgoztam egy kaliforniai orvosegyetem molekuláris biológiai és génterápiai központjában. Ezáltal hozzáférhető lett az a csúcstechnológia, amely Kaliforniát a biotechnológia fellegvárává is tette. „Belépőt” és lehetőséget kaptunk, hogy egy nagymúltú intézet — még amerikai viszonyok között is egyedülálló — megközelítőleg 2 millió dollár összértékű műszeregyüttesét használjuk. Néhány kísérletsorozat eredményeként kiderült, hogy a szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák gyakorlatilag 100%-os tisztaságban elválaszthatók a „természetes” kromoszómaiktól.

2. Ez az eredmény egyik 1990-es kanadai előadásom vendéglátója számára egy lehetséges technológia csíráját jelentette. Néhány megbeszélést követően (családtagjainak, barátainak meggyőzésével és anyagi támogatásával), 1995 végén megszületett a vancouveri székhelyű Chromos Molecular Systems nevű vállalkozás, amely a szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák biotechnológiai alkalmazását, a SATAC technológia kifejlesztését tűzte ki célul.

A Chromos-sztori

Ezzel megkezdődött a „Chromos korszak”, az a munka, amely az alapkutatási eredmények technológiává fejlesztését eredményezte. A vállalat 1996-ban kizárólagos hasznosítási licenc-szerződést kötött a Szegedi Biológiai Központtal, vállalva a kutatási eredmények teljes szabadalmaztatási költségét, a technológia majdani hasznosításából származó bevételekből — a nemzetközi normáknak megfelelő — jogdíj fizetését és hosszú távú kutatási szerződést írt alá az SzBK Genetikai Intézetével. Megtörtént az „alapszabadal-mak” bejelentése, majd a Chromos akkori teljes személyi állományával (3 fő) kiegészülve „utazó cirkusszá” alakultunk és pénzszerző körútra indultunk. A másfél hónap alatti több mint 20 előadást és számolatlan tárgyalást követően, magán és intézményi befektetők mintegy 9 millió dollárnyi kockázatot vállaltak a „science fiction” megvalósítására. Vancouverben megkezdődött a cég saját kutató-fejlesztő részlegének kiépítése, és 1997 januárjában megérkeztek a szegedi SATAC termelő sejtek a vancouveri laboratóriumba. Elkezdődött a közös fejlesztő munka: új, „hasznos” géneket hordozó SATAC előállítás, megkezdte működését az a lézersugaras „kromoszómaválogató” berendezés, mely hamarosan lehetővé tette óránként 1 millió, több mint 99%-os tisztaságú mesterséges kromoszóma előállítását. Ezzel megvalósult a mesterséges kromoszómák „ipari” méretekben tisztítása.

A technológia kifejlesztésének folyamatában ez az időszak döntő fontosságú volt, amelynek két eleme külön említést érdemel:

1. Néhány hónap alatt, egy használaton kívüli „romos” épületből, teljesen felszerelt, működőképes kutató-fejlesztő egységet hoztak létre,

2. Az a minden szempontból rövid idő, amely a SATAC-kal kapcsolatos „know-how” átvételére és a Chromos laboratóriumában történő sikeres felhasználásához szükségeltett.

A Chromos stratégiai együttműködési szerződéseket kötött nagy gyógyszeripari, transzgenikus és génterápiai cégekkel. A Brit Kolumbia Egyetem kutatóival és egy holland—amerikai nagyvállalat szakembereivel együttműködve megkezdődött a transzgenikus állatok előállítása mesterséges kromoszómával. 1998 végén megszületett az első transzgenikus egér, amely sejteiben hordozza a mesterséges kromoszómát. 1999-re rutinná vált a különböző genetikai tartalmú SATAC-ok előállítása és a tisztított mesterséges kromoszómák átvitele különböző fajok sejteibe. Tavasszal sikeresen lezárult a második befektetési „kör”, amely újabb 9 millió dollárt eredményezett. Felépült a Chromos új fejlesztőlaboratóriuma és székháza (4. kép) és megtörtént a Chromos és a Genetikai Intézet közötti kutatási szerződés 2001-ig szóló meghosszabbítása. Az év végére kiderült, hogy a SATAC-ot hordozó transzgenikus állat utódaiba is örökíti a mesterséges kromoszómát.

A Chromos 4 év alatt, átszámítva több mint 4 milliárd forintot költött a mesterséges kromoszóma technológia fejlesztésére, melyben jelentős tétel az a mesterséges kromoszómával kapcsolatos 14 bejelentett és 7 már bejegyzett szabadalom, melynek a Szegedi Biológiai Központ tulajdonosa.

Véletlen, kapcsolat, szerencse — vagy valami más?

Ha a „történet” alakulása szempontjából fontos elemeket összegezzük, akkor azok a véletlenek, a személyes kapcsolatok és a szerencse voltak. Az alap kutatási eredmények technológiává válásának jelen példájában nem lelhető fel olyan elem, amely bármiféle intézményes vagy egyéb működő rendszer jelenlétére utalna. Ha ez nem fatális balszerencse volt esetünkben, és Magyarországon valóban nincsen ilyen rendszer, akkor van-e reális esély a történet megismétlésére? Van-e lehetőség egy-egy fejlesztés évi egy-másfél milliárdos finanszírozására, van-e vagy lesz-e a belátható jövőben olyan befektetői réteg Magyarországon, amely ezt biztosítani képes? Van-e olyan alap kutatási intézmény, amely egyetlen téma — akár néhány százmillió forintot is elérő — szabadalmaztatási költségét vállalni képes? A válasz, legalábbis egy kutatóintézet labor-perspektívájából egyértelmű...

Ha pesszimizmusom a valós helyzetből és nem a magasabb összefüggések ismeretének hiányából ered, akkor miben reménykedhetünk? Idővel eljuthat-e az alap kutatás finanszírozása Magyarországon arra a szintre, mely olyan eredmények elérését biztosíthatja, hogy „házhöz” jöjjenek a befektetők? Ha komolyan vesszük a „halhatatlanság génjének” sikeres klónozásáról szóló híreket és a génterápia ígéreteit, a helyzet nem reménytelen...

Mindaddig, amíg a „siker” döntően véletlenek, személyes kapcsolatok és a szerencse összejátszásának eredménye, tudomásul kell azt is vennünk, hogy a siker nem minősít. Ha a szerencse és „társai” akár 5—10-szeres különbségeket eredményezhetnek egy-egy kutatási téma pénzübeli erőforrásaiban, bármilyen összehasonlítás vagy jó értelemben vett verseny kizárt.

Mérleget készítve a mesterséges kromoszóma program 15 éve alatt közvetlenül a kutatásra fordított összegekről, kiderül, hogy a hazai források (OTKA, OKKFT, OMFB) a kiadásoknak mintegy 10%-át fedezték. Feltétlenül megjegyzendő, hogy a 90%-os amerikai hozzájárulás nem teremtett valamiféle tejfel-mézszel folyó Kánaánt. Éves költségvetésünk abszolút értékben mindössze 50—60%-át tette ki az átlagos észak-amerikai „kutatásellátásnak”. Az abszolút értéket azért szükséges hangsúlyozni, mert az európai árak (vegyszer, eszközök, műszer stb.) átlagosan 20—30%-kal magasabbak az amerikai beszerzési áraknál. Tehát az az ellátottság, amit a magyarországi viszonyokhoz mérve akár a boldog bőség állapotának is tekinthetünk, nem érte el az észak-amerikai (nyugat-európai) forrás-szint felét. A kutatások eredménye azonban ugyanazon „piacon” méretik meg, ahol senkit nem érdekel, hogy azok mekkora költségvetéssel születtek. Azok a trükkök, túlélési technikák, amelyeket a magyar kutatók figyelemre méltó eredményességgel használtak az „import—vegyes: évi 70 dollár per kutató” korszakban, napjainkban, az általánosan elvárt kutatástechnológiai szint „megdrágulása” miatt használhatatlanok. Ma, amikor a kísérletes biológiai kutatás döntően a „high-tech” magas szintű alkalmazóinak versenyét jelenti, e versenyben való részvétel nem elhatározás, hanem a versenyképességet biztosító ráfordítások, „befektetés” kérdése. A verseny szabályai nem a legszegényebb „résztvevő” lehetőségeihez igazítottak, azaz nem „handicap verseny”, sőt néha még az esélyegyenlőség is kérdéses. Ebből következően egyre közelebbinek tűnik az az idő, amikor mi már csak nézői lehetünk a versenynek.

Ha a reményteljes, évről évre és kormányról kormányra ismételtetett „felzárkózási” programok már nem is annyira csak ígéreteknek, hanem inkább a nyílt beismerés — nevezetesen, hogy „ez nem a mi versenyünk” — elodázásának bizonyulnak, akkor már a pálya szélén ácsorogni sem nagyon érdemes...

Kutatni jó. A kutatás talán az ősi ösztönből eredően vadászat, melyben a kutató számára a zsákmány: a siker. A kutatások finanszírozása azonban nem nagyvonalú ajándék az adófizetőktől a kutatóknak, hogy azok sikerélményt szerezhessenek. Nem a meggazdagodott társadalom jótékonykodása vagy luxuskiadása, hanem kökemény üzlet. Észak-amerikai tapasztalataim alapján állíthatom, hogy a biológiai kutatásokba dollármilliárdokat befektetők pénzt „csinálnak”. Nem valószínű, hogy ezek a magánbefektetők, intézmények és egyes államok (kormányok) évről évre újratermelődő, pénzétől szabadulni igyekvő vesztesek társasága lenne. Ha ezek a befektetők hideg fejlel megfontolt és megalapozott szakmai döntések alapján hajlandók kockáztatni pénzüket, akkor már csak két kérdés marad. Ha nekik megéri, nekünk miért nem? Ha náluk megéri, nálunk miért nem?

SZÍNES KÉPEK FELIRATA:

1. kép. A szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák építésének sémája. Gazdasejt meghatározott kromoszómáinak centromer körüli szakaszaiba a megfelelő géneket hordozó DNS szakaszok célzott beépítése egy megsokszorozódási folyamatot (amplifikációt) indít el. Egyes esetekben a megsokszorozódás új centromer létrejöttéhez vezet. Két működőképes centromer ugyanazon kromoszómán szükségszerűen kromoszómatorést idéz elő. A centromerrel rendelkező letört kromoszómaszakasz önálló, új kromoszómaként fennmarad a sejtben. Ezen kromoszómák alapanyagát döntően a beépülés környéki rövid, ismétlődő DNS szakaszok (szatellit DNS) adják és kizárólag azokat a géneket hordozzák, amelyeket kívülről juttattunk be a sejtekbe, azaz csakis a kívánalmainknak megfelelő genetikai tartalommal rendelkeznek. Az új kromoszómát tartalmazó sejtek felszaporításával, kiválogatásával olyan állandó sejtvonalak hozhatók létre, amelyek — ha bizonyíthatóan a céljainknak megfelelő új kromoszómát hordozzák — korlátlanul szaporíthatók, és ezen sejtekből a mesterséges kromoszóma a kívánt mennyiségben tisztítható).

2. kép. Az elmúlt néhány évben Szegeden előállított mesterséges kromoszómák képe. Az egyes ábrák felirata a mesterséges kromoszóma alapanyagát adó szatellit DNS fajtáját jelzi.

A—C a prototípus — kizárólag jelzőgéneket hordozó — mesterséges egérekromoszómák.

A: a mesterséges kromoszómát felépítő szatellit DNS (sárga szín) kimutatása,

B: a jelzőgén helyzete (sárga jelek), **C:** a nagymennyiségű szatellit DNS jelenléte miatt a mesterséges kromoszóma teljes egészében erősen festődő (heterokromatikus).

D—F humán szatellit DNS alapú mesterséges kromoszómák prototípusai.

G—I „ipar” felhasználásra épített, különböző „hasznos” géneket hordozó mesterséges kromoszómák.

3. kép. A mesterséges kromoszómát hordozó egér kromoszómáinak képe.

A 2. kép **A—C** ábráin bemutatott mesterséges kromoszómák tisztításával és megtermékenyített egér petesejtbe juttatásával született meg az első, mesterséges kromoszómát hordozó egér. A negyvenegyedik, világos pöttyökkel „díszített” mesterséges kromoszómát nyíl mutatja. A kék színű egérekromoszómákon a piros foltok a szatellit DNS elhelyezkedését jelzik.

4. kép. A Chromos fejlesztőlaboratóriuma és székháza Kanadában.

Egy új „zöld forradalom” küszöbén

A 21. század hajnalán 840 millió ember éhezik és mintegy 1,3 milliárd embernek kevesebb mint napi 1 dollár áll rendelkezésére. Ha a világ nem tud felmutatni komoly előrehaladást az éhínség és a szegénység leküzdésében, akkor 2025-re mintegy 4 milliárd ember számára kevesebb, mint napi 2 dollár jut és e négy milliárd fele igen szegény körülmények közé kerül. A fenti megállapítás James D. Wolfensohntól, a Világbank elnökétől származik. Ez a kihívás a társadalmakra és azon belül a tudományos elitre jelentős feladatot ró. Az ezredforduló a mezőgazdaság előtt álló feladatok átgondolását veti fel, elsősorban a Föld lakosságának exponenciális növekedését figyelembe véve. Közismert tény, hogy a Föld lakossága a 20. század elején alig haladta meg az 1 milliárdot, míg 1999 októberében elérte, azóta pedig már meg is haladta a 6 milliárdot. Mértékadó statisztikai adatok 2050-re e létszám megkétszereződését jósolják.

A „zöld forradalom” elérte csúcspontját

Ezt a trendet természetesen nagyon sok tényező befolyásol(hat)ja, így a várható megkétszereződést megkérdőjelezheti az AIDS robbanásszerű terjedése Közép- és Dél-Afrikában, valamint az ázsiai kontinensen. Statisztikai felmérések szerint a Dél-Afrikai Köztársaságban igen rövid időn belül minden negyedik ember fertőzött lesz ezzel a súlyos kórokozóval. Riasztó képet kapunk akkor, amikor a munkaképes lakosság számának jelentős csökkenése egyes iparágak teljes megszüntetését eredményezheti, amit jól példáz, hogy Zimbabweben a bányászat jelentős munkaerőhiánnyal küzd. Ennek ellenére a népesség növekedésével mindenképpen számolni kell. Igaz ugyan, hogy a „zöld forradalom” nélkül számos országban az éhínséget nem lehetett volna leküzdni, de az előzőekben említett nagyszámú éhező közül több millió ember hal meg a táplálékhiány következtében különböző járványok kialakulására való fogékonyság miatt.

A „zöld forradalom” alapvető tényezője volt azon gabonafélék előállítására, amelyek intenzív műtrágyázás és öntözés mellett jelentős termésnövekedéssel enyhítettek a világ élelmezésének gondjain. A világ élelmezéséhez szükséges nyersanyagot Földünk összterületének mindössze csak 6%-át kitevő mezőgazdaságilag művelt terület állítja elő. Ez a 6% igen csekély területnek tekinthető, és ha a Föld térképét megnézzük, ennek az eloszlása sem egyenletes, hiszen a szavannák, sivatagok, őserdők, az óceánok és a jégtakaró a Föld lakosságát bizonyos területekre határolják be.

Az emberiség történelmét tanulmányozva látható, hogy fejlett civilizációk ott alakultak ki, ahol megfelelő mennyiségű élelmet lehetett előállítani, illetve ahol a mezőgazdasági kultúra magas szintű volt (Mezopotámia, Egyiptom, később Európa, vagy az Újvilágban az azték és inka birodalom és napjainkban Észak-Amerika). Bár a „zöld forradalom” elérte hatását abban a tekintetben, hogy számos országban az éhínséget sikerült felszámolni, de ma már épp az eredményeknek köszönhetően az adott országok fogyasztása megnőtt, jobb minőségű és nagyobb mennyiségű élelemre van szükség. Nem hagyható megjegyzés nélkül azt sem, hogy a „zöld forradalomnak” voltak/vannak negatív hatásai is, így a túl-

zott mértékű műtrágya-felhasználás miatti talajszennyezés és az öntözésből származó talajeróziós hatások is megmutatkoztak. Mérvadó agrárszakértők szerint a jelenlegi növénytermesztési technológiáktól már nem várható jelentős előrelépés, főleg ilyen rövid időszak alatt nem, ami elég sötét képet vetít előre, ha a Föld lakosságának növekedési ütemét tényként vesszük figyelembe. A növénynemesítők, a növényélettannal, növénytermesztéssel foglalkozó szakemberek szerint a jelenlegi növényfajták genetikai potenciáljának körülbelül 100%-os kihasználtsága a termőképesség szempontjából az ismert technikákkal nem fokozható tovább. A termés nagy része azonban elvész a gyomok, a kártevők és kórokozók tevékenysége következtében, amit a jelenlegi növényvédelmi technológiák használatával is csak mintegy 35%-os veszteséggel tudunk biztosítani. Ehhez még hozzászámíthatjuk a tárolás során fellépő további veszteségeket, miáltal összességében a termésnek 60–70%-a megsemmisül. Számos országban, illetve régióban fokozza a gondot az infrastruktúra, a megtermelt termés megfelelő technológiájú tárolásának, csomagolásának hiánya.

Növénytermesztőink szerint a jelenlegi búzafajták genetikailag a tíz tonnát képesek elérni hektáronként, ami három tényező függvénye: a jó minőségű vetőmag, a megfelelő agrotechnika és a kedvező időjárási tényezők. Ehhez képest még hazánkban is, ahol a búzatermesztésnek nagy hagyományai és arra kedvező adottságok vannak, a 6 tonnás termés már igen kiválónak mondható. Ebből könnyen levonható az a következtetés, hogy *nem* a termőképesség biztosítása és fokozása a feladat, hanem a veszteségek és a meg nem termelt termés arányának csökkentése.

A mezőgazdaság, azon belül a növénytermesztés mindig ki van téve a környezeti tényezőknél, így az esetleges szárazság vagy csapadékos évjárat a termés mennyiségének jelentős csökkenését és nem utolsósorban annak gyengébb minőségét okozhatja. Az emberiség kezdettől fogva intenzív tevékenységet folytatott ennek a veszteségnek a csökkentése érdekében, a növények tudatos szelektálásával — ez vezetett később a tudományos nemesítómunkához. A kórokozók és kártevők nagy változékonysága, a természetett növényekkel közös evolúciója örökös küzdelemre kényszerítette a nemesítői munkát és további kihívásokat ad napjaink növénynemesítői számára is. A hagyományos keresztezésen és szelekción alapuló nemesítés már régóta szeretné ezt megoldani, igazi áttörést azonban csak a molekuláris biológia, a növényi biotechnológia jelenthet az idő szorításában.

Transzgenikus növények

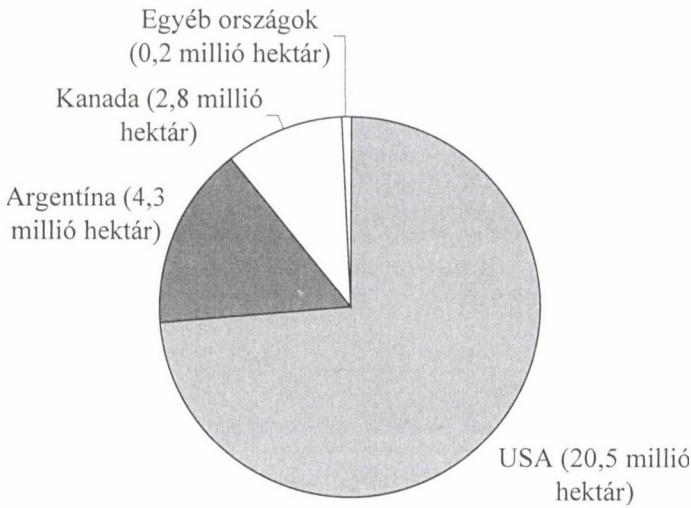
A génszabvány útján előállított gyomirtószer-, vírus- és rovarellenálló növények termesztése hihetetlen mértékben terjed a világ fejlett agrárexportőr országaiban (1. táblázat) és nem elhanyagolhatók azok az adatok, amelyek ezen növények termesztéséről az egyes fejlődő országokban mutatkoznak, elsősorban Kínában .

1. táblázat

Transzgenikus növények vetésterülete a világban

Év	Millió hektár
1996.	1,7
1997.	11,0
1998.	27,8
1999.	39,9

James, 1999. nyomán



1. ábra.

Transzgenikus növények vetésterülete 1998-ban (James, 1998 nyomán)

A táblázatból jól nyomon követhető, hogy a transzgenikus növények termesztési területeinek szinte exponenciális növekedése várható, s az a millennium évében megközelíti a százmillió hektárt. Az 1. ábrából világosan nyomon követhető, hogy a fejlett agrár-exportőr országok mezőgazdasága nagymértékben használja ezen új technológiát. Az Egyesült Államokban a gyomirtószernek ellenálló szóját, a területe mintegy 50%-án, míg Argentínában annak 90%-án termesztik. Az elmúlt évben a rovar- és/vagy gyomirtószer-ellenálló transzgenikus kukorica az USA területeinek mintegy 30%-át tette ki. Kanadában a repce területeinek mintegy 60%-án természetették herbicideknek ellenálló fajtákat, míg a transzgenikus rovarellenálló gyapot az Egyesült Államok gyapottermesztésének az 50%-át meghaladta. (2. táblázat). A 2. táblázatban a legfontosabb transzgenikus növények termesztési területének adatait, az összterület százalékában foglaljuk össze, míg a 3. táblázatban az 1998-as és 1999-es év adatain keresztül mutatjuk be a különböző transzgenikus növényvédelmi célú termesztési területek növekedését. A transzgenikus növények értéke a világpiacon 1995 és 1999 között harminczorosára emelkedett, ez 2,3 milliárd dollár értéket jelent az elmúlt évre számítva. Közgazdasági felmérések szerint ebben az évben ez az érték eléri a 3 milliárd USD-t, míg 5 évvel későbbre 8 milliárd dollárt prognosztizálnak.

A mezőgazdasági termelés értelemszerűen kontinensenként, régióként más-más prioritásokat élvez, így Európa elsődlegesen környezetbarát és minőségében emelt szintű mezőgazdaságot szeretne a jövőben, míg a népességében intenzíven gyarapodó Ázsiában, Közép-Amerikában és Afrikában a termés mennyisége és biztonsága a legfontosabb cél. Az európai prioritást mindenképpen indokolja vizeink, talajaink és a légkör szennyezettsége, a nagymértékű vegyszerfelhasználás, aminek csökkentése precíziós növénytermesztéssel valósítható meg. Egyes közgazdászok véleménye szerint az új technológia bevezetése a helyi túltermelés miatt nem érdeke az európai mezőgazdaságnak, azonban e szigorúan közgazdasági vélemény számos félreértésre ad okot, illetve nem valós tényeken alapul.

2. táblázat

A transzgenikus növények vetésterülete a világban

1998-, 1999-ben, tulajdonság szerint (millió hektár)

Tulajdonság	1998	%	1999	%	Növekedés	(arány)
Herbicid tolerancia	19,8	71	28,1	71	8,3	(0,4)
Rovar rezisztencia (<i>Bt</i>)	7,7	28	8,1	22	1,2	(0,2)
<i>Bt</i> / Herbicid tolerancia	0,3	1	2,9	7	2,6	(8,7)
Vírus rezisztencia/Egyéb	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	(-, -)
Globálisan az összes	27,8	100	39,9	100	12,1	(0,4)

James, 1999. nyomán.

3. táblázat

Legjelentősebb transzgenikus növények 1999-ben

Növény és tulajdonság	Millió hektár	Transzgenikus növények %-ában
Herbicid toleráns szója	21,6	54
Bt* kukorica	7,5	19
Herbicid toleráns repce	3,5	9
Bt*/Herbicid toleráns gabona	2,1	5
Herbicid toleráns gyapot	1,6	4
Herbicid toleráns gabona	1,5	4
Bt* gyapot	1,3	3
Bt*/Herbicid toleráns gyapot	0,8	2
Összesen	39,9	100

James, 1999. nyomán

Bt* = a *Bacillus thuringiensis* baktérium rovarellenállóságért felelős toxin gén rövidítése

Európa élelmiszer-ellátásának több mint 50%-a a fejlődő országokból származik és erre a jövőben is rá leszünk utalva. Helyi túltermelések ugyan előfordulhatnak, de ezek elsősorban a helytelen állami szubszencióra, illetve a piac nem megfelelő működésére vezethetők vissza. Azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy ezek a túltermelésre való hivatkozások még a hidegháború korszakára tehetők, amikor a fejlett mezőgazdaságú nyugat-európai országok, — valamint az Egyesült Államok nyíltan hangoztatták helyzeti előnyüket a Szovjetunió és a volt szocialista országok — egyes években katasztrofális élelmiszeradataival összehasonlítva. Ez a szembeállítás ma már anakronisztikus és az adatok arra is rámutatnak, hogy igazán sohasem volt a jó minőségű termésből, élelmiszerből túlkínálat csak a gyenge minőségű és a piacon eladathatatlan élelmiszerből.

Új típusú „zöld forradalomra” van szükség

A Föld lakosságának növekedése, a megváltozott igények egy új típusú „zöld forradalom” igényével lépnek fel, amely a biológia századának eredményeit felhasználva a molekuláris biológia eszköztárának alkalmazásával veheti fel a versenyt a Föld népességének növekedési ütemével. Az említett és egyre nagyobb mértékben természetett transzgenikus növények ma még csak egy-egy új tulajdonságot hordoznak és elsősorban a termés védelmét szolgálják. Napjainkban azonban a minőség biztosítása és javítása, így a fehérje-összetétel kedvező átalakítása, a cukrok és növényi olajok minőségének javítása az elsődleges cél. Ezek a célok már nem egy-egy gén beépítésével, hanem a tulajdonságok egész sorának módosításával érhetők csak el.

Ezen óriási feladat megoldásához azonban még jelentős alapozó kutatásra van szükség, melyet nagyban szolgálnak a növényi genom (teljes örökítő anyag) térképezését szolgáló kutatások. Európában és a gazdaságilag fejlett országokban befejeződtek vagy készülnek egyes növényfajok géntérképezései, így az *Arabidopsis* mint modellnövény és a rizs, valamint a kukorica mint legfontosabb gabonaféléink. A növény örökítő állományának feltárása szinte korlátlan lehetőséget nyújt az egyes növények géntartalékának jobb kiaknázásában. Nagy várakozás előzi meg a fotoszintézis hatékonyságának növelésére irányuló törekvéseket. A növények vízfelhasználásának hatékonyságnövelése sem elhanyagolható törekvés, hiszen a világ gyarapodó népességének megfelelő szintű élelmezését csökkenő területen kell biztosítanunk, egyre kevesebb víz felhasználásával és labilis környezetben.

Hazánk e téren igen kedvező helyzetben van, hiszen területének több mint 60%-a termőföld, és ez — amint az előző adatokból kiderül — mintegy tízszerese a Föld átlagos művelhető területének. Így hazánk lakosságának négy-ötösörösét is könnyen el tudnánk látni élelmiszerral, ha erre szükség lenne. Sajnálatos azonban, hogy épp Európa és különösen Magyarország nem követi a világ növekedési trendjét, hazánk esetében éppen ellenkező, létszámában csökkenő tendenciát mutat. A magyar mezőgazdaság környezeti adottságainak köszönhetően jó nemesítési alapanyagok felhasználásával, megfelelő agrotechnikák alkalmazásával minden nehézség nélkül tudja az euróbuza minőségénél magasabb sikértartalmú gabonát előállítani, így a termék korlátozására bármilyen kvótát is határozhatnak meg egy esetleges EU csatlakozás után, nem okoz gondot a termés értékesítésében. Kedvező helyzetben van a magyar gyümölcsstermesztés, mivel a napsütéses órák száma nagy, kiváló hazai fajtáinkat olyan íz- és illatanyagok jellemzik, amelyek szinte korlátlan piacot ígérnek. A hazai mezőgazdaság tőkeszegénysége és az agráröllő miatt azonban rövid távon a munkai igényesebb, kisebb, de biztos piaccal rendelkező kertészeti növények termesztése felé kell orientálódnunk. E termékek az EU-csatlakozás esetén sem okoznak értékesítési gondot, különösen akkor nem, ha célként a minőség javítását fogalmazzuk meg és nagy gondot fordítunk annak ellenőrzésére is. A kisgazdaságok újjáéledése kis volumenű, de magasabb technológiai szintet igénylő technológiák bevezetése, a növényi szövettenyésztésen alapuló disz- és győgnövénytermesztést helyezheti kedvező pozícióba.

Az új transzgenikus technikák bevezetése a gazdasági, egyéni, politikai érdekcsoportok ellentéte miatt hátrányt szenved az EU országaiban. A transzgenikus növények termesztésének akadályoztatása miatt az Európai Unió országai a világpiacian hátrányos helyzetbe kerülnek a nagy agrárélexportőr országokkal szemben. Az európai túlszabályozás következtében az itteni mezőgazdaság továbbra is a hagyományos vegyszeres növényvédelemre épít, az egyes növények termesztése és az alternatív környezetkímélő technológiák bevezetése késlekedik. Bár nyíltan nem hangsúlyozzák, az Európai Unió országaiban e túlszabályozás protekcionista politikát takar. Míg az Egyesült Államok és Nyugat-Európa a biológiai alaputatásokban versenyben van és azonos szintű, addig a technológia transzfer területén Európa jelentős mértékben elmaradt. Ez indokolja azt, hogy új technológia bevezetésének késleltetése legalább addig történjen meg, amíg az európai országok saját fejlesztéseikkel alternatívát tudnak biztosítani az Amerikai Egyesült Államokkal szemben.

A transzgenikus technológia, az abból származó élelmiszerek elfogadottsága az Egyesült Államokban egészen más, mint Európában, mondhatnánk ellentétes azzal. Ez egyrészt a jobb ismeretterjesztésre vezethető vissza, a társadalom felvilágosítására, másrészt arra az egyszerű tényre, hogy az amerikai átlagpolgár közvetlenül nem találkozik az élelmiszer-előállítás területeivel, míg Európában a mezőgazdasági művelés közvetlenül az emberek szeme láttára, annak szomszédságában történik.

A transzgenikus növényekkel és az abból származó élelmiszerekkel kapcsolatosan a fejlődő vagy fejlett ázsiai országokban elhanyagolható az idegenkedés, mivel ott a megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszer biztosítása nem kérdőjelezi meg a technológia bevezetését. Természetesen vannak olyan génebesztési eljárások, amelyek vallási, etikai okokból egy-egy országban semmiképpen nem jöhetnek számításba, így elképzelhetetlennek tűnik, hogy egy mohamedán vallású országban disznóból származó gént építsenek be más, táplálkozásra használandó élelmiszer-alapanyag előállítására alkalmas növénybe vagy állatba.

A biológiai sokféleségről szóló egyezmény keretében elkészült Biológiai Biztonság Jegyzőkönyv rámutat a modern biotechnológia felhasználásának szükségességére, hangsúlyozva, hogy azt a lehető legkörülményesebben kell bevezetni az emberiség érdekében és környezet, a biológiai sokféleség messzemenő figyelembevétele mellett. Tulajdonképpen ezzel cseng össze a Római Katolikus Egyház állásfoglalása is, amely a génebesztés felhasználását az emberiség élelmezése és egészsége érdekében ajánlja, azzal a megjegyzéssel, hogy a technológiát, alkalmazó mindig vegye figyelembe, hol vannak az erkölcsi-etikai határok. Figyelemre méltó a fejlődő, egyes esetekben igen szegény országok elkötelezettsége és igénye elkötelezettsége és igénye az új technológia iránt. Ez arra is visszavehető, hogy szeretnék elkerülni az ipari forradalom következtében megnyilvánult negatív környezeti hatásokat, kihagyva egy fejlődési fázist, a transzgenikus növények esetében ezen új, környezetbarát technológia bevezetése mellett törnek lándzsát. A biológiai sokféleségben gazdag dél- és közép-amerikai, ázsiai és afrikai országok azonban joggal ragaszkodnak épp a biológiai sokféleség megőrzése és fenntartása érdekében ahhoz, hogy az új technológia semmiképpen se okozzon kárt biológiai sokféleségükben.

FELHASZNÁLT ÉS AJÁNLOTT IRODALOM:

- Balázs, E. (1999): Azonos és mégis más. Magyar Mezőgazdaság 54. 13. o.
- Balázs, E. (1999): A mértéktartó növekedés I. Magyar Mezőgazdaság 54. 26. sz. 22. o.
- Balázs, E. (1999): A mértéktartó növekedés II. Magyar Mezőgazdaság 54. 27. sz. 19. o.
- Balázs E. és Fehér A. (1998): Lépéstartás Európával (eds. Dudits Dénes és Dohy János) — Tudományos műhelyek 47—53. o.
- Balázs E. (1998): Lépéstartás Európával (eds. Dudits Dénes és Dohy János) — A transzformánsok agronómiai értékelése 56. o.
- Balázs E. (1999): A nemesítők alma. Magyar Mezőgazdaság 38. sz. 12. o.
- Balázs, E. (1999): Szabályozott keretek közt. Magkutató, termesztés, kereskedelem. Agroforum melléklete 12—13. o.
- Balázs, E. (1999): A rezisztencia nemesítés új útjai a géntechnológiai eljárások alkalmazásával. Agroforum — OMMI Konferencia előadásai, 10—14. o.
- Delgado, C., Rosegrant M., Steinfeld, H, Ehui, S, Courbois, C. (1999): Livestock to 2020 — The Next Food Revolution. 1—72. o.
- Dudits, D. (1999): Biotechnológia, Lépéstartás nemcsak Európával. Magkutató, termesztés, kereskedelem. Agroforum melléklete, 7—8. o.
- Heszky, L. (1999): A magyar növény nemesítés jövője és a géntechnológia — 10 kérdés, 10 válasz. Magkutató, termesztés, kereskedelem. Agroforum melléklete, 9—11. o.
- James, C. (1998): Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998, ISAAA Brief 8 (Ithaca, N.Y., U.S.A.: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications.

- Kahn, A. (1999): Transgenic plants in agriculture — Ten years experience of the French Biomolecular Engineering Commission. 1—148. o.
- Kovács K. és Balázs E. (1999): Biotechnológia a környezetvédelem szolgálatában — Lehetőségek az agrártermelés környezetbarát kifejlesztésében (eds. Kovács Ferenc, Kovács Ferenc és Banczerowski Januszné) 155—175. o.
- Persley, G.J. and Lantin, M.M. (eds) (2000): Agricultural Biotechnology and the Poor - Proceedings of an International Conference Washington, D.C. 21-22 October 1999. pp. 1—234
- Schell, J. (1993): Plant Biotechnology State of the art in developed countries and relevant safety considerations. Pan-European Conference on the Potential Long-Term Ecological Impact of the Release of Genetically Modified Organisms. Strasbourg 24-26. November 17—28. o.
- Serageldin, I. (1999): Biotechnology and Food Security in the 21st Century. Science 285: 289—484.
- Shah, M. and Strong M. (1999) Food in the 21st Century: from Science to Sustainable Agriculture 1—72.
- Vasil, I.K. (1998) Biotechnology and food security for the 21st century: A real-world perspective, Nature Biotechnology Vol. 16. 399—400. o.

Raskó István

Molekuláris genetika az egészségügy szolgálatában

Tények és perspektívák

Az egyik ember alacsony, a másik magas. Van, aki sovány, van, aki kövér. Vannak családok, ahol gyakrabban fordulnak elő rákos megbetegedések, vagy halmozottan szenvednek magas vérnyomásban. Mindezeknek a tulajdonságoknak genetikai okai vannak. Már a század elején ismertek olyan betegségeket, amelyeknek kizárólagos oka egyetlen génben bekövetkezett öröklődő elváltozás, mutáció. Jogos volt az a feltételezés, hogy a gének szerkezetének, a bennük található DNS bázissorrendjének megismerése közelebb vihet a betegségek gyógyításához. Ennek a feladatnak a megoldására indult az a grandiózus nemzetközi program, amely 1990-ben kezdődött és célja, hogy a 21. század elejére megismerjük az emberi örökítő anyag mintegy hárommilliárd bázisának a pontos sorrendjét. A program megvalósítása azt jelenti, hogy lehetőség nyílik az azonosított gének (amelyekből 80—100 ezer található egy emberben) funkciójának megismerésére.

A Humán Genom Program

Új tudományág van születőben az orvostudományban, amely a Humán Genom Programra építve a génektől eljut az általuk meghatározott fehérjéig és azok szerepének megismeréséig az emberi szervezetben. Eddig több mint 8 ezer gént katalogizáltak, amelyek nemcsak ritka, az anyagcserét, sejtműködést érintő rendellenességekkel, speciális funkciózavarokkal kapcsolatosak, hanem olyan géneket is azonosítottak, amelyek gyakori megbetegedésekre hajlamosítanak. Amint ezek a környezettel (ami magában foglalja a kémiai, fizikai, szociális, pszichológiai, táplálkozási faktorokat, fertőző ágenseket is) kölcsönhatásba lépnek, a rizikó olyan mértékben növekszik, hogy krónikus, a populációban gyakori kórképek alakulnak ki, mint például rákos betegségek, szív-érrendszeri megbetegedések vagy az Alzheimer-kór.

A Humán Genom Program megvalósulása csak az első lépés azon az úton, amely tulajdonságaink molekuláris okainak megértéséhez, a betegségek molekuláris diagnózisához és oki gyógyításához vezet. Ahogy ígérik, 2001-re ismert lesz a minden emberi sejtben megtalálható mintegy 180–200 cm hosszúságú, a sejtmagi struktúrában jellegzetes szerkezettel bíró DNS teljes bázissorrendje. Ha leírnánk a DNS 3 milliárd nukleinsav bázisát tartalmazó, így nyert szöveget és minden bázist egyetlen kisbetűvel jelölünk, A4-es formátumú, hatszáz oldalas könyvekből 1200 kötetnyit töltenénk meg vele. Ez az információhalmaz azonban még a genetikus szakember számára is jórészt értelmetlen és meglehetősen unalmas könyvtár lenne, a betűk egymásutánisága semmiféle támpontot nem ad az egyes szakaszok szervezeten belüli szerepére. Ismert az, hogy az emberi DNS mintegy 10%-a hordoz csak genetikailag fontos információt. Kérdés, hogy mi a maradék 90% funkciója és egyáltalán mely szakaszok azok, amelyek genetikai információtartalommal rendelkeznek.

Ennek a fontos kérdésnek a megválaszolását segíti elő a Humán Genom Program után következő, nemzetközi összefogással induló program, amelyet a szakemberek *genomika* néven ismernek. A programnak az lesz a feladata az, hogy azt a bizonyos 1200 kötetnyi könyvtárat értelemmel töltsék meg, azaz kiderítsék, hogy a DNS szekvenciáknak mi a sejtben belüli funkciója. Ez az információ azonban távolról sem vezet el oda, hogy magyarázatot kapjunk az egyedi, individuális különbségekre. Ezt az információt ugyanis mindössze tucatnyi ember DNS-ének szekvencia adatai szolgáltatják. Ezért a Humán Genom Program indulása után, azzal majdnem párhuzamosan, beindultak a *humán genom diverzitás programok* is. Mintegy 400–500 populáció, 10–100 tagjának a DNS-ét analizálnák. Az egyéni genetikai különbségek azonosításában lényeges szerep jut a minden emberi DNS-ben meglévő, egy vagy két nukleinsav bázist érintő ismétlődéseknek, amelyek egyénekre jellemző módon a klasszikus genetika szabályai szerint öröklődnek. Bár a programok elsődleges célja a populációk molekuláris antropológiai összehasonlítása, az orvosi genetika számára is fontos eredményeik lennének. Segítenének például annak magyarázatában, mi az oka, hogy egyes népcsoportoknál nagy a hajlam bizonyos betegségek megjelenésére, míg más népcsoportok ugyanarra a betegségre nézve ellenállóak.

A betegségek molekuláris genetikai okai

A Humán Genom Programnak legnagyobb jelentősége kétségtelenül a betegségek molekuláris genetikai okainak megértésében lesz. A genetika egyik klasszikus paradigmája „a veleszületett metabolizmus hibái”. Ennek alapja a mutációt szenvedett gén által termelt hibás termék, amely végül a betegség megjelenési tüneteit okozza. Ebben az esetben a környezet ugyan valamilyen hatással van a tünetekre, de a génhiba az elégséges és elsődleges kiváltó ok. Ez az oki összefüggés alkalmazható a születések 1,25%-ára, amelyeknél olyan klasszikus, a mendeli genetikai szabályok szerint öröklődő rendellenesség fordul elő, mint például a cisztikus fibrózis, a Duchenne-izomsorvadás vagy a sarlósejtes anémia.

A szorosan vett genetikai betegségek az emberi betegségek egy jelentős csoportját képviselik. Az összes kórházi felvétel több mint egyharmadát olyan rendellenességek jelentik, amelyeket legalábbis *résben genetikai* faktorok okoznak. Ezek kb. 6—8%-át az előzőekben már említett egyetlen génhiba okozza, kb. 2,5% kromoszomális rendellenességet jelent, a maradéknak pedig genetikai hajlamosító okai vannak. Természetesen a genetikai betegségek bármiféle osztályozása bizonyos fokú leegyszerűsítést jelent, mivel átfedések vannak a különböző kategóriák között. Mégis a genetikai betegségeket a következő fő kategóriákba sorolhatjuk:

1. Kromoszomális rendellenességek: egy vagy néhány kromoszóma számbeli vagy szerkezeti eltéréssel.

2. A mendeli öröklődésű, monogénes betegségek, amelyeket egyetlen génben bekövetkező mutáció jellemez.

3. Több faktorú, komplex betegségek, melyek többféle gén és többféle környezeti tényező kölcsönhatásaként jelennek meg.

4. A genetikai betegségek nem klasszikus, heterogén csoportja, amely a genom metilációs mintázatának, az ún. imprinting zavarainak, bizonyos nukleinsav bázisstruktúrák ismétlődési rendellenességének vagy különböző mozaicizmusok következményeként alakul ki.

5. A klasszikus mendeli öröklődésmentet nem követő mitokondriális betegségek. Itt az öröklődésmentet azért rendellenes, mert a mitokondriális DNS jórészt az anyától öröklődik.

6. A szomatikus, testi sejtekben kialakult mutáció, amelyeknek különösen nagy jelentőségük van a rákos folyamatokban. Bár ezek nem öröklődőek, hajlamosító genetikai tényezők alapján előfordulásuk bizonyos egyéneknél gyakoribb.

Ahogy az előzőekben már említettük, a legtöbb, a populációban gyakori betegség etiológiájában — cukorbetegség, asztma, magas vérnyomás, szív-érrendszeri betegségek, pszichiátriai kórképek — valamilyen genetikai komponens játszik szerepet. Ez azt is jelenti, hogy az emberiség kb. 60—65%-a *résben genetikai* betegségben hal meg. Ezeknek a komplex betegségeknek az analizisében döntő szerepe van a molekuláris genetikának és a biotechnológiának.

A témában kevésbé járatosak számára tisztáznunk kell néhány alapfogalmat. Azt a DNS szakaszt, amely mendeli öröklődésű és egy tulajdonságot határoz meg, *génnek* vagy *lokusznak* hívjuk. Ezekből mindkét szülőtől egy-egy példányt öröklünk. Az ún. nemi kromoszómákon található gének természetesen nemtől függően egy vagy két példányban öröklődnek, attól függően, hogy fiú vagy lány utódról van-e szó. Egy adott lokusz genetikai információtartalma a *genotípus*. Egy adott genotípuson belüli DNS szekvencia eltérések az *allélok*. A genotípus lehet *homozigóta*, amikor azonos allélok alkotják és *heterozigóta*, ha két allél kombinációja történik. A *fenotípus* az egyén mérhető vagy látható jellegzetessége. A mutáns genotípus vagy megváltoztatja a fenotípust, vagy nem. Ha egy mutáns allél heterozigóta állapotban is felismerhető, akkor az allél *domináns*, míg ha csak homozigóta állapotban látható, akkor *recesszív*.

A komplex betegségek vizsgálatában különböző szintek alakultak ki. A klinikusok a fenotípus alapján diagnosztizálják azokat, a molekuláris genetikusok a géneket és termékeiket sejt szinten jellemzik, a klinikai genetikusok család- és allél összefüggés vizsgálattal a meghatározó géneket kromoszómákra térképezik, betegségekre hajlamosító allélkombinációkat azonosítanak és végül a klinikusok a laboratóriumi diagnózis alapján az érintetteknek a megelőzést szolgáló tanácsokat adnak vagy a molekuláris diagnosztika alapján oki gyógyítást végeznek.

A komplex betegségek előfordulási gyakorisága és részesedésük a halálokoknál egy predikció szerint 2020-ra a jelenlegi 56%-ról 75%-ra növekszik majd. A komplex betegségek hajlamosító géneinek azonosítása azonban nem könnyű feladat. A teoretikus modell alapján, ha a gyakori betegséget hordozó egyének csoportjának genotípusát összehasonlítjuk az ugyanezt a betegséget nem hordozó egyének csoportjának genotípusával, akkor bizonyos genotípusok mindig kapcsolatba hozhatók azokkal az egyénekkel, akik a betegségben szenvednek. A gyakori betegségekre hajlamosító gének szerepének megértése elvezethet a betegség molekuláris okának megértéséhez, ésszerű megelőzéséhez és gyógyításához. Messze meghaladja ennek a cikknek a terjedelmét, hogy akár egyetlen komplex betegség valamennyi hajlamosító génjét részletesen bemutassuk, de szükségesnek tartjuk a molekuláris biológia orvosi jelentőségének érzékeltetéséhez néhány példán keresztül felsorolni a legújabb fejleményeket.

Ismeretes a megváltozott zsírsavanyagcsere szerepe a *szív-érrendszeri betegségekben*. Az érlelmeszesedés kialakulásában az egyik megállapított rizikófaktor a magas szintű, alacsony denzitású lipoprotein és az alacsony vérszintű, magas denzitású lipoprotein. Epidemiológiai, genetikai és klinikai adatok támasztják ma már alá a magas denzitású lipoprotein szerepét az érlelmeszesedés megelőzésében. A vérszérum magas denzitású lipoprotein szintjének szelektív módosításával az érlelmeszesedés újszerű gyógyítására nyílna lehetőség. A magas denzitású lipoprotein felvételében szerepet játszó, újonnan jellemzett sejt felszíni receptor génjének megismerése közelebb vihet ehhez a célhoz.

Ismerjük azokat a genetikai faktorokat is, amelyek az időskori idegrendszeri degenerációt előidéző egyik legsúlyosabb betegség, az *Alzheimer-kór* kialakulásáért felelősek. A betegségnek két típusa létezik: a későn jelentkező sporadikus és a családi halmozódást mutató, korán megnyilvánuló forma. Mivel mindkét típusban ugyanaz a klinikai kép, jó stratégiának bizonyult a családi halmozódású forma kialakulásában részt vevő genetikai tényezők azonosítása. Így találták meg azt a három gént, amelyek mutációi a korán kialakuló betegség kialakulásáért felelősek; az amiloid prekursor fehérje, a presenilin 1 és 2 gént. E jól jellemzett genetikai eltérések mellett egy hajlamosító allélra is fény derült. Megfigyelték, hogy míg az apolipoprotein E4 allél jelenléte Alzheimer-kórra hajlamosít, addig az apoE 2 allél csökkenti a betegség előfordulási valószínűségét.

Tényként fogadhatjuk el, hogy a *rákos folyamatok* kialakulásában alapvetően három géncsalád mutációi vesznek részt; az olyan mutációk, amelyek a celluláris *onkogéneket*, a *tumorszuppresszor géneket*, illetőleg a DNS integritásának megőrzésében működő *DNS reparációs géneket* érintik. Mindhárom géncsalád génjei közvetve vagy közvetlenül a sejtek osztódásában játszanak szerepet.

Rous klasszikus kísérletei óta tudjuk, hogy bizonyos vírusoknak szerepe van a tumorigenezisben. RNS és DNS vírusoknak az összes humán daganatfélése kb. 15%-ában van etiológiai szerepe. Bizonyított a vírus etiológia limfómákban, immunoblasztomákban, bőrtumorokban, méhnyakrákban, AIDS-es betegek Kaposi-szarkómájában. Az első onkogént, az *src-t* is retrovirus kísérletek során fedezték föl. Az onkogének minden normális sejtben működő olyan gének, amelyek az onkogenezis során aktiválódnak. A proto-onkogének retrovirus inszercióval, kromoszóma-transzlokációval, génamplifikációval vagy pontmutációval aktiválódhatnak.

A tumorszuppresszor gének olyan fehérjéket kódolnak, amelyek különböző mechanizmusokon át a sejtszaporodást, a differenciálódást negatívan szabályozzák. A sejtciklus szabályozásában a ciklin-függő kinázok (CDK) aktivitásának gátlásán keresztül vesznek részt. A malignitásokat funkcióvesztéses mutációik okozzák, ami sejtszinten recesszív hatású, az egyik mutáns allél a normális allél komplementálja, így mindkét tumorszuppresszor allélnak mutáción kell átesnie a tumorigenezishez. Lehetséges, hogy az egyik allél mutációja észrevétlenül, az ivarsejtvonalban öröklődik és így öröklődő rákszindrómák léteznek. Az ilyen családok tagjai predisponáltak bizonyos típusú malignitásokra, de csak akkor, ha a mutáció a másik tumorszuppresszor allélban is bekövetkezik.

A malignitásokra hajlamosító gének közül azokat, amelyek a sejtosztódás szabályozásában vesznek részt, „kapuőr” géneknek, amelyek pedig a genom integritásán örökölnek, „gondnok” géneknek is nevezik. Ez utóbbi kategóriába tartoznak értelemszerűen a DNS reparáció génjei. A „gondnok” gének inaktivációja nem segíti elő a közvetlen tumor iniciációt, ez „csak” genetikai instabilitáshoz, és a „kapuőr” génekben felhalmozódó mutációkhoz vezet, amely viszont neopláziát okoz. Azokban a dominánsan öröklődő neopláziára hajlamosító szindrómákban, ahol a „gondnok” gének mutációja az első lépés a paciensekben a tumor iniciációhoz, három további mutációnak kell bekövetkeznie; a másik, vad típusú „gondnok” génben és a két „kapuőr” génben.

A karcinogenezis jellegzetessége, hogy a genetikai instabilitás előidézésében részt vesz minden olyan gén mutációja, amelynek a DNS integritásának megőrzése a feladata. Az evolúciós konzervatívizmust mutató DNS reparáció génjei ebben vezető szereppel bírnak. A DNS molekula belső instabilitása, a sejtanyagcsere során képződő DNS-módosító metabolitok, és a környezetben állandóan jelenlévő DNS károsító anyagok a felelősek azokért az állandó változásokért, amelyek valamennyi élőlény genetikai anyagában folyamatosan végbemennek. Amennyiben a DNS reparáció hibásan működik, olyan genetikai betegségek keletkeznek, amelyek részben tumorok kialakulására hajlamosítanak, részben az ilyen egyénektől nyert sejt kultúrák abnormális mutációs képességeket mutatnak.

Régóta ismert, hogy egy organizmus különböző szerveinek a sejtjei eltérő DNS reparációs képességet mutatnak adott DNS károsító hatással szemben. Hasonlóan, a szervek igen gazdag választékát adják a reparációs skálának, egyesek képesek olyan súlyos DNS károsodások kijavítására, mellyel mások képtelenek megbirkózni. Ezek azt mutatják, hogy a DNS reparáció szövetspecifikus.

A DNS reparáció „gondnok” funkciójának direkt bizonyítéka azon ritka, rákra hajlamosító genetikai betegségek léte, ahol a hiba a reparáció génjeiben található.

Bár a klasszikus, többlépcsős karcinogenezis séma: az onkogénekben előforduló domináns mutáció, a mindkét tumorszuppresszort érintő recesszív mutáció, a genetikai instabilitást elősegítő megváltozott DNS reparáció, alapjaiban továbbra is igaz, azonban ma már a molekuláris onkológiának számolnia kell a programozott sejthalál génjei, a kis erek képződésében részt vevő gének és a sejtekben működő jelátviteli utak hatásával, hogy csak néhányat említsünk azon tényezők közül, amelyek szerepe az utóbbi években vált nyilvánvalóvá. Bizonyos malignitásokban azonban még számos olyan gén megváltozott funkciója jelentkezik, amelyeknek a sejtek méregtelenítő mechanizmusában, illetőleg a sejtek közötti kölcsönhatásokban van szerepe.

Általánosan elfogadott, hogy az emberi daganatok kritikus genomiális pontok többlépcsős genetikai elváltozásának eredményeként alakulnak ki. A genetikai tényezők mellett, már több olyan ún. epigenetikai hatás szerepére is fény derült, amely öröklődő ugyan, de hatásában reverzibilis. Ilyen például a bizonyos génszakaszokat érintő öröklődő mintázatú metiláció, amely imprinting néven került a genetikai köztudatba.

A farmakogenomika

Az embereknek gyógyszerek iránti érzékenységbeli különbsége is nagyszámú gén által szabályozott, komplex tulajdonságnak tekinthető. A nagy gyógyszergyárak molekuláris genetikai megközelítéseket alkalmaznak, hogy a populációban azonosítható azon csoportokat, akiknél bizonyos gyógyszerek mellékhatások nélkül alkalmazhatók. Ily módon az egyénre szabott gyógyítás alapja, amely az egyéni genetikai profilra épül, a nem is távoli jövőben megteremthető lesz. Ennek nemcsak a populációra nézve, de üzleti szempontból is számos előnye lesz. Eddig ugyanis csak azok a gyógyszerek kerültek alkalmazásra, amelyek a betegek minden egyes csoportjában hatásosnak bizonyultak. Az egyéni genetikai különbségeket figyelembe vevő megközelítésnél azonban olyan, a fejlesztő laboratóriumok „fiókjában” rejtőzködő gyógyszerformulák is alkalmazhatók lesznek, amelyek csak bizonyos embercsoportban hatásosak, ezen egyének eltérő, a genetikai jellegzetességeiken

alapuló gyógyszermetabolizmusuk miatt. Ez a gyógyszeres terápia egyik új útjának az ún. *farmakogenomikának* a megteremtéséhez vezetett.

Miután az előzőek alapján mindenki számára nyilvánvalóvá vált, hogy igen sok betegség alapja genetikai, ezért úgy gondolom, az is nyilvánvaló, hogy a betegségek megelőzése és diagnosztikája szempontjából igen lényegesek a molekuláris genetikai tesztek. A genetikai tesztek egyre nagyobb számban javasolják a legkülönbözőbb életkorú pácienseknél. A jelenlegi orvosi gyakorlatban több mint 400 betegség kimutatásánál alkalmaznak tesztek. A legtöbb ilyen teszt egyszerű orvosi (vérvétel) vagy kisebb sebészi (amnion folyadék vétele, korionboholy biopszia) beavatkozást igényel és célja információt adni a születendő csecsemő, a gyermek vagy felnőtt genetikai állapotáról. Ezek a tesztek vagy szűrésre, vagy genetikai diagnózisra alkalmasak. A *szűrő teszt* (amilyen pl. a fenilketonuria kimutatására alkalmas teszt is) felhívja a figyelmet egy lehetséges hajlamosító genetikai állapot jelenlétére, a *diagnosztikai teszt* pedig megmutatja, hogy az adott genetikai rendellenesség molekuláris szinten valóban fennáll-e vagy sem. A szűrő teszt nem ad definitív információt, csak megjelöli azokat az egyéneket, akiknél a diagnosztikai tesztek a továbbiakban elvégzendők. A genetikai tesztek következményei attól függnek, hogy a tesztelés mikor történt. *Prenatális genetikai teszt* elvégzésére akkor van szükség, ha a genetikai tanácsadás a családban már előfordult genetikai betegséget állapít meg, illetve kromoszóma rendellenességek kiszűrésére alkalmazzák bizonyos anyai életkor felett. Az *újszülöttek* és a *gyermek* genetikai tesztjei egy fenotípus jelenléte alapján a molekuláris okok megállapítását szolgálják. *Felnőttek genetikai tesztjeinek* elvégzését általában későn manifesztálódó betegségek, mint például a Huntington-betegség vagy bizonyos rákszindrómák gyanúja teheti szükségessé. Külön problémákat vet fel a *preszimptomás*, illetve a *prediktív tesztelés*. Az első esetben későbbi életkorban manifesztálódó betegségek molekuláris diagnózisa történik még akkor, amikor az egyénnek semmiféle betegsége sincs, míg a másik esetben megállapítható, hogy egy genetikai betegség kialakulása milyen valószínűséggel várható.

DNS-chip technológia*

A genetikai komponensű betegségek molekuláris genetikai vizsgálata egyik legigéretesebb módszere a *DNS-chip technológia*, amely forradalmasítja mind az alkalmazott, mind az alapukatást. Gyökeres változást hozott a technológia bevezetése, amire 1996-tól került sor. A DNS-chipek szilárd felszínre vagy nylon szövetanyagra vitt, ismert helyzetű DNS szekvenciák, amelyeket vagy a mikroelektronikában használatos fotolitográfiai módszerrel szintetizálnak, vagy a mikrorobotika technológiájával előzőleg felsokszorozott DNS szakaszokként visznek fel. Mindezek a mikroelektronikában használatos chipnél alig nagyobb felületen helyezkednek el. A DNS-chipek segítségével mód nyílik teljes genomok összehasonlítására, genetikai betegségeket okozó mutációk pontos természetének megállapítására, komplex betegségek hajlamosító géncsoportjainak azonosítására, egy adott malignitásban szereplő gén molekuláris szerkezetének vizsgálatára, egyazon sejt különböző génkifejeződési állapotának összehasonlítására, egyes mikrobiális fertőzések fertőző ágenseinek kimutatására, speciális DNS szakaszokhoz kötődő, a génműködés szabályozásában részt vevő fehérjék és azok DNS-kötő helyének megállapítására, hogy csak néhányat említsünk a lehetséges felhasználási területekből.

A chipek alkalmazásának egyik jelentős területe a fertőző mikroorganizmusok (baktériumok, vírusok, mikroszkopikus gombák) kimutatása. A DNS-chip technológia nemcsak az adott kórokozó azonosítását, de orvosi szempontból fontos jellegzetességeinek (pl. antimikrobiális szerekre való rezisztencia) gyors és érzékeny megállapítását is lehetővé teszi. Hatalmas jelentősége lesz a DNS-chip technikának szervátültetéseknél, a szervet

* A DNS-chip technológiával foglalkozik kötetünkben *Dudits Dénes* tanulmánya is. —
A szerk.

adó és kapó molekuláris genetikai azonosságainak megállapításában. Kiemelt szerepe lesz az igazságügyi orvostanban kriminalisztikai és apasági ügyek gyakorlatában.

Új típusú gyógyszermolekulák tervezésében, illetve a gyógyítás hatékonyságának elő-rejelzésében is felhasználhatóak DNS-chipek. Segítségükkel mód nyílik az egyes egvényekre jellemző gyógyszer metabolizmusban szerepet játszó gének polimorfikus formáinak meghatározására.

Génterápia

A molekuláris genetikai eljárásoknak az orvosi megelőzés egyik sikertörténeténél, a *vakcinák* készítésénél is kiemelt szerep jut. Világszerte évente mintegy 3 millió halálesetet előznek meg vakcinálással. Új típusú vakcinák kerülhetnek bevezetésre a következő században. Az antibiotikumok alkalmazásával egyre több antibiotikum-rezisztens baktériumtörzs kialakulása újraélesztette a vakcinálás és a passzív immunizálás iránti érdeklődést. Az egyik legtöbb problémát okozó kórozó a staphylococcus törzsek különböző súlyosságú fertőzést okoznak, az egyszerű sebfertőzésektől a szepszisig vagy szívbélhártyagyulladásig. Az új kutatási eredmények a staphylococcusoknak a szövetek extracelluláris hálózatahoz kötődést biztosító fehérjéjét rekombináns technológiával állítják elő és ezzel szemben alakítanak ki immunitást. Az olvasó néhány évtizeddel ezelőtt furcsának tartotta volna, hogy DNS-sel is lehet immunizálni. Ma már olyan genetikailag módosított növényeket (pl. banánt) állítanak elő, amelyekbe a harmadik világban a hasmenést okozó egyik leggyakoribb baktérium fehérjéjét meghatározó DNS szakaszt ültettek. A gyümölcsben jelen van a teljes baktérium ellen immunissá tevő fehérje, amely a gyümölcs elfogyasztása után fejti ki jótékony hatását. Gensebézeti úton módosított plazmid DNS-nek ún. génpuskával történő sejtekbe lövésével is sikerült immunizálást elérni. Ezeknek a „meztelen” DNS-ből álló génextpressziós kazettáknak a bevitelével a sejteket a bevitt gének olyan kicsiny produkáló gyáraivá alakítják, amelyek a plazmid által meghatározott antigént termelik. Segítségükkel effektív citotoxikus T sejt válasz indukálható, amely olyan betegségek kivédésére alkalmas, ami ellen jelenleg még nincs hatásos immunizálás.

Ahogy a betegségek molekuláris biológiai okait megismerjük, úgy nyílik mód valódi oki gyógyításra, a *génterápiára*. Ez a kutatási terület érthetően a betegek és hozzátartozóik érdeklődésének középpontjába került. De a kutatások és klinikai kísérletek jelenlegi állapotában túlzó és felelőtlen lenne reményeket ébreszteni. A technológia lényege, hogy a hibás vagy hibásan működő gén helyett vigyük be az egészséges kópiát. Ez a viszonylag egyszerű séma azonban számos problémát hordoz. A legnagyobb ezek közül a hatékony génbeviteli út megtalálása. Ebben hatalmas verseny alakult ki világszerte, amelyben magyar kutatók is részt vesznek. A másik probléma a bevitt gén működésének biztosítása a megfelelő szövetekben és a megfelelő időben. Amíg ezeket az általános problémákat nem sikerül megoldani, addig sajnos csak kisszámú betegben és kísérleti jelleggel kerülhet sor erre, a jövőben kétségtelenül forradalmi eredményeket ígérő gyógyítási eljárásra.

Mint minden újszerű biológiai megközelítésnek, a molekuláris biológiai orvosi alkalmazásának is számos olyan *etikai* vonzata van, amelyre eddig nem gondoltunk. Ezért szükséges a problémák megbeszélése szakemberekkel, a társadalom tárgyyszerű tájékoztatása. Ugyanis csak kellően tájékozott társadalom képes szembenézni a lehetséges rizikóval és megfelelő szabályokat kidolgozni az emberközpontú alkalmazásokra. *Különösen fontos, hogy elkerüljük a technológiák szenzációhajhász tálalását és az emberek elrettentését ezektől a valóban ígéretes eredményektől.*

A legtöbb eddig vizsgált mutató szerint hazánk lakosságának egészségi állapota siralmas helyzetet tükröz. Ennek megváltoztatása minden ésszerűen gondolkodó szakembernek (és politikusnak) elsőrendű feladata. Napjainkban ismét fellángolt a vita, hogy szükség van-e magyar tudományra és az milyen prioritások mentén dolgozzon. A fentiek alap

ján úgy gondolom, nyilvánvalóvá vált, hogy az egészségügyi szakemberek oktatásában, de a kutatómunkában is sokkal jelentősebb szerepet kell adni a molekuláris genetikának. Lehet, hogy a magyar kutatók hozzájárulása ehhez a területhez nemzetközi szinten csekély, de ha nem lesznek a modern technológiákat értő, ismerő és alkalmazni is tudó szakembereink, akkor a jövőben a magyar polgárok úgy fognak az új eredményekre rácsodálkozni, mint kisgyerek az üvegyöngyre, és az ország egészségügye menthetetlenül a harmadik világ szintjére süllyed.

Somfai Béla

Etikai kérdések a genetikában

A közelmúlt történelme ismételten bizonyította az emberi fejlődés rejtélyes sajátosságát: biztosabbá és ugyanakkor bizonytalanabbá is teszi jövőnket. Az atomfizikával együtt a genetikai ismeretek rohamos gyarapodása és a géntechnológia fejlődése is ezt bizonyítja. Ezek birtokában nemcsak a túlszaporodó emberiség élelmiszer-szükségletét biztosíthatjuk a következő évszázadban, hanem az élet további fejlődésének irányát is befolyásolhatjuk, eddig soha nem ismert hatékonysággal. Mindez megteremtette a végzetes tévedések vagy rossz szándékú visszaélések új lehetőségeit is. Nem véletlenül nevezték már a hetvenes években az akkor még csak kibontakozóban lévő genetikai forradalmat a „teremtés nyolcadik napjának”.¹ Ez a rohamos fejlődés, a magfizika forradalmához hasonlóan, újfent megelőzte annak erkölcsi és jogi értékelését. Ebben a tanulmányban az orvosetika és a zsidó-keresztény erkölcsi felfogás fényében vizsgálók meg néhány kérdést. A genetikai szűréssel és felméréssel kapcsolatos az összejt- és az embrionális-kutatás néhány fontos problémája és a klónozással problémák követik. A génterápia, valamint az eugénia egyelőre elméleti problémája alkotja az utolsó problémakört. Előre kell bocsátanom, hogy több kérdésben az erkölcsileg helyes álláspontnak csak a valószínűségét lehet megállapítani.

Bevezetésként a genetika haladásának mértékével arányosan növekvő erkölcsi felelősség kérdését kell tisztáznunk. A tudományág képviselői között vannak olyanok, akiket aggodalommal tölt el az a történelmi tapasztalat, hogy a tudományos kutatásból származó ismereteket és hatalmat nem mindig használták az emberiség javára. Nemegetszer éppen az ellenkezője történt: ismételten beigazolódott, hogy nem lehet feltétel nélküli bizalmat kölcsönözni embertársainknak. Az evolúció célját sem lehet egyértelműen meghatározni. Az sem bizonyítható tehát, hogy a fejlődés szükségszerűen az emberiség javát szolgálja. Az élet megelőzte az ember megjelenését és valószínűleg hosszú ideig folytatódik az emberi élet megszűnte után is. Nem vagyunk képesek megállapítani, még kevésbé megtenni az emberiség jövőjének biztosításához szükséges lépéseket; gondoljunk csak a népességnövekedés vagy a környezetszennyezés megoldhatatlannak látszó problémáira. Jövőnk bizto-

sítása teljesen soha sem válik szabad emberi döntés tárgyává. Minden emberi igyekezet ellenére előbb-utóbb meg fognak szünni bolygónkon az élet fenntartásához szükséges feltételek. A bolygóváltás lehetőségéhez pedig vagy a fénysebességnél gyorsabb utazási eszközre, vagy a test nélküli emberi öntudat megteremtésére lenne szükség. Mindkettőt lehetetlennek kell tekinteni.

Mindezek megszabják erkölcsi felelősségünk határait és arra is utalnak, hogy jövőnk tudományos és technikai fejlődés ellenére is bizonytalan marad. Ez aláhúzza a megoldandó erkölcsi problémák sürgősségét és fontosságát, még akkor is, ha a fejlődés lehetőségének csak korlátolt perspektívái léteznek. A tudományos haladás optimista megítélőinek is el kell fogadniuk azt, hogy felelősségünk kiterjed legalább az általunk létrehozott vagy létrehozható problémákra. A zsidó-keresztény valláshagyomány keretei között mindez kiemeli a gondviselő Istenbe vetett bizalom fontosságát és azt a vallásos meggyőződést, hogy a földi életlehetőségek megszűnése nem szükségszerűen jelenti az emberi létezés végét is. Isten nem csak a történelem fölött áll, hanem „...előttünk is, mint a történelmet mozgató beteljesedésünk és jövőnk”, mondja *Karl Rahner*.² A Gondviselésre való hivatkozás sem oldja föl azonban a tudományos ismeretekkel járó felelőség terheit. Ellenkezőleg, a zsidó-keresztény hagyomány az embert társteremtőnek tekinti. Az ősbűnről szóló bibliai tanításból az is kitűnik, hogy az emberi szabadság Istentől származó adománya kétélű kard. Felelős használatával örök boldogságának feltételeit biztosíthatja, de azzal visszaélve végérvényesen el is vághatja boldogságának lehetőségét. Minden okunk megvan tehát arra, hogy az ember erkölcsi bölcsességével kapcsolatban óvatos álláspontra helyezkedjünk, de anélkül, hogy kibontakozó lehetőségeinknek szükségételen gátakat emelnénk.

Erkölcsi felelőséggel mindig *valakinek vagy valakiknek* tartozunk — *valamire* vonatkozóan. Két összetevője van: a *számonkérhetőség* és a *kötelesség*. A számonkérhetőség végrehajtott cselekedetre, vagy múltban tanúsított magatartásra vonatkozik és feltételezi a szabadság birtoklását, azt a meggyőződést, hogy másként is cselekedhettem volna. A kötelesség a jövőbe mutat, megvalósítandó követelményeket jelöl meg. Értékszemlélettől mentes tudományos munka nem létezik, a legelvontabb kutatásterület is kapcsolatban áll erkölcsi kérdésekkel, ha másként nem, legalább a kutató felelőségén keresztül. Neki ugyanis számot kell adnia a megbízóitól kapott feladat megállapodás szerinti teljesítéséről; kollégái számon kérhetik a szakma szabályainak betartását, eredményeinek hiteles közlését a kutatás erkölcsi szabályainak betartását stb. Az esetektől függő mértékben az eredmények felhasználásáért is terheli felelősség, mivel azok jövőre irányuló kötelezettségeket is hordoznak. A kutató mindezekért felelős saját lelkiismerete és a politikai közösség előtt is.

A jövő nemzedékek felé irányuló kötelesség a genetikában különösen fontos szerepet játszik. Ennek pontos meghatározása azonban nem könnyű feladat. Létezik-e az ismeretszerzés olyan lehetősége, melyet kötelesek vagyunk mindenáron elkerülni, mint például az ember klónozásához szükséges ismeretek megszerzését, vagy emberi embriók kutatás céljára létrehozását? A kérdésre *három lehetséges válasz* adható. *Az egyik szerint* az emberi élet természetes folyamatába nem szabad beleavatkozni, mivel az szent. Nehéz ezt az álláspontot következetesen megvédeni, mivel a történelem folyamán állandóan beleavatkoztunk abba. Napjainkban a véleménykülönbségek csak a beavatkozás lehetséges határaitra vonatkoznak. *Egy másik álláspont* szerint a kutatás elé nem szabad korlátokat emelni. Az ugyanis csupán új ismeretek megszerzésére irányul és nem azok felhasználására; ezt pedig az értelmes természetünkből fakadó kíváncsiság és az ismeretszerzésre irányuló emberi jog egyaránt értékes és szükségessé teszi. Az ember a kockázatok és az áldozatok ellenére is mindent megpróbál, amire lehetősége nyílik.³ A történelem ismételt bizonyította már, hogy ebben rejlik a haladás legerősebb mozgatója, még akkor is, ha ehhez sokszor a *priori* tilalmak áthágására volt szükség. Ebből a megállapításból azonban nem következik, hogy az ismeretekkel rohamosan együtt gyarapodó lehetőségek megvalósítására irányuló igyekezet a jövőben is csak a haladás mozgatója lehet; ennek ellenkezője is lehetséges.

A *harmadik válasz* szerint léteznek erkölcsileg kötelező határvonalak. A genetikai kutatás számára is kötelező a sajátosan emberi tulajdonságok tiszteltben tartása; el kell kerülni minden olyan igyekezetet, mely ezek megváltozásához vezetne. Ez az álláspont a kritikus gondolkodás egyik legrégebbi feltevésére épít: léteznek az emberben értelemmel megragadható olyan közös sajátosságok, amelyek meghatározzák lényegünket. Megváltoztatásukkal alapvető emberi értékek és az emberi élet értelme válna bizonytalanná. Mi több, az emberi sors rossz szándékú befolyásolásának a veszélye is felmerülhet, ha nem vesszük azokat figyelembe. A klasszikus filozófiai hagyomány ezekből a sajátosságokból alkotta meg az *emberi természet* fogalmát. A keresztény erkölchagyomány szerint az emberben felismerhető isteni képmás megváltoztatásához vezetne, ha például a személy Isten adta szabadságát és méltóságát mások céljainak rendelnénk alá. Ez valóban isteni hatalom bitorlását jelentené.

Mivel az ember ma is fejlődik, tudatosan fejleszti és változtatja is önmagát, az összes ilyen alapvető sajátosság ismerete meghaladja képességeinket. Embert meghatározó szerepük pontos megjelölése sem könnyű feladat. A szép és a jó megvalósítására, az igazság megragadására vagy a szereteten alapuló elkötelezett házassági kapcsolat létrehozására való képesség, a nyelv használata, a szabadság birtoklása, vagy az Isten imádása mind olyan sajátosság, mely lényegesen megkülönböztet bennünket az állatok világtól, de mégsem meríti ki az emberi természet fogalmának tartalmát. Arra sem lehet szükségszerűen következtetni, hogy ezeknek és más hasonló sajátosságoknak a kibontakoztatásához például a géntechnológia eszközeit semmilyen, eddig még nem ismert helyzet vagy körülmény esetén sem szabad fölhasználni. Ezek az eszközök ugyanis előmozdíthatják fejlődésünket, „társteremtői küldetésünk” megvalósítását. Ennek az állításnak az általánossága azonban jogosan ad okot aggodalomra. Lehetőségeink megvalósításával kapcsolatos kötelességek meghatározása tehát mindannyiunk számára létérdek.

Az emberi természetből általánosan érvényes és kötelező erkölcsi szabályokra és személyes jogokra lehet következtetni. Ezek *elben* meghatározzák az erkölcsileg megengedhető és a tilos beavatkozás közötti különbséget és a kutatás erkölcsileg elfogadható céljait. Általános kötelező erejük annak köszönhető, hogy nem vesszük figyelembe a konkrét körülmények szerepét. Az *erkölcsileg jó cselekedet megvalósítása* nemcsak a szabályok követésére irányuló szándéktól, hanem a megvalósításhoz szükséges eszközök alkalmasságától és a körülményektől is függ, ezek közül főleg a cselekedet rövid és hosszú távú következményeitől. A cselekedetet meghatározó erkölcsi érvelésnek tehát nemcsak a személyes jogok és az erkölcsi szabályok szerepére, hanem az eszközök és a körülmények mérlegelésére is ki kell terjednie.

A genetika területén ebben a folyamatban az utóbbi két szempont rendkívül bonyolult feladatot jelent és nemritkán döntő szerepet kap. Ezért a különböző kutatási célok és technikai eljárások erkölcsi értékelésben nemcsak a szakterület képviselőinek, hanem a társadalom érdekeit képviselő más szakértőknek is szerepük van. A genetikai és más természettudományok kutatás lehetőségeinek erkölcsi értékelése tehát *interdiszciplináris* feladat, amelyben a politikai közösség is érdekelt. A feladat végrehajtása az alapvető emberi sajátosságok és jogok, valamint a várható előnyös következmények egyensúlyban tartásával történik, állította *James M. Gustafson*, az egyik legbefolyásosabb észak-amerikai etikus már több mint huszonöt évvel ezelőtt. *A lényeges emberi sajátosságok és alapvető jogok a kutatási lehetőségek erkölcsi korlátait meghatározó alapelvként szerepelnek, az eszközök alkalmassága és a következmények pedig irányelvként, melyek igazolják a korlátok esetleges szűkítését, vagy a kivételek lehetőségét.*⁴

A következő lépésben ezzel a módszertani megközelítéssel vizsgáljuk meg a **genetikai szűrővizsgálatok**kal kapcsolatos erkölcsi problémákat, majd a kutatás és a terápia erkölcsi kérdéseivel foglalkozunk. Az emberi sejtmagban található genetikai információ befejezéshez közeledő föltérképezésével egyre több genetikai rendellenesség válik felismerhetővé

már a születés előtt is.⁵ Az egyéni genetikai diagnózisnál rendszerint nem jelent különösebb erkölcsi problémát, kivéve a terhesség alatti szűrés eseteit. Egy adott betegség esetleges genetikai összetevőinek megállapításához azonban szükség van az elérhető összes hozzátartozó genetikai feltérképezésére.⁶ A hozzátartozók legtöbbször nem fűzi terápiás érdek az ilyen jellegű információk megadásához. Sokan bizalmasabbnak is tekintik ezeket, mint az egészségükre vonatkozó egyéb adatokat, ily módon ugyanis családi múltjukba, maguk, valamint meglévő és születendő gyermekeik jövőjébe is betekintést engednek. Azt sem lehet mindig szavatolni, hogy az általuk szolgáltatott személyes adatok kutatás vagy diagnózis céljából való feldolgozásában kilitük teljesen rejtve maradjon. A beleegyezéshez szükséges pontos információk ezekre a tényekre még akkor is ki kell térnie, ha ez megnehezíti a felmérést. A felmérés a résztvevők számára felesleges aggodalomra is okot adhat, különösen akkor, ha a genetikai hajlam jeleit egy közeli hozzátartozóban megtalálják. Ezek a körülmények új fényt vetnek az orvos—beteg kapcsolat, az ártalom elkerülése és a magánszférához tartozó személyes információ titkosságának orvosetikai értelmezésére. Alkalmazásukban ugyanis figyelembe kell venni a leszármazásból és a családi hovatartozásból fakadó kötelességeket is.

A genetikai információnak nemcsak személyes, hanem közösségi jelentősége is van. A megszerzésükre irányuló személyes jogot az ismeret birtoklásával kapcsolatos hátrányok fényében kell mérlegelni. A terhességi szűrővizsgálatok a velük járó kockázatokon kívül a születendő gyermek későbbi nevelését is befolyásolhatják. Ez árnyékot vethet jövőjére, és alapot adhat társadalmi előítéletek vagy megkülönböztetés későbbi kialakulásához. Lehetőséges, hogy a biztosító társaságok és a munkaadók szerződésalkötések lehetőségét diagnosztikus szűrővizsgálatok eredményétől teszik majd függővé. A hajlam bizonyos rendellenességre megnehezítheti vagy lehetetlenné teheti a szerződésalkötést, ezzel a magánszféra személyes információt korlátozó és autonóm döntések feltételeit biztosító jogait új sérelmek érhetik.⁷ Előbb-utóbb a magánszféra védelmének érdekében a kialakulóban lévő szolgáltatás részleteire is kiterjedő jogi szabályozásra lesz szükség.⁸

A vizsgálatok más kockázatokat is hordozhatnak. Ezek közül néhányal már a hetvenes években is foglalkozott az orvosetikai irodalom.⁹ Egyre több betegség genetikai összetevőit lehet azonosítani. Ezek rendszerint csak a hajlamot bizonyítják és a „szimptómentes betegségből” a tényleges betegség kialakulására többnyire, de nem minden esetben, csak statisztikai valószínűséggel lehet következtetni. Az Egyesült Államok fekete lakosságának 10%-ában például megtalálható a sarlósejtes vérszegénység genetikai meghatározója, de ezek közül csak minden ötszázadik személyt fog érinteni maga a betegség. Ennek ellenére az Egyesült Államokban a rendellenesség hordozói a hetvenes években egy ideig nem kaptak munkát repülőgépeken.

Ma már nagyon sok genetikai rendellenességet lehet azonosítani, ezeknek jelentős hányada egyetlen génhibára vezethető vissza. Ezek gyógyításához egyre közelebb jut a tudomány. A többtényezős rendellenességek esetében a hordozóik egészségére gyakorolt hatás sokszor még ismeretlen; szerencsésebb esetekben a betegség megjelenésének csak bizonyos fokú valószínűsége állapítható meg. Gyógyítás helyett nemritkán csupán a betegség, vagy néhány fölismeret hajlam kialakulásának megelőzésére, esetleg a tünetek enyhítésére van csak lehetőség.¹⁰ A hajlam fölismerése biztosíthatja a betegségre való fölkészülést is. Egy gyógyíthatatlan betegség lehetőségére való fölkészülés azonban legtöbbször csak a kikerülhetetlen végzet terhének meghosszabbodását eredményezi. A hajlam továbbadásának elkerülésére adományozott ivarsejtek használata, a terhesség elkerülése vagy esetleg annak megszakítása között lehet választani. Egyik sem problémamentes megoldás. Ha figyelembe vesszük a genetikai rendellenességek nagy száma mellett azok alacsony előfordulási arányszámát és a hamis pozitív vagy negatív eredmények lehetőségét is, a hajlam ismeretével kapcsolatos előnyök és terhek kedvező arányát nem mindig lehet feltételezni. A többtényezős rendellenességek szűrésére irányuló vizsgálatok költségeinek indokoltsága is kérdésessé válik, különösen akkor, ha ezek a nagyobb hatásfokú egészségügyi szolgáltatás

kiadásait terhelik. A gyógyszerfejlesztés nagy költségei a ritkán előforduló betegségek esetében hasonló problémát jelentenek.

A terhesség alatti szűrővizsgálatok egyre gyakoribbak; 35 év fölött szakmailag ajánlottak is, mivel ekkor a Down-kór előfordulásának lehetősége és a vizsgálattal járó veszélyek statisztikailag kiegyenlítődnek. A magzatban fölismert rendellenességek átlagban csak az esetek két százalékában adnak orvosilag, de nem szükségszerűen erkölcsileg, elfogadható indokot a terhesség megszakítására. Méhen belüli vagy születés utáni kezelésre is csak korlátozott lehetőség van. Ennek ellenére az igény növekszik, lényegében attól a szándéktól indítva, hogy a várákozásnak megfelelő utód születésig meg. A genetikai ismeretek birtokában hozott döntéseknek ez az egyik felfogásunkra és gondolkodásmódunkra gyakorolt (mellék)hatása: *a gyermek fontosságát nem önmaga, hanem egyre inkább előre fölállított kritériumok határozzák meg.* Ezek megvalósításához drasztikus eszközök alkalmazása is lehetséges, például a nem kívánatos nemű magzat elpusztítása. Ez a születendő élet fölötti emberi hatalom erkölcsileg elfogadhatatlan növekedésén kívül megnehezíti azoknak a társadalmi helyzetét is, akik átcsúsznak a szűrésen. Ilyenek pedig mindig lesznek közöttünk. *Daniel Calahan* már a hetvenes évek elején rámutatott erre a veszélyre: képesek leszünk-e arra, hogy emberségesen éljünk együtt a genetikai betegséget hordozó embertársainkkal, ugyanakkor kiküszöböljük a betegséget magát? Mindkettő kötelességünk ugyan, de ellenkező logika irányítja a stratégiát. A betegség legyőzendő ellenség, annak hordozója pedig embertársunk, aki védelmet és tiszteletet érdemel, akinek meg kell adnunk a terhei enyhítéséhez szükséges szolgálatot.¹¹

A **genetikai kutatás** területén az *emberi őssejtekkel* végzett munka egyre több és jelentősebb eredményt hoz létre. Ezek még nem differenciálódott multi- vagy totipotenciális állapotban lévő sejtek, klónozással sejtenyészetek hozhatók létre belőlük, amelyek hosszú ideig megtarthatók és különböző, például gyógyszergyártási funkciók végzésére programozhatók. Elvben emberi szövetek vagy szervek létrehozására is alkalmasak, sikeres kísérletek (például a Parkinson-kór kezdeti stádiumban lévő idegsejtek beültetésével való gyógyításában) azt is bizonyították, hogy sérült szervekbe átültetve kilökődés veszélye nélkül beilleszkednek azokba, és helyreállíthatják a működésüket. Minden bizonnyal az is lehetségessé válik, hogy ember klónozásához is biztossítsák a kiindulópontot. Ezeknek a kutatásoknak az eredményei át fogják alakítani a gyógyítás művészetét. Jelentőségüket már most is az érzéstelenítés és az antibiotikumok fölfedezéséhez hasonlítják.¹² Legegyszerűbben a „felesleges”, méhbe ültetésre föl nem használt, megtapadás előtti stádiumban lévő pre-embrió belső sejtanyagából lehet összegyűjteni ezeket, de találhatóak a méhlepényben és az újszülött vérében és köldökzsinórjában, valamint abortált magzatok szövetmaradványaiban is. Ugyanerre a célra összegyűjthetők abortált magzatok embrionális állapotban lévő ivarsejtjei is.¹³

A felhasználás erkölcsileg elfogadható lehetőségeit a testen kívül létrehozott pre-embrió emberi státusa határozza meg. A Római Katolikus Egyház hivatalos tanítása szerint az emberi életet a fogamzástól személynek járó tisztelet és védelem illeti meg. Az emberré válást, a „lélekadás” időpontját sem tudományos, sem filozófiai kritériumokkal nem lehet pontosan megjelölni. Ezért csak a kötelező védelem legszorosabbra húzott határvonalával lehet az emberölés veszélyét elkerülni embrionális élettel való kísérletezés vagy terápiás beavatkozás esetében. A hatvanas évek előtti biológiai ismeretekkel támasztja alá ezt az álláspontot az egyházi tanítás, mely szerint a fogamzaskor létrejön az a genetikai információ, amely a születendő személy minden lényeges sajátosságát meghatározza. A fejlődés, amit ez az információ irányít, csak a szervezet kialakulását biztosítja. Ezt az álláspontot azonban sem a korábbi tanítás, sem mai tudományos ismeretek nem támasztják alá teljes mértékben. A Katolikus Egyház ugyanazt az erkölcsi státust biztosítja a testen kívül létrehozott pre-embriónak, mint a fogamzás produktumának a méhen belül.

Ezért a legszigorúbban tiltja kísérletezés céljából létrehozatalukat; a visszaültetésre szánt lombikbőbik létrehozását is elítéli, noha enyhébben. Az egyetlen megengedett, de egyelőre csak elméletben lehetséges kivétel, az embriókon vagy magzatokon végrehajtott terápiás célú beavatkozás. A keresztény hagyomány keretein belül ez a legszigorúbb és egyben a legkövetkezetesebb erkölcsi állásfoglalás.

Dolly létrejötte azonban kétségbe vonta a fogamzás perdöntő jelentőségét. Az összejtutatós eddigi eredményei pedig azt bizonyítják, hogy a visszaültetésre szánt pre-embrióból is lehet klónozható összejteket eltávolítani, és elméletben összejtek fölhasználható visszaültethető pre-embriók létrehozására is. Az élet átadásának lehetősége mindezzel tovább távolodott az ivarsejtek létrehozóitól, a szülőktől. Napjainkra új fény derült a fogamzással létrejövő genetikai információ személyes tulajdonságokat meghatározó szerepére, valamint a reprodukciós környezetből eltávolított összejtek státusára is. A természetes környezetben érvényes megállapítások nem adnak biztos alapot a környezetükből kiszakított összejtek vagy pre-embriók státusának erkölcsi értékeléséhez. A megszületés lehetőségével rendelkező, tehát a természetes környezetben (az anyaméhben) található, vagy az abba visszahelyezhető pre-embrió státusa nem azonos a megszületés lehetőségével nem rendelkező, mesterséges környezetben tartott, blasztula vagy összejt státusával. A különbségnek van erkölcsi jelentősége.

A személyes élet védelmére irányuló kötelességet nem lehet kétségbe vonni, annak kezdete azonban nem szükségszerűen esik egybe a fogamzással. A személyt — más sajátosságok mellett — az oszthatatlan egység jellemzi, ő csak egy lehet. Létrejöttéről tehát nem lehet beszélni mindaddig, amíg az egyéni létezés, az individualizáció genetikai feltételei ki nem alakulnak. A megtapadás előtt a sejtek pluri- vagy totipotenciális állapotban vannak; a restriktációs folyamat, mely azokat sajátos funkciók végzésére determinálja, még nem fejeződött be. A pre-embrió különbözik azoktól, akiktől származik, és fogamzásával, ami magában foglalja az első két vagy három sejtsztódást, egy meghatározott és — az egytetű ikrek esetét kivéve — gyakorlatilag soha meg nem ismétlődő genetikai információ hordozójává vált. Egységes szervezetnek azonban nem tekinthető még. Ebben az állapotban sejteket lehet belőle eltávolítani — például genetikai diagnózis végzéséhez — anélkül, hogy az kárt szenvedne, mesterségesen szétválasztható, például összejt-szaporítás vagy egytetű ikrek létrehozása céljából. Amíg a pre-embrióból két vagy több személy alakulhat ki, az egyediséget genetikai szinten meghatározó információ még nem jött létre sejtjeiben; az további fejlődés eredménye lesz. Ez előtt csak emberi életéről lehet beszélni, de annak egy meghatározott tagjáról, a személyről nem.

Úgy is lehet mondani, *Duns Scottus* középkori filozófus véleményére építve a feltevést, hogy ennek a sejtthalmaznak a tagjai csupán a *minden személy számára közös emberi természet hordozói*. Ez csak olyan emberi sajátosságokat határoz meg, melyek megtalálhatók az emberi nem minden tagjában.¹⁴ A genetika nyelvén ez azt jelenti, hogy ezek a sejtek olyan genomnak hordozói, mely jellemző az emberi nem minden tagjára. Ezért a közös emberi természet minden hordozójába beültethetők, még nincsenek diszponálva arra, hogy egy adott személy testében meghatározott funkciót töltsenek be. Ez a genom létrejöhet az ivarsejtek testen belüli vagy kívüli egyesülésével, klónozással pedig egy már meglévő genom sokszorosítható, vagy a magjától megfosztott petesejtbe ültetve az emberré válás folyamata megindíthatóvá válik vele.

Az egytetű ikrek azért jöhetnek létre, mert a pre-embrió őket létrehozó szétválása abban az állapotban történik, amikor még csak a fajtára jellemző, általános emberi természetet genetikai szinten meghatározó információt hordozzák sejtjeik. Az arisztotelianus-tomista ember-meghatározásból is ugyanerre lehet következtetni: az ember értelmes állat, test és lélek organikus egysége. II. János Pál pápa szavaival, aki a II. Vatikáni Zsinat tanítását idézi, az ember „megtestesült lélek, lélek, mely a testben fejezi ki önmagát, test, melyet a halhatatlan lélek határoz meg...”.¹⁵ Ezért ha az általános emberi természet sajátosságainak vannak genetikai szintű meghatározói, akkor vannak az egyediségnek, a személy minden jelentős sajátosságának is. Az egyéni sajátosságok genetikai megalapozá-

sa, a biológiai értelemben vett individualizáció a megtermékenyülés után mintegy két héttel veszi kezdetét, amikor is a pre-embrió sejtjeiben befejeződik az a változás, amely azokat meghatározott testrészekben meghatározott funkciók betöltésére diszponálja. Ehhez, más feltételek mellett, szükség van az anyai környezettel kialakuló interakcióra, információcserére is. Ez a változás még nem hozza létre a személyt, de megindítja a sajátosságainak kialakulásához vezető folyamatot, és ezzel megteremt a személyes élet védelmére irányuló erkölcsi kötelezettség kezdetét.

A pre-embrió és az összegek testen kívül is tiszteletet és a védelmet érdemelnek. A védelem mértéke azonban eltér a személynek kijáró védelemtől. A közös emberi természet hordozói, birtokosai olyan genetikai információnak, mely molekuláris szinten nem a személyes, hanem az általános emberi mivolt lényegét fejezi ki. Ez a különbség határozza meg tudományos kutatásra történő vagy terápiás célú használatuknak a személy esetétől eltérő erkölcsi határvonalát. Pontosabban kifejezve, *az emberi nem és tagjainak érdekében kutatásra és terápiás célokra egyaránt felhasználhatók a méhbe ültetésre nem szánt pre-embrióból összegyűjtött összegek*, mivel csak az általános emberi természet és nem az egyén, a személy genetikai sajátosságainak hordozói.

A blasztulából eltávolított összegek gyakorlatilag bármilyen sejtenyészet létrehozására alkalmasak. Felhasználhatók alapkísérletekben, sejt- vagy sejtszövet-átültetésre, gyógyszerészeti vagy más, még eddig meg nem valósított célra. Ha például egy klónozott embrióból méhbe ültetése előtt eltávolított összegekből sejtenyészetet hoznának létre, és azt megfelelően tárolnák, a megszületett gyermeknek saját összejtjei tartalékként rendelkezésre állnának.¹⁶ Ez az egyelőre csak elképzelt eset jól illusztrálja az összegek helyzetüktől függő jelentőségét. Mivel a közös emberi természet hordozói, használatuk csak a faj határain belül válik erkölcsileg elfogadhatóvá. Az azon túlmenő kísérletezés vagy felhasználás erkölcsi lehetősége a fősorolt tapasztalati megállapítások ellenére is *egyelőre kétségbe vonható*. Ezt kell mondani például a Worchesterben 1998-ban végrehajtott kísérletről is, amikor egy magjától megfosztott tehén-petesejtbe emberi sejtmagot ültettek. Az etikai bizottság előzetes jóváhagyása helyett adminisztratív engedéllyel hajtották végre. A kísérlet céljáról és eredményéről nem született tudományos beszámoló, megismétléséről sincsen értesítés.¹⁷ Feltehetően a közvélemény reakciójának felmérése volt az új típusú kísérlet célja. Eredményére nem lehetett előre következtetni, azt először végre kellett hajtani. A létrejött hibridben az emberi DNS vette át az irányítást, és a sejtekben gyorsan megindult az emberi fehérjék előállítása. A kísérlet tudományos és etikai jelentőségét részletekre kiterjedő interdiszciplináris értékelés nélkül nem lehet megállapítani. Az értékelés megtörténteig tehát „moratóriumot kell létrehozni a hibrid kutatás területén”, követelte *Thomas A. Shannon*.¹⁸ Tévedés lenne ugyanis az ember esetében a fajhatár átlépésének technikai lehetőségét annak erkölcsi megengedhetőségével azonosítani, még akkor is, ha a már létrehozott másfajta transzgenikus élőlények a jelek szerint megbízhatóan betöltik előre meghatározott szerepüket. A kísérlettel egy olyan ajtó nyílt meg, melyen eddig még senki sem kopogtatott. Tágra nyitásához tisztázni kellene az értelmes ember és az emlősök közötti különbségek etikai jelentőségét, és egyebek között azt is, hogy pontosan milyen kérdésekre keresnénk választ ilyen kísérletekkel.

A mai ismeretek fényében az erkölcsi értékelésnek egy másik szempontot is figyelembe kell vennie. Nemcsak az egyediség genetikai meghatározóinak van szerepük az erkölcsi határvonalak meghúzásában, hanem a pre-embriók környezetben elfoglalt helyzetének is. A személlyé válás lehetőségével ugyanis a megfogant vagy a mesterségesen létrehozott élet csak egy sajátos helyzetben, *az anyaméhen belül* rendelkezik. Lényegében ugyanezt kell mondanunk a testen kívül lévő, de méhbe ültetésre szánt pre-embriókról is. Visszaültetésük technikai lehetősége létrejöttüktől számítva csupán néhány napig lehetséges, de ez fagyasztással jelentősen meghosszabbítható. Ezért a II. Vatikáni Zsinat szavai szoros értelemben vonatkoznak rájuk: „Az életet (tehát) a leg gondosabban kell óvni, már a fogamzástól kezdve”.¹⁹ A méhbe ültetés és ezzel a személlyé válás lehetősége azonban vagy a pre-embriók alkalmatlansága vagy emberi hajlandóság hiánya miatt megszűnhet. (Az utóbbi

körülmény is rámutat az embrionális élet mesterséges reprodukció céljából létrehozatalának egyik jelentős erkölcsi problémájára.)

A személlyé váláshoz tehát szükség van a befogadó méhére. A testen kívüli embrió a méhben lévővel szemben kezdetől hátrányos helyzetben van. Lassabban fejlődik, és mintegy három hét elteltével fejlődése megáll. Az egyedi fejlődéshez ugyanis szükséges az anyai környezettel létrejövő kapcsolat. Ez némi tápanyag felvételén kívül intenzív genetikai szintű információcserét biztosít, mely megteremti a pre-embrió számára az önszervezés és a célirányos fejlődés feltételeit.²⁰ Megindul a restrikciós folyamat, melynek következtében a sejtek átszerveződnek különböző szövetek és szervek létrehozására, megindul azok működésének összehangolása, létrejön az önálló életre képes egyén szervezete. A személy életképes létrejöttének tehát nélkülözhetetlen feltétele egy már létező személlyel, az anyával való kapcsolat megteremtése és fönntartása, legalább a terhesség önálló életfeltételeket megteremtő kritikus szakaszában, melynek ma általában a terhesség első huszonnégy hetét tekintik. Az egyén érzelmi és értelmi fejlődése szempontjából legalább ugyanilyen mértékben van szükség az anyával kialakuló érzelmi kapcsolatokra is. Ezek a tények biológiai és pszichológiai hátteret adnak a zsidó-keresztény erkölcsi meggyőződéshez, amely hangsúlyozza a szülők szeretet-kapcsolatának fontosságát a gyermek létrejöttében, egészséges értelmi és érzelmi fejlődésében, képességeinek, szabadságának és emberi méltóságának kibontakozásában.

Amennyiben az anyaméhben létrejövő kapcsolat megteremtésére már nincsen lehetőség, a pre-embriók ugyanabba a helyzetbe kerülnek, mint az összejtek. Erkölcsileg megengedhetővé válik az emberiség és tagjainak javára való fölhasználásuk. A tudományos kutatás erkölcsi integritásának biztosításához szükséges azonban, hogy a létrehozatalukra, valamint a vissza nem ültetésre vonatkozó döntésben *a kutatás igénye semmiféle szerepet ne játsszon*. Ezek a döntések ugyanis átléphetik a pre-embriónális élet erkölcsileg kötelező tiszteletének határvonalát; a kutatási céllal létrehozott pre-embriónális élet esetében pedig, véleményem szerint, *mindig átlépi azt*, mivel ennek a célnak a megvalósulása eleve megtagadja tőlük a személlyé válás lehetőségét. A kutató tehát csak akkor mentesül az említett határvonal megszegésének erkölcsi terhétől, ha a kutatás érdekeitől teljesen független szempontok alapján mások hozták meg azt a döntést, mely alkalmat ad — és pusztán ezt biztosítja — a kutatáshoz szükséges, de személyes életre képtelenné vált pre-embriók fölhasználására.

Az eddigiekből az **emberklónozás** kézenfekvő és a közvéleményt gyakran foglalkoztató kérdése következik. Megvalósítható-e az emberi élet *személlyé válása klónozással is?* Ezt egy, az állattenyésztésben már elterjedt eljárással, az embrió megosztásával emberen is meg lehetne valósítani. A másik lehetőség a megfelelően előkészített testi sejt magjától megfosztott petesejtbe való átültetése. Az elsőt általában már tiltja a törvény, a másodiknak — egyelőre — csak elméleti lehetősége ismert. Először egy bizonyító erővel rendelkező felfogásmódot vizsgálok meg, mely a személyes mivolt lényegét és a személy sorsát meghatározó tényezőket a genetikai információval azonosítja, és megfelelkezik a személyes szabadság és a környezeti adottságokat átfórmáló emberi képesség szerepéről. Genetikai determinizmus ez, amely a társadalmunkra jellemző materialista gondolkodásmód újabb megnyilvánulása.

Egy élő vagy már meghalt személyt nem lehet „lemásolni” testi sejtmagjából létrehozott klónjával. Az egypetűjű ikrek lényegében ugyanazt a genetikai információt hordozzák sejteikben, mégis különböző személyek. Ebben az elképzelt szcenárióban a klón vagy klónok genetikai információja nem is lenne teljesen azonos a sejtmagot biztosító személyével, mert a felhasznált petesejtnek is fontos szerepe van az utód genomjának kialakításában. Ezenkívül az így létrejött személy egy, a genetikai elődjétől eltérő környezettel kialakított interakció hatásait is magán hordozná. Az sem bizonyítható, hogy a genetikai információk hasonlósága bármelyik személy méltóságát sértené; ilyen sérelem egypetűjű ikrek esetében

sem létezik. Az előre meg nem határozott genotípussal való születés jogára való hivatkozás ugyanúgy kétségbe vonható, mint a szexuális fogamzáshoz vagy két heteroszexuális szülőhöz való jog feltételezése. A még nem létező személynek nincsenek jogai. Mindez természetesen nem jelenti azt, hogy a klónt létrehozó szándék nem veszélyezteti az ember alapvető sajátosságairól és kapcsolatairól alkotott felfogásunkat vagy a klónozott személy szabadságát és méltóságát. Ez a veszély elsősorban az eljárás móddal kialakítható vagy esetleg kialakuló felfogásban rejlik.

A mesterséges reprodukció lehetőségei máris nagy anyagi hasznot ígérő, és kiéleződő piaci versennyel járó „egészségügyi üzletet” teremtettek egy olyan területen, melyet a liberális individualista társadalomfelfogás kizárólag a magánszférához utal; megnehezítve ezzel a piaci versenyre vagy az egészség-szolgálatra érvényes jogszabályozás alkalmazását. Ha a klónozás esetleg új, biztosabb és olcsóbb reprodukciós eljárásnak bizonyul, annak gyors piaci alkalmazása sok előnnyel járhat. Amint a tapasztalat a reprodukciós technológia más eszközeinek esetében már bizonyította, ezeket az előnyöket elsősorban a felkinálók élvezik, esetleg a felhasználók kárára.²¹

A pragmatikus beállítottságú közfelfogás könnyen elfogadhatónak tekinti a születendő gyermek szülői elvárásoknak megfelelő genetikai meghatározását. Ez a gondolkodásmód az emberklónozás piaci megvalósulásától függetlenül is társadalmi veszélyt jelent. A „legjobb” fagyaszttva tárolt ivarsejteknek vagy embrióknak máris jelentős piaci értékük van, ahol pénzért értékesíthetők. Egy ismert személy kiváló sajátosságainak a születendő gyermekben lehetségesnek vélt megvalósítása megnehezítené a felnövekedés máris komplikált feladatát. Elég itt utalni azokra a dokumentált problémákra, amelyekkel névtelenül adományozott ivarsejtek felhasználásával megszületett gyermekek kerülnek szembe, amikor az őket genetikai értelemben örökbe fogadó családba kell beilleszkedniük. Tágabb összefüggésben a genetikai meghatározás elméleti lehetőségének az elfogadása is növeli a születendő nemzedék fölötti hatalom tudatát. A gyermek nem a házastársi szerelem kölcsönös ajándéka lesz, aki önmagában hordozza méltóságát és létezésének értelmét, hanem egy részleteiben is kidolgozott terv megvalósulásának eszköze. A születendő gyermek sajátosságainak az elképzelt meghatározása, de még inkább annak megkísérelt megvalósítása, leszűkíti a gyermek későbbi választási lehetőségeit és emberi szabadságának kibontakozását. Ennél is fontosabb az az érv, melyet Kovács József így fogalmazott meg: „...a klónozás gyakorlata aláásná az emberi élet egyediségébe s ezért végtelen értékébe vetett hitet. A klónozás ugyanis azt a hamis látszatot keltene, hogy az egyedi ember pótolható.”²²

A *génterápia és az eugénia* az utolsó kérdésterület. A genetikai rendellenességek okozta funkciózavarok jelentős hányada *tüneti szinten* mesterségesen előállított emberi enzimek és hormonok segítségével sikeresen kezelhető. Ezeket az esetek 99%-ában rekombináns DNS technikával előállított gyógyszerek juttatják be az emberi szervezetbe, melyek előállításához az emberekben felfedezett genetikai információkra is szükség van.²³ A természetben található genetikai információk szabadalmazhatósága és az információt adó hordozók haszonrészeseledéshez való joga még rendezésre váró problémát jelent a legtöbb joghatóság számára.

A *rendellenességek gyógyítása* a hordozók génállományába való beavatkozást igényel. Ez történhet örökölhető eredményt nem biztosító, szomatikus sejtes beavatkozással. Ez az eljárás esetenként csak egy hordozón segíthet. A szomatikus sejtes beavatkozás létrejöhet a szervezetből ideiglenesen eltávolított sejteken is, melyeket a rendellenesség kijavítása után eredeti helyükre visszaültetnek, annak reményében, hogy ott működésbe lépve kijavítják a hibát. A kijavított gént el lehet juttatni a hibásan működő szerv sejtjeibe közvetlenül vagy harmadik lehetőségként a vérkeringésen keresztül. Ivarsejtes beavatkozások esetében az új információt a megtermékenyített petesejtbe helyezik, így, legalábbis elméletben, kiküszöbölik a rendellenességet nemcsak a megszülető személyben, hanem utó-

daiban is. Elméletben mindkét lehetőség fölhasználható a kívánatos sajátságok genetikai megalapozására is. Az Egyházak Világtanácsa által 1979-ben összehívott konferencián kialakult egy napjainkig általánosan elfogadott etikai konszenzus, mely szerint a szomatikus sejtes génterápia elfogadható, az ivarsejtes nem. Ugyancsak visszautasították a nem terápiás célú génmódifikáció minden formáját is.

A szomatikus sejtes génterápia sokat ígérő, de ma még legtöbbször csak kísérleti stádiumban lévő lehetőségeket tud fölmutatni. A kísérleti eljárások végrehajtását és az eredmények orvosi gyakorlatba való bevezetését az orvostika irányelvei megbízhatóan szabályozzák. Ez a terápia lehetővé teszi, hogy adott rendellenességek hordozói megszabaduljanak terheiktől, de a rendellenesség okozta egészségi problémát csak ivarsejtes beavatkozással lehetne orvosolni. A technikai nehézségek megoldása ezen a területen idő és befektetés kérdése csupán, állítja az eljárás mód védelmében hozott legmeggyőzőbb érv. Ellenzői az előre meg nem állapítható, de a következő generációkra esetleg átszármaszó mellékhatásokkal érvelnek. A nagyon is jelentős költségek és kockázatok, valamint a várható haszon kedvező arányát is tagadják, mivel szerintük a hibás genóm átadását mesterséges megtermékenyítéssel vagy az implantációt megelőző génterápia megbízhatóbb eszközeivel is el lehet érni.

A filozófiai jellegű ellenérvek közül az eljáráshoz szükséges szabad és jól értesült beleegyezés lehetetlensége a legrégebb. (Az érv feltételezi, hogy a személy létrejöttének legkorábbi lehetősége a megtapadás időpontja.) A szomatikus sejtes terápia esetében a döntésre képes személyek az előnyök biztosításáért veszélyeket is vállalhatnak. A döntésre képtelenek nevében, a gyermekek esetében is, a gyám vagy a törvényes megbízott is megteheti ezt. Gyermekeken és meg nem született magzatokon végzett kísérletezés esetében általánosan elfogadott az a feltétel, hogy a részvétel számukra csak figyelmen kívül hagyható terheket jelentsen. A veszélyek az ivarsejtes terápia alkalmazásakor korántsem elhanyagolhatók. Ezen kívül a még nem létező utód nevében adott beleegyezés elvi ellentmondás: kinek az érdekében történik a beleegyezés? A gyermek még nem létezik, az eljárás pedig nem a „leendő” szülők reprodukációs képességeinek javítására irányul. Ők a beavatkozás után is az adott genetikai rendellenesség hordozói és lehetséges továbbadói maradnak.

Egy másik filozófiai érv szerint az „ivarsejtes terápia megsértené a következő generációk jogát ahhoz, hogy tagjai szándékosan meg nem változtatott genetikai örökséggel szülessenek meg.”²⁴ Ebben a formában nincsen meggyőző ereje a megállapításnak, mivel nem létező személyeknek nincsenek jogaik; egy másik összefüggésben azonban van súlya. Mindannyian olyan tartozásokkal születünk, melyeket sem szüleinknek, sem a társadalomnak nem fizethetünk vissza. Ezek között van a leszármazásunkkal kapott „genetikai örökség” is. Ezt a tartozást csak azzal róhatjuk le, hogy utódaink legalább ugyanolyan emberi lehetőségeket biztosító örökséget kapjanak, mint amit mi kaptunk. Ez a kötelesség a „kegyelet” hagyományos értelmében gyökerezik.

Az emberi haladást a személyes kapcsolatokra és bizalomra épített nevelés, a társadalmi együttműködés, a természetes emberi értékek és jogok tisztelete, az emberi szabadság és méltóság feltételeinek megteremtése biztosítja. *Úgy tűnik, hogy mindehhez a genetikai rületre is szükség van.* Teremtmények lévén nem vagyunk képesek arra, hogy sorsunkat teljesen mértékben a magunk kezében tartsuk. A bibliai tanítás szerint az ösbűnt éppen ennek megkísérlésével követtük el. Olyanok akartunk lenni, mint az Isten. (Ter. 3,22)²⁵

JEGYZETEK:

- 1 Sullivan, D., The Eight Day of Creation; America, 137 (1977), 440—443. o.
- 2 Rahner, K., Experiment: Man; Theology Digest, Sesquicentennial Issue (1966 February) 65. o.
- 3 uo. 64. o.

- 4 Gustafson, J. M., Basic Ethical Issues in Biomedical Fields; *Soundings*, 53(1970), 151—180 o., 174. o.
- 5 Egy évvel ezelőtt már 600 olyan betegséget azonosítottak a szakemberek, melyekben genetikai összetevők kimutatható szerepet játszanak. Ezekről további információ szerezhető az interneten: <http://healthlinks.washington.edu/helix>.
- 6 Ez történt például Észak-Magyarország és Dél-Szlovákia egy közös határterületén is, ahol egy genetikai felmérés bebizonyította, hogy a Jakob—Creutzfeldt-szindrómának genetikai összetevője is van.
- 7 A magánszféra orvos- és kutatásetikai szerepéről: Nancy M.P. King, *Privacy and Confidentiality in Research*, és Anita L. Allen, *Privacy in Health Care* az *Encyclopaedia of Bioethics* átdolgozott kiadásában, Warren T. Reich szerk., Macmillan, NY, 1995, 4. kötet, 2060—2073. o.
- 8 Erről lásd: M. Cathleen Kanveny, *Jurisprudence and Genetics*; *Theological Studies*, 60(1999), 135—147. o.
- 9 Bruce Hilton, Daniel Callahan (etc), *Ethical Issues in Human Genetics, Genetic Counselling and the Value of Genetic Knowledge*; Plenum Press, New York, London, 1973, ix—455 o.
- 10 Sarkadi Balázs, Ha megmondod a rizikófaktorod, megmondom, ki vagy! *Genetika—Génétika, Beszélgetések*, Ferenczi Andrea, szerkesztő, Harmat Kiadó, Budapest, 1999, 46—47. o.
- 11 Bruce Hilton, i.m., 89. o., a szöveg szabad fordításban
- 12 Thomas B. Okarma és mások, *Human Primordial Stem Cells*, Symposium, Hastings Centre Report, március—április, 1999, 30—48. o., a 30. oldalon.
- 13 A jelenleg folytatott kísérletek rövid ismertetését lásd: Clive N. Svendsen and Austin G. Smith, *New prospects for human stem cell therapy in the nervous system*; *Trends in Neuroscience*, 22(1999), 8. szám, 357—364. o.
- 14 Thomas A. Shannon, *Remaking Ourselves? The ethics of stem cell research*, *Commonweal*, 1998. december 4., 9—110. o. A kérdés filozófiai háttérére vonatkozó magyarázat megtalálható ugyancsak Thomas A. Shannon egy másik tanulmányában: *Method in Ethics: A Scottistic Contribution*, *Theological Studies*, 54(1993), 272—293. o.
- 15 II. János Pál pápa, *Familiaris Consortio*, Apostoli Buzdítás, A.A.S. 74(1984), 91—92. o., 11.#.
- 16 Glenn McGeese, Arthur Caplan, *What is in the Dish?*, *Human Primordial Stem Cell Symposium*, Hastings Centre Report, 1999. március—április, 37. o.
- 17 A *New York Times* 1998. november 12. számában jelent meg erről értesítés. Elérhető az interneten.
- 18 Thomas A. Shannon, *Commonweal*, 1988. december 4., 10 o.
- 19 A Második Vatikáni Zsinat Tanítása, *Gaudium et Spes*, # 51, 477. o.
- 20 Carlos Alonso-Bedate, *The Zygote: To Be or not to Be a Person*; *The Journal of Medicine and Philosophy*, 14(1988), 641—645. o. Részletesebben: *Informe sobre Clonación*, En las fronteras de la vida, Comité de Expertos sobre Bioética y Clonación Instituto de Bioética, Fundación de Ciencias de la Salud, Madrid, 1999, 413. o.
- 21 Lori B. Andrews, *Human Cloning: Assessing the Ethical and Legal Questions*; *Chronicle of Higher Education*, Február 13, 1998, B4—B5 o.
- 22 Kovács József, *A gének és a társadalom lottója*; *Génétika—Genetika*, 120. o.
- 23 Gráf László, *A borsókacs és a jobbmenetes csigaház*, *Génétika—Genetika*, 31—37. o.
- 24 Maurice de Wachter, *Ethics of Human Germ Line Therapy*; Walters és Palmer, *Ethics of Human Gene Therapy*, 175. o.
- 25 Ennek az cikknek az összeállításában, de méginkább álláspontom kialakításában sokat köszönhetek Richard A. McCormick és Carlos Alonso Bedate rendtársaimmal, valamint Thomas A. Shannonnal és James M. Gustafsonnal kialakult több mint három évtizedes személyes és szakmai kapcsolataimnak.

Biotechnológiai vállalkozások az új évezred küszöbén

Pharmabusiness, 1999. július—augusztus,
Scirp Magazine, 2000. február

Az első biotechnológiai cégeket az 1970-es évek végén alakították egyetemi kutatók saját kutatási eredményeik gyakorlati megvalósítására. A cégek száma gyorsan növekedett, s a sikerrel kecsegtetőket a nagy gyógyszergyárak hamar kiválasztották partnernek vagy bekebelezték őket. Az alábbiakban azokat mutatjuk be, amelyek géntechnológiai módszerekkel vállalkoznak emberi gyógyászatban felhasználható készítmények felfedezésére,

kutatására és fejlesztésére. Ebből a szempontból biotechnológiai termékek tekinthetők azok az emberi, állati vagy növényi biológiai anyagok, melyeket géntechnológiai úton módosítanak. Ezek a vállalkozások elsősorban géntechnológiával, molekuláris biológiával, szerkezeti kémiával és racionális gyógyszertervezéssel foglalkoznak. Egyesek tevékenysége kiterjed diagnosztikumokra és mezőgazdaságban alkalmazott termékekre is.

Az 1. táblázat jól mutatja a biotechnológiai ágazat rohamos fejlődését. A 2. táblázatban a világ legnagyobb 25 biotechnológiai vállalatának néhány jellemző adatát összegezzük.

1. táblázat

A biotechnológiai ágazat néhány jellemző adata

	1999	1998	Növekedés, %
Összes bevétel	18,6 Md USD	16,0 Md USD	16
K+F költség	9,0 Md USD	8,5 Md USD	16
Veszteség	5,1 Md USD	3,4 Md USD	50
Piaci tőkeérték	97,0 Md USD	93 Md USD	4
Alkalmazott, fő	153 000	140 000	9

Bár a biotechnológiai készítmények igéretes jövő elé néznek, a cégek nyereségessé tétele igen nehézé vált. 1998-ban megakadályozták, hogy a biotechnológiai cégek ugyanarra a tőzsdei pályára kerüljenek, mint az internettel kapcsolatos technológiával foglalkozók. Így a tőzsdérevittel és a tőzsdei tőkeemléssel kapcsolatos pénzszerzés lehetősége jelentősen csökkent. Egy 1998-as felmérés szerint a 259 legnagyobb biotechnológiai cég közül mindössze 29 volt nyereséges. Ugyanezek a cégek 1998-ban 6,06 milliárd USD-t fordítottak kutatás-fejlesztésre, 12%-kal többet, mint az előző évben.

A biotechnológiai cégek előtt más lehetőség is kínálkozik: hosszabb kutatás-fejlesztési stratégiai szövetség kialakítása egy-egy nagyobb gyógyszergyárral. 1999-ben a német Bayer cég 465 millió USD értékű szerződést kötött az amerikai Milleniummal. Ennek keretében a biotechnológiai cég 5 év alatt 225 új biológiai célpontot fog a Bayer rendelkezésére bocsátani, melyek szív- és érrendszeri, daganatos, csontritkulásos, hematológiai állapotok, továbbá májfibrozis, fájdalom és vírusfertőzés potenciális kezelését teszik lehetővé. A Bayer cég kiválasztja ezek közül a számára érdekes mechanizmusokat, a

A világ 25 legnagyobb biotechnológiai vállalata

Vállalat	Sorrend 1998	Sorrend 1997	Összes bevétel 1998 millió USD	Összes bevétel változása 1998/1997, %	K+F költség 1998 millió USD	K+F költség változása 1998/1997, %
Amgen Inc	1	1	2 718 200	13,2	663.300	5,5
Genentech	2	3	1150943	13,2	396.186	15,9
Chiron Corp.	3	2	736673	28,2	294.249	-13,4
Genzyme Corp.	4	4	709 335	16,5	119.005	32,9
Biogen	5	5	557 587	35,4	177.228	21,8
Agouron Pharm.	6	10	466 505	253,2	150.657	39,3
Centocor	7	7	338 140	68,4	66.921	-2,5
Immunex Corp	8	8	243 450	31,4	119.954	9,7
Nabi	9	6	243 450	6,3	21.822	14,1
MedImmune	10	14	200 708	147,9	25.775	-36,6
Incyte Pharm.	11	13	134 811	49,8	97.192	34,1
Millennium Pharm.	12	12	133 682	48,6	114.190	52,6
NeXstar Pharm.	13	11	118 549	28,5	52.475	-1,0
Icos Corp.	14	31	110 768	250,8	76.978	79,9
Idec Pharm. Corp.	15	22	86 959	94,9	31.485	-2,8
Collagen Aesthetic	16	15	82 772	21,1	22.715	61,2
Liposome Co.	17	18	77 868	19,6	26.441	-8,5
Bio-Technol. Gen. Corp.	18	17	76 855	17,6	18.450	15,7
Scios	19	21	73 715	55,4	46.637	11,3
Genzyme Transgen. Corp.	20	19	62 412	0,8	16.641	-6,7
Pathogenesis Corp.	21	208	61 052	13 715,7	28.993	3,5
Biomatrix	22	30	47 600	46,5	9.700	64,4
Axys Pharm.	23	36	47 422	91,1	62.176	107,0
Regeneron Pharm.	24	29	45 193	36,5	37.047	33,4
Vertex Pharm.	25	23	44 398	1,4	58.668	13,6

többít szabadon felhasználhatja a Millennium.

A harmadik lehetőség az egyesülés vagy felvásárlás más cégek által. 1999-ben a Warner-Lambert gyógyszergyár 2,1 milliárd USD-ért az Agouron Pharm. céget, mely az előző évben 466 millió USD forgalmat ért el az AIDS kezelésére használt készítményével. 1999-ben a baseli Hoffmann-La Roche cég 4,2 milliárd USD-ért megvásárolta a Genentech egyharmadát

Az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerengedélyezési Hivatala (FDA) 1998-ban 16 új technológiai készítmény forgalomba hozatalát engedélyezte, 1999-ben csak kettőt. A világon jelenleg 63 ilyen készítmény vár engedélyezésre.

Érdemes felsorolni a legnagyobb forgalmú biotechnológiai készítményeket. Az Amgen cég első helyezését az Epogen márkanévű termékének köszönheti. Az Egyesült Államokban 200 000 vesedialízises beteget kezelnek vele vörösvérsejt-termelésük fokozására, továbbá más krónikus anémiás állapotok javítására. Az igen dinamikus növekedésű készítmény forgalma 1,38 milliárd USD. A második legnagyobb forgalmú (1,363 Md USD), ugyanazt a hatóanyagot tartalmazó Procrit márkanévű készítményt szintén az Amgen fejlesztette ki, de forgalmazását átengedte az Ortho Biotech cégnek. Az 1,12 Md USD forgalmú Neupogen is az Amgen terméke. A 70 országban engedélyezett készítményt daganatos betegek ellenálló képességének javítására használják.

A biotechnológiai ágazatot a fejlett országokban jelentős mértékben támogatják. Például Németországban kedvező támogatást és kölcsönt adnak biotechnológiai központok kialakításához. A Bio-Regio programnak 635 millió DM a költségvetése. A BioFuture program keretében a következő öt esztendőben 150 millió DM-val fognak támogatni 50 kutatócsoportot. Ez csoportonként csaknem 400 millió forintos támogatásnak felel meg. Itthon a Biotechnológia 2000 program keretében hároméves projektek támogatására összesen 1,5 milliárd forintot szánnak, mégpedig öt terület (élelmiszer-biztonság, biomassza-hasznosítás, növényi technológia, biomedicina, biofarmakológia) között

egyenlően megosztva. Projektenként legalább 10 millió forintba lehet pályázni.

Schön István

Etikai irányelvek a géntechnológiában

A dán ipari és kereskedelmi minisztérium kiadványa, 2000. január

A kiadványnak, amelyet hazai és nemzetközi megvitatásra a dán ipari és kereskedelmi minisztérium (DIKM) bocsátott útjára, már a pontos címe is — A géntechnológiai választások etikai megalapozása — fontos információt hordoz. A kidolgozók arra keresik a választ, mit és hogyan választhatunk az új technológia alkalmazása során és milyen etikai korlátozásokat kell figyelembe venniük a kutatóknak, fejlesztőknek, gyártóknak, forgalmazóknak és alkalmazóknak egyaránt. *Pia Gjellerup* miniszter így indokolja, hogy a dán kormány miért tartja elsődlegesen fontosnak az etikai irányelvek megfogalmazását és betartatását: „Kényszerítő parancs, hogy az eddiginél sokkal nagyobb erőfeszítéseket tegyünk etikai megfontolások beépítésére a géntechnológiai alkalmazásokról szóló döntésekbe. Csak így érhetjük el, hogy kölcsönös megértés alakuljon ki az ipar és a fogyasztók között a tekintetben, mit is várunk ettől az új technikától.”

A DIKM 1997 őszén bizott meg egy Szakértői Bizottságot (amelynek tizenegy tagja között természet- és társadalomtudósok, egészségügyi szakemberek, filozófusok egyaránt megtalálhatók, elnökük a minisztérium közigazgatási államtitkára volt), hogy készítsenek elő egy vitaanyagot a kérdés átfogó megtárgyalására. A bizottság 1999 nyarára állt elő az anyagával, amit azután nagyon sokfelé elküldtek és megvittattak — a dán sajtóban éppúgy, mint az iskolákban. A kormány maga is részt vett a vitában, és a végleges anyagot mostanában terjesztik a parlament elé. De ennél tovább is léptek. Így ír erről az angol

nyelvű kiadványhoz mellékelt levelében a miniszter asszony: „Ez a vitaanyag izgalmas vitát gerjesztett Dániában. Reménykedem, hogy nemzetközi változata hasonló vitára ösztönöz majd Európában és globálisan a géntechnológia jövőbeli alkalmazásáról.”

A szép kivitelű és remekül megírt füzet két részből áll. Az első összefoglalja a szakértői bizottság megállapításait, a felvetődő kérdéseket és rájuk adható válaszokat a világnépszerűség ellátására az éhínség, az alultápláltság elleni küzdelemre a súlyos betegségek ígéretes gyógyítására vonatkozóan. A második rész első felében általában a biotechnológia és jelesül a géntechnológia etikai szempontjait veszik sorra, míg a második fele tartalmazza magát az ajánlást a géntechnológia fejlesztésének és alkalmazásának etikai irányelveire.

Kevés tudományos eredmény — és a belőle fakadó alkalmazások — hoztak felszínre olyan heves, érzelmeiktől fűtött vitát, mint a géntechnológiához fűződő munkák. Még talán a nukleáris technika sem gerjesztett ennyire heves ütközéseket, holott az atombomba és a csernobili tragédia éppen elegendő fájdalmat és ellenérzést keltett. A géntechnológia körüli éles — többnyire persze eltúlzott és szakértelem nélküli — ellenkezéseket azonban főleg az motiválja, hogy ennek a technikának a következményei közvetlenül az életet, az élő szervezetet és annak szaporodási mechanizmusát érintik. A dán szakértő bizottság szerint a lakosság magatartásában általában három elem, illetve ezek kombinálódása figyelhető meg a biotechnológia fejlesztéseivel és alkalmazásaival kapcsolatban:

- A szélesebb értelemben vett társadalomra — és nem csupán a gyártóra — gyakorolt hatás kérdése;

- Az a kérdés, hogy a társadalom különböző tényezői milyen *kockázatot* hajlandók elfogadni vagy éppen elvetni;

- Az a kérdés, hogy morálisan vagy *etikailag* mi *elfogadható*.

Figyelemre méltó, hogy a szerzők külön kitérnek arra, hogy ha az etikai megfontolások zárt elméletként fogalmazódnak meg, fennáll a fundamentalizmus vagy az abszolútizmus veszélye. Vagyis, hétköznapiabb formulával: az intolerancia kísértete és

annak a veszélye, hogy morális közelítéseket politikai fegyverként használjanak az ellentétes nézetek ellen. „Ebben az esetben az etikát nem arra használják, hogy erkölcsi tételeket vagy normákat fogalmazzanak meg a sérülékenyek védelmére, hanem hogy uralják és manipulálják a többsieket. ... egy ferde, romlott morál jön így létre, amely a hatalomnak, nem pedig a pótolhatatlan dolgok megvédésének eszköze” — mutatnak rá a dán szakértők.

Az etikai irányelvek kidolgozói rokonszenves munkamódszert használnak, amikor pro és kontra érvek sorbavételével adják közre ajánlásait. Szeretnék ezeket megfelelő módon illeszteni az emberek többsége által elfogadott általános etikához. Természetesen az irányelvek nem általános utasítások, amelyeket minden konkrét esetben (a tartós paradicsomnál éppúgy, mint például a humán terápiáknál) egységesen és egyértelműen lehetne alkalmazni. Ellenkezőleg, minden speciális esetben egyenként kell meghatározni, hogy melyik irányelvet lehet és kell használni. Nagyon fontos, hogy az alkalmazások figyelembe vegyék: akadhatnak esetleg egymással ütköző vagy éppen kölcsönös összefüggésben lévő irányelvek, tehát ne merev, hanem értelemeszerű közelítésekkel éljenek.

A dán szakértők öt fejezetbe sorolják a Parlament elé terjesztendő etikai irányelveket:

1. Általános irányelvek;
2. Emberi lényekre vonatkozó irányelvek;
3. Állatokra vonatkozó irányelvek;
4. Természeti és mezőgazdasági alkalmazásokra vonatkozó irányelvek;
5. A demokratikus vitára és döntéshozó eljárásokra vonatkozó irányelvek.

Az öt fejezet mindegyike részletes előírásokat és követelményeket fogalmaz meg. Alkalmassakat arra, hogy a társadalom ellenőrizni tudja a folyamatokat és hatásokat, a haszonban érdekelték pedig folyamatosan és kényszerűen szem előtt tartásuk az egyes emberek és a nagyobb csoportok (a társadalom) érdekeit és nézeteit. Adott esetben a bio-, illetve azon belül a géntechnológiában.

Szentgyörgyi Zsuzsa

A géntechnológia morális jelentése

A Commentary cikkírója, Leon R. Kass egyéni közelítésmódban tárgyalja a géntechnológia alkalmazási lehetőségeit. Következtetései sok tekintetben tükrözik azt a felfogásmódot és attitűdöt, amivel a géntechnológiával szembenállók kezelik a kérdést, de megszüveleendő gondolatokat is tartalmaznak.

Amikor kevesebb mint fél évszázaddal ezelőtt James D. Watson és Francis Crick először tárta föl a világ előtt a DNS szerkezetét, senki sem láthatta előre a géntechnológia rohamos fejlődését. Néhány éven belül viszont tanúi leszünk a Human Genome Project befejeződésének, amely feltárja előttünk mind a 100 000 emberi gén DNS szekvenciáját. És még a teljes genom ismerete nélkül is fellendülőben van a biotechnológiai üzletág: a Smith Kline Beecham kutatási igazgatója által készített jelentés szerint elegendő szekvencia-adat áll már rendelkezésre ahhoz, hogy kutatóit munkával lássa el az elkövetkező 20 évben. A korai diagnosztizálást lehetővé tévő screening-technikák, a tervezéssel előállított vakcinák, a rosszindulatú tumorok kezelése, vagy az immunválasz fokozása érdekében kidolgozott génsebészeti eljárások végül oda vezetnek majd, hogy hamarosan minden egyes betegség esetében pontosan kidolgozott génterápiás módszer áll az orvosok rendelkezésére. Röviden: beköszöntött a géntechnológia kora.

Ez a technológia hatalmas humanitárius vállalkozás részeként válik hétköznapivá. Célja a gyógyítás, az élet meghosszabbítása és az életminőség javítása. Mint ilyen, a gyógyítás hivatásában magas erkölcsi értékekkel párosul. Ki ne üdvözlőné a módszert, amely helyreigazítja a sarlósejtes vérszegénységet és a Huntington-kórt okozó genetikai hibákat, kijavítja a mellrákhoz vezető örökletes rendellenességeket, vagy megvéd az AIDS okozta immunégtelenséggel szemben?

A géntechnológia tekintélyes nyilvánosságnak örvend. Az új fejlesztésekkel kapcsolatban azonban még azok is ambivalens érzelmekkel viseltetnek, akiket egyébként

lenyűgöznek az utóbbi évtizedek döbbenetes eredményei. Miközben a géntechnológia az orvoslás hagyományos célkitűzésének folytatását jelenti, valami radikálisan újat és aggasztót is képvisel. A technológia rajongói gyakran türelmetlenek az aggályoskodó hangok hallatán és hajlamosak ezeket tudományos tudatlanságnak, vagy egyéb ódivatú erkölcsi és vallási eszméknek tulajdonítani.

A tudósok ezt a vitát a jótékony és el-sajátítandó tudás valamint a járatlan és gyanakvó szorongás közti ellentétnek fogják föl. Igenis helyes, ha a közvéleményben kétségek támadnak a géntechnológiát illetően, mert tudásunk sohasem lehet elegendő ahhoz, hogy a géntechnológia pártolói és az aggodalmaskodók között nevezőre jussanak.

Miben más a géntechnológia? Első pillantásra nem sok mindenben. A betegséget okozó hibás gén izolálása hasonló ahhoz a folyamathoz, amikor a betegséget okozó vírust izolálják; amikor a cukorbetegség egészséges géneket kapnak az inzulintermelés érdekében, akkor a beavatkozás célja ugyanaz, mint midőn injekció formájában jutnak inzulinhoz.

A géntechnológia azonban a nyilvánvaló hasonlóságok ellenére is döntően más. Térhódításával ugyanis felbukkan életünkben két olyan jelenség, amely ismeretlen a hétköznapi orvosi gyakorlatban. A gyógyszer csak élő egyéneket kezel, és csak kezeli őket az után kutatva, hogyan tűntethenél el a beteg és az átlagosnak tekinthető egészséges szervezet közti eltéréseket. A genetika tudománya ezzel szemben szándékosan idéz elő olyan változásokat, amelyek az egymást követő generációkra is átadódnak; sőt később, a jövőben a csírvonalat vagy az embriót érintő beavatkozás következtében módosulhatnak is. Másodsor, a genetika tudományával elérhető fajunk „feljavítása” is, úgy, hogy az emberi test korábban soha nem tapasztalt lehetőségeit teremti meg — génsebészettel módosítva tehát nemcsak örökre kigyógyulhatunk betegségeinkből, hanem szépek és fittek is lehetünk.

A csírvonalat génsebészeti kezelése és módosítása nem pusztán a még meg nem születettek, hanem a még meg sem termékenyítettek befolyásolását is jelenti. A

gyakorlatot számos érv indokolhatja, kezdve azzal, hogy a modern orvostudomány sikereinek szándékolatlan „génrontó” hatásait kijavítsuk. Hála az orvostudománynak, azok a személyek például, akik cukorbetegségben korábban meghaltak volna, ma elég sokáig élhetnek ahhoz, hogy átadják hibás génjeiket a következő generációnak. Miért ne fordítsuk vissza ezeket a nem kívánatos változásokat szándékos beavatkozás révén? — szól az egyik érv. Még általánosabban és gyakorlatiasabban: miért ne eszközölhetnénk génmódosítást a rendellenes spermiumban vagy petesejtben, esetleg a korai embriókban azért, hogy megelőzzük a betegségek kialakulását, amelyek máskülönben kiadásokat és terhes kezeléseket igényelnek. Miért nem tesznek meg mindent a szülők annak érdekében, hogy elkerüljék a fogvatékos gyermekek születését, vagy az esetleges szükségszerű művi vetélés traumáját?

Az egyes személyekről hamarosan mindent megtudhatunk génjeik bázisszortrendjének ismeretében; vajon alkalmasak lesznek-e ezek az eredmények a testmagasság, a memória, az intelligencia befolyásolására; vajon visszautasítjuk-e mi, előrelátó szülők azt a jogot, hogy kiterjesszük utódaink képességeit? Végül pedig, ha felfedezzük — ez elkerülhetetlenül megtörténik — azokat a géneket, amelyek biológiai óránkat irányítják, vajon ellenállunk-e a kísértésnek, hogy tiszavirág-életünket meghosszabítsuk?

Erre semmi esély. Így pedig paradoxonnal szembesülünk. Egyrészt a géntechnológia valóban más. Képes arra, hogy közvetlenül és szándékosan alapvető, örökletes tulajdonságaink biológiai gyökereinél fejtsse ki hatását. Az egészséget és az orvoslást tekintve a meglévő normák fölé helyezhet bennünket — talán még az emberi természet alapvető tulajdonságait is megváltoztatja. Másrészt viszont, pontosan nemes céljai miatt, ígéreteit visszautasíthatatlannak találjuk majd. Ez a paradoxon maga is nagyban hozzájárul a közvélemény nyugtalanságához. A géntechnológiában rejlő ellentmondásokat érezve azt is sejtjük, hogy nem áll módunkban világos határokat húzni használatában. A szellemet először ki kell ereszteni a palackból ahhoz, hogy parancsolhassunk neki; aztán

majd megy a saját feje után, akár tetszik nekünk, akár nem.

Mennyire jó nekünk, ha ismerjük saját génjeinket? A tudás elnyerése önmagában is jogos ok a szorongásra. Talán éppen legtöbbször szajkózott előnyei — az egyedek genetikai profiljának ismerete — miatt. A legmélyebbre vezető probléma saját genetikai „bűneink” és egészségtelen hajlamaink megismerésével kapcsolatban mégsem az önbizalom és a privátszféra fenyegetettség, sem a munkaadók, vagy a biztosítók részéről várható diszkrimináció a kockázata, holott ezek valós is problémák lehetnek. Sokkal inkább azok a különböző rizikók és deformációk, amelyek — ismerve jövőnk körtörténetét — életünkhöz kapcsolódnak majd. Esetenként valóban sokat ér majd az előzetes tudás, ám csak akkor, ha a kérdéses rendellenesség nem hat erőteljesen a személyiségre és kezelése könnyű. De vajon fogjuk-e és kell-e üdvözlölnünk azt a tudást, hogy génjeink Alzheimer-kórra, skizofréniára, vagy más, személyiségünket és viselkedésünket érintő rendellenességre hajlamosítanak, esetleg géneket hordozunk, amelyek nem tudni mikor, de valamikor biztosan kezelhetetlen betegséget eredményeznek? A többség számára nehezebb bölcsen élni úgy, hogy bizonytalan információk állnak rendelkezésükre például a többgénese jellegek esetében, vagy ahol az előrejelzések pusztán statisztikusak, világos célzás nélkül. Nemrégiben egy apa kezdeményezte, hogy tízéves lányán ovariektómiát és masztektómiát végezzenek; a kislány történetesen a mellrákért felelős BRCA-1 gén hordozója. Az eset drámaian mutatja a genetikai tudás mérgező hatását. Kevésbé drámai, de sokkal mélyebb az a probléma, amelyet *Hans Jonas* filozófus már 25 évvel ezelőtt felsejegetett: szerinte a hasonló tudás az emberi szabadságot és az élet spontaneitását fenyegeti. Az emberi klónozásról szóló vitában Jonas ékesszólóan érvelt a „tudatlansághoz való jog” mellett. A tudósok meg vannak róla győződve arról, hogy az örökletes hajlamokról alkotott ismereteik csak racionális, megelőző gyógyászat-hoz vezethetnek; Jonas tudatlanság-védelméje így a maradiság látszatát kelti. Jonasnak azonban igaza van. Noha emlékszünk rá, hogy Prométheusz, az emberba-

rát isten ajándékozta meg az emberiséget a tüzzel és a művészetekkel, gyakran elfelejtjük, hogy ő volt az is, aki a „vak reményeket” adott nekünk: pontosan azért, mert az ember saját jövőjének ismeretlensége, a tudatlanság nélkülözhetetlen az előrejutáshoz és a teljesítményhez.

Mi a helyzet a szabadsággal? Még azok is, akik egyébként kedvezően fogadják a genetikai ismeretek növekedését és a géntechnológia fejlődését, tartanak a genetikusok, géntechnológusok növekvő hatalmától — különösen a kormányzati döntéshozókétól. Ha ugyanis mégsem teljesül a végzetünk, bizalmunk megrendül azokban, akiknek a szakértő tudása legbelsőköt érinti.

C.S. Lewis, az angol humanista, ugyanezt a problémát fejtegeti *Az ember eltörlése* (1965) című munkájában: „A valóságban...ha bármely kor igazán eléri az eugenetika és tudományos oktatás révén azt a hatalmat, melynek segítségével utódait olyaná teheti, amilyenné akarja, mindenké, aki azután élni fog, betege lesz ennek a hatalomnak. Gyengébb lesz, nem erősebb: csodálatos szerkezetet adtunk kezükbe, de elrendeltük, hogyan kell használniuk...”

Az ember meghódítja a Természetet — néhány tudós tervező álmai valóra válnak — ez pedig néhány száz ember uralmát jelentheti millárdok fölött. A genetikusok abban megegyeznek, hogy a hatalommal való visszaélés, vagy annak téves felhasználása előfordulhat; ők azonban nem a baj okainak, hanem egyszerű szolgáltatóknak tekintik magukat. Ők pusztán a tudást adják, ebből aztán bárki szabadon választhat: javíthatja egészségét vagy szaporodási esélyeit. A genetikai hatalom — szerintük — így nem a szabadság korlátozását, hanem annak kiterjesztését szolgálja.

A meglévő gyakorlat alapján azonban már tudjuk: a genetikai screening és prenatális diagnosztika esetében ez az igény a legjobb esetben önbecsapás, a legrosszabb esetben pedig hazugság. A genetikai screening tárgyául szolgáló géneket nem a köz döntése, hanem a tudósok irányelvei alapján jelölik ki — és nem a szabadság, hanem az eugenetika jegyében. A prenatális diagnózist végzők gyakran nem végzik el a magzat vizsgálatát, ha az anya nem egyezik bele, hogy a fogyatékos

magzatot elhajtsák. Míg a lakosság kis hányada megfelelő felvilágosításban részesül, hogy később tudatosan és szabadon vegyen részt genetikai döntésekben, a legtöbben már most is a szakértők jóindulatú zsarnokságának tárgyai. Azonkívül, hogy a személyek befolyásolásának finom módjait a legtöbb szakember ismeri és alkalmazza, a gazdasági nyomás és a társadalombiztosítás mindenkori igényei mindig is korlátozni fogják a szabad választást. Az egyes betegségekre szóló biztosítás elutasítása végül kikényszeríti a genetikai abortálást vagy más beavatkozást. Központilag — államilag — elrendelt szűrés már előfordul a fenilketonuria és más betegségek esetében is, és a láthatáron további genetikai szűrőprogramok derengenek. Ha ezek egyszer valósággá válnak, a gazdasági kényszerek valószínűleg felülrekednek a reprodukciós szabadságon. Minden megváltozik, természetesen a gyermek jólétének érdekében. *Bentley Glass* genetikus az *American Association for the Advancement of Science*-hez címzett elnöki beszédében kijelentette, hogy minden gyermeknek joga van egészséges fizikai és lelki alkattal születni, ép genotípusra alapozva. A manapság egyre inkább valósággá váló mesterséges reprodukciós módokkal és a géntechnológiával kapcsolatban *Glass* kihirdette: „A jövőben egyetlen szülőnek sem lesz joga testi vagy érzelmi fogyatékos gyermekkel terhelni a társadalmat.” Hamarosan meglátjuk, milyen mértékben válnak valóra a hasonló profécíák.

Hogyan áll az emberi méltóság? Legmélyebb félelmeink sokkal inkább a méltósággal, mint a sokszor hangoztatott szabadsággal kapcsolatosak. A géntechnológia és összes hozadéka, valamint az élettudományok tanításai valójában erkölcsi szempontból közömbösek. De tekintet nélkül arra, hogy hogyan gyakoroljuk és tanítjuk majd a géntechnológiát, az saját morális jelentésével terhes: szükségszerű változásokat hoz majd magával életünkben, intézményeink működésében, normáinkban, hitünkben és önmagunkról alkotott ítéletünkben. A Genézis szerint Isten a teremtés során megnézte teremtményeit és megállapította, hogy jók: ép, befejezett, jól működő egészségek, az elhangozott ideának

megfelelően. Milyen irányelvek fogják vezetni a géntechnológusokat?

Egyelőre azt feltehetnénk: az egészség normája. Az egészség definíciója azonban már nem a régi. Egészséges vagy-e akkor, ha nem jelentkeznek rajtad a tünetek, de hordozod a Huntington-kór géneit, vagy azokat, amelyek idővel fogékonyvá tesznek cukorbetegségre, mellrákra, esetleg kerin-gési rendellenességekre? Mi történik, ha a genetikai jelek 40 százaléka az Alzheimer-kór jelenlétére utal? És mit jelent majd az „egészséges” vagy normális, akkor, ha hordozzuk az alkoholizmus, a drogfüggőség, a homoszexualitás vagy az agresszivitás géneit? Az egészség ideája fokozatosan válik fenségessé és bizonytalanlanná is: az addig mentálisnak vagy morálisnak tekintett problémák genetikai kezelése paradox módon maga után vonja az egészség fogalmának eltűnését. Amikor a „genetikai javítás” is a színpadra lép, az egészség, a jó külső vagy az edzettség jelentését sürgősen újra kell definiálni; ám erre is épp akkor lesz szükség, amikor a mintákkal és szabványokkal már nem tudunk mit kezdeni. A „javítás” a „fejlődés” enyhe eufemizmusa és a fejlődés eszményei szükségszerűen magukban foglalják a jót, a még jobbat és talán a legjobbat is. Ha pedig már nem lesznek előttünk minták — hiszen korábbi megváltoztathatatlan emberi természetünk már a múlt homályába vész — mit tekintünk majd jónak, vagy még jobbnak, és honnan tudja majd bárki is, miből áll a fejlődés?

Ma még sok géntechnológus tartózkodik a nagyszabású céloktól. Ők genetikusok és nem eugenetikusok. Nem távoli, pozitív eszmékért dolgoznak, hanem a rossz legyőzéséért: a betegség, fájdalom, szenvedés, a halál megszüntetéséért. De ne hagyjuk megtéveszteni magunkat! A rossz legyőzésének ugyanis kvázi-messianisztikus célja a fájdalom- és szenvedésmentes létezés, végső soron pedig a halhatatlanság. Csak az ilyen cél létezése igazolja, hogy félresöpörjék az orvostudomány könyörtelen előrenyomulásának ellenzőit. Csak az ilyen célok, „a betegség gyógyítása”, „a szenvedés mérséklése” vértetik föl őket a mindent ledöntő morális hatalommal.

Ugyanez az érv elkerülhetetlenül menti majd föl azokat, akik emberi embriókat kísérleti céllal hoznak létre; a halál fogalmát újrainva segítik a transzplantációt; emberi szerveket növesztenek állatokban, bioaktív anyagokat nyernek ki elhalt szövetekből, vagy gőnébeszeti és neurobiológiai módszerekkel egyszerűen újraprogramozzák az emberi testet és szellemet. Ki tudna hangot adni ellenvéleményének, ha mindezek segítségével valóban hosszabb ideig és kevesebb szenvedéssel élhetünk?

A géntechnológia zászlóvivői nem látják, hogy utópikus tervük nem szünteti meg a szenvedést, csak körbetolja azt. *Aldous Huxley* prófétikus művében, a Szép új világban világossá tette: a betegség, az agresszió, a fájdalom, a szorongás, a szenvedés és a szomorúság legyőzése után elkerülhetetlen a homogenizáció, és a középszerűség, a szerelem és vágyakozás nélküli lelkek születése, vagyis az általános leromlás.

Minden attól függ, hogy a technológiai fejlődés engedi-e öngyarápító határai kiterjesztését, hogy korlátozható-e és aláveti-e magát intellektuális, szellemi, erkölcsi és politikai szabályoknak. A hírek mind ez idáig nem túl biztatóak. A technológiák kinos etikai dilemmákat képviselnek, ám az alapvető tudományos eszmék etikánk alapjai veszélyeztetik.

Kovács Tibor

Az indiai Zöld Forradalomtól a virtuális akadémiáig

20. század legnagyobb tudományos teljesítményei között tartják számon az indiai mezőgazdaságot a hatvanas években gyökeresen átalakító „Zöld Forradalmat”, amelynek szellemi központja Monkombu S. Swaminathan professzor intézete volt, a dél-indiai Madrasban. A génkutatások eredményeit a gyakorlatba átültető nagyszabású kísérlet nyomán az élelmiszerimportra szoruló, legyengült gyarmati ország néhány év leforgása alatt a világ második

legnagyobb búzatermelőjévé vált. Swaminathan professzor azóta rangos elismerések sokaságát kapta meg, legutóbb tavaly novemberben az UNESCO Gandhi Aranyérmével, előtte pedig a Volvo 1999-es környezetvédelmi díjával tüntették ki. A tudós azonban nem pihen a babérjain. A nevét viselő intézet Tudás Rendszer néven egy olyan virtuális akadémia létrehozásán fáradozik, amely közvetlen kapcsolatot teremt a társadalom legszélesebb rétegei és a tudományos központok között. Bruce Alberts, az Egyesült Államok Tudományos Akadémiájának elnöke szerint az új információs technológia felhasználásának olyan csodálatos példájáról van szó, amelyet az egész világon célszerű lenne elterjeszteni.

Swaminathan professzort a Time magazin tavaly augusztusban Mahatma Gandhi és Rabindranath Tagore mellett a 20. század három legkiemelkedőbb indiai, s húsz legbefolyásosabb ázsiai személyisége közé sorolta.

Az alábbiakban a professzorról készülő dokumentumregény anyagából közül részleteket a szerző.

— Apám orvos volt, sebész. Tízéves voltam, amikor meghalt. Anyám félig írástudatlan volt. Amikor az egyetemre kerültem, kitört a második világháború. F fiatal voltam, és harcolni akartam a gyarmatosító uralom ellen. Ebben az időszakban, 1942 és 1943 között nagyon nagy éhezés pusztított az országunkban: a bengáli éhínség. Bárki fellapozza a korabeli újságokat, láthatja a képeket és a tudósításokat: emberek haldokolnak Kalkutta utcáin. Édesanyám mindig azt mondta: apád nyomdokait kell követned, neked is orvosnak kell lenned — és igaza volt, ez volt az én vágyam is. De amikor láttam a képeket a haldokló emberekről, feltettem magamnak a kérdést: ha az országunk felszabadul a brit gyarmati uralom alól, milyen képzettségemnek venné legnagyobb hasznát a nemzet? A válaszom az volt, hogy a mezőgazdaságinak, hiszen az étel és az ételmezés valóban életbevágó probléma. Elkezdtem a mezőgazdasági akadémiát, és ahogy a feleségem mindig mondja, „csólátásúvá” váltam, mert azóta is állandóan az ételmezésre gondolok: hogyan lehetne segíteni a



szegényeken. Ez lett a rögeszmém. — emlékezik a professzor.

A fiatal pályakezdő tudós 1949-ben Hollandiába utazott ösztöndíjjal, ahol a burgonyatermesztés kérdéseit tanulmányozta. Majd Cambridge-ben genetikából szerzett doktorátust. Röviddel ez után meghívták az Egyesült Államokba, hogy alapítsa meg a burgonyakutatás központját. 1954-ben visszatért Indiába, s a rizs és a búzatermesztés optimális feltételrendszerének kialakításán kezdett dolgozni.

— Ebből lett később a Zöld Forradalom. Az volt a célom, hogy megváltoztassam India mezőgazdaságának az arculatát, hogy egy élelmiszerimportra szoruló országból legalábbis önellátó országot teremtsünk — teszi hozzá az indiai tudós.

Ez olyan mértékben sikerült, hogy India ma a világ második búzatermelő országa. Tegyük hozzá — és ez semmit nem von le a hatvanas években végrehajtott hatalmas átalakulás értékéből, éppen ellenkezőleg, a természetes folytonosságra utal —, az indiaiak mindezt rendkívül nagy mezőgazdasági hagyományokra építve teremtették meg. Hiszen a búzatermesztés több mint 4000 évvel ezelőtt kezdődött az indiai szubkontinensen. A mohenjodarói ásatásokon olyan búzamazvakat találtak, amelyek időszámításunk előtt 2000-ből származnak. Egészen 1947 augusztusáig, amikor a brit gyarmati uralom véget ért, az indiai parasztok évi 7 millió tonnás kapacitást értek el. 1964 és 1968 között, ami-

kor a Norin 10 gént tartalmazó fél-törpe fajtákat Swaminathan kezdeményezésére bevezették az öntözött területeken, a búzatermelés évi 10 millió tonnáról 17 millió tonnára növekedett. Más szóval 4 év leforgása alatt megismételték 4000 év fejlődését.

Indira Gandhi 1968-ban elhelyezett a Swaminathan Intézet könyvtárában egy búzaszárat, amely a „Búza Forradalma” nevet kapta, s a tudomány hatalmát jelképezi a mezőgazdaságban. Két évvel később Norman E. Borlaugh amerikai tudós, aki az „áttöréshez” alkalmazott fél-törpe fajtákat kifejlesztette az Egyesült Államokban, megkapta a Nobel-díjat az indiai Zöld Forradalomban való közreműködéséért.

1998–99-ben a búzatermelés elérte a 70 millió tonnát Indiában, ez tízszeres növekedést jelent 50 év alatt. Hasonló folyamat következett be a technológia alkalmazásának köszönhetően a rizs, a kukorica, a szójabab, a burgonya és számos más növény termesztésében, valamint sok fejlődő ország állattenyésztésében is szerte a világon.

Swaminathan szerint elérhető közel-ségbe került egy olyan világ, amelyben nem lesz többé éhezés. Ám ez csak akkor lehetséges, ha minden nemzet figyelmet fordít arra, hogy az élelmezés javítása a termelés ökológiailag fenntartható módszereivel menjen végbe.

Biztosítani kell továbbá a táplálék biológiai felszívódását a szervezetben, s ehhez hozzátartozik a biztonságos ivóvízellátás és a környezeti higiénia. Csökken az egy főre jutó ivóvízellátás: 30 százalékkal alacsonyabb, mint 25 évvel ezelőtt volt. A világ népességének 42 százaléka 2050-ig olyan országokban él majd, ahol nem lesz elegendő ivóvízkészlet. A fertőzött víz okozta betegségek ma a fejlődő országokban az összes betegség 10 százalékát teszik ki.

— Több, mint egymilliárd embertársunk kimaradt az egészségügy forradalmából. Hazámban, Indiában olyan betegségek, mint a malária vagy a tüdővész sajnos újból komoly problémát jelentenek — mondja a professzor.

A szegénység elleni megfelelő stratégia kidolgozásához mindenekelőtt meg kell érteni, honnan ered maga a jelenség. Az in-

diái professzor az összehasonlító gazdaságtörténet egyik fontos kiindulópontjának tekinti a fejlett és a fejlődő országok reáljövedelmei közötti szakadékat. David Landesre hivatkozik, aki harminc évvel ezelőtt kimutatta, hogy Nyugat-Európa már az ipari forradalom előtt gazdag volt, a technikai haladásnak köszönhetően. Nemcsak az anyagi javak termelésében, hanem azok cseréjének, elosztásának szervezeti és pénzügyi hátterét tekintve is. Az Európán kívüli nyersanyagforrás és munkaerő kisorszátása tovább növelte Nyugat-Európa gazdagságát. Európa ipari forradalma szélesebb szakadékokhoz vezetett az ipari és a fejlődő nemzetek között, ahogy arra más kutatók is rámutattak. Az átmenet a technika és az ipar korszakába egyúttal egy olyan világba való átmenetet is jelzett, ahol a gazdasági egyenlőtlenségek növekednek. „Ma a fejlődő országok további hátrányokkal néznek szembe, ideértve a súlyos adósságot és az adósságszolgálat terheit, valamint a tisztességtelen kereskedelmi rendszert, amelyben a kereskedés szabadabbá válik ugyan, csak éppen tisztességessé nem!” — véli Swaminathan.

Az ember szellemi képessége azonban nem feltétlenül függvénye a technológiai fejlettségnek. Éppen ezért bizik a professzor egy olyan dinamikus program eredményességében, amely a szegények technológiai felzárkóztatását célozza. Jared Diamond „Fegyverek, baktériumok, acél: az emberi társadalmak végzete” című 1997-ben megjelent Pulitzer-díjas munkáját idézi, amelyben a szerző azt bizonyítja, hogy azok a népek, amelyek a legutóbbi időkig technikailag primitívek voltak, mint például az ausztrál őslakosok, gyorsan és tökéletesen elsajátították a technológiai ismereteket, ha lehetőséget kaptak rá. „De a saját országomból, Indiából is mondhatok példát” — folytatja a gondolatmenetet Swaminathan — „Pandzsábból és Harijánából, ahol írni-olvasni alig tudó parasztok nagyon gyorsan képesek elsajátítani a gépipari technológiát. Ezért a szegénység felszámolása érdekében az olyan nemzetközi szervezeteknek, mint az UNESCO vagy az ICSU, ki kellene dolgozniuk egy cselekvési programot a technológia mobilizálására, a képzésre, a műszaki infrastruktúrára és a

kereskedelemre. A gazdaságpolitikát úgy kellene alakítani, hogy az erősítse, ne pedig alámassza a szegénységben élő emberek biztonságos megélhetését. A fejlődő országoknak import- és exportpolitikájukat a megélhetés kérdéseire összpontosító elemzésekre kellene alapozniuk.”

Swaminathan szerint a jóléti társadalmaknak sürgősen cselekedniük kell. Meg kell tenniük azt, amit eddig nem tettek meg: be kell fogadni a kirekesztetteket, olyan módon, hogy mindez fontos alkotó-eleme legyen az új század tudománypolitikájának és stratégiájának. Így az a hatalmas tudományos-technológiai tudás és innováció, amellyel belépünk a következő századba, valóban áldás lehetne az egész emberiség számára — véli a professzor.

Kérdés azonban, hogyan minősíthetjük az előttünk álló korszakot a „tudás évszázadának” akkor, amikor a tudás alapjául szolgáló informatikai rendszerekhez a világ lakosságának csak egy — az arányok alapján okkal használható a kifejezés — kiváltságos töredéke férhet hozzá. Az In-

ternet-előfizetők 97 százaléka a fejlett országokban található, ott, ahol a világ népességének mindössze 16 százaléka él. Indokolt tehát az a félelem, hogy az úgynevezett „tudás-korszak” az eddiginél is nagyobb egyenlőtlenségek forrása lehet. Swaminathan így vélekedik erről: „Nagyon szerencsések vagyunk, hogy búcsút mondhatunk a 20. századnak. Bálványozzuk és ünnepeljük a műszaki teljesítményeinket. Ünnepeljük a három nagy társadalmi forradalmat, a demokrácia forradalmát, a demokratikus rendszerek és kormányok létrejöttét és a borszínen alapuló apartheid felszámolását. Ezek kétségtelenül nagyon szép társadalmi teljesítmények. Másrészről azonban gazdasági, műszaki és tudás-apartheiddel lépünk be az új évszázadba. A szellemi tulajdonjog révén a szabadalmazott tudományok gyors terjeszkedése oda vezet, hogy az „árvák árvák maradnak”, s nem választhatják meg azokat a kutatási területeket, amelyek valójában érdekelnék őket.

Erdélyi András

Beérkezett könyvek

TÉR — GAZDASÁG — TÁRSADALOM. Huszonkét tanulmány Berényi Istvánnak. Szerkesztette: *Dövényi Zoltán*. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 1996. 392 o.

A Berényi István 60. születésnapjára készült kötet — a fejezetek sorrendjében — városföldrajzi, regionális problémákat tárgyaló tanulmányokat, a rendszerválto-

zások következményeit elemző, Közép-Európát középpontba helyező, illetve történeti aspektusú dolgozatokat tartalmaz. A témák Budapest társadalmi térszerkezetének átalakulásától az 1991-es jugoszláv válságon, a külföldi működőtőke-befektetés hazai regionális fejlődésre gyakorolt hatásán és Közép-Európa kohéziós földrajzi erővonalain át az Alföld modernizációjának kezdeteiig terjednek.

A 175 éves Akadémia megidézése lapelődünk,
az Akadémiai Értesítő egykori közleményeiből.

Bálint Gábor keleti utazó tudósításai*

Szentkatolnai Bálint Gábor (1844. Kézdivásárhely — 1913. Temesvár) egészen kivételes nyelvtelenség volt, aki azért, hogy a keleti nyelveknek és kultúráknak szentelhesse egész életét, félbehagyta a Bécsben és Budapesten végzett jogi tanulmányait. A kor nagyhirű tudósaitól (Budenz József és Vámbéri Ármin) tanult, s ekkor kezdett el foglalkozni a mongol nyelvvel is.

Életútja szempontjából meghatározó az 1869—1873 közötti kutatóútja. Útjának első állomása Szentpétervár, ahol mongolisztikai tanulmányokat folytat és foglalkozik a mandzsutunguz, valamint a finn-ugor nyelvekkel is. 1871-től végez terepmunkát, hogy csak a nagyobb szabású gyűjtéseit említsük, a kazáni tatárok, az astrakáni kalmükök, a mongóliai halhák között. 1877-ben csatlakozik az Ázsia-kutató Széchenyi-expedícióhoz, de betegsége miatt haza kell térnie. 1879-ben munkát keresve, szinte kalandorként bejárja Dél-Európát és a Közel-Keletet, ahol a nyelvtanítástól az adószedésig különböző munkákat vállal. 1891-ben tér haza Magyarországra, és 1897-ben kinevezik a kolozsvári egyetem professzorává, ahol haláláig működik.

Az ellentmondásos pályafutású, kiváló képességű kutató, akinek tudósi megítélése, szélsőséges nyelvhasonlítási elméletei miatt időnként vitákat kavart, mongol és török nyelvi gyűjtéseivel és feldolgozásaival (nyelvtanok, szótárak) nemzetközileg is egyedülálló adatbázist hozott létre, melynek tetemes része még kiadatlan.

Birtalan Ágnes

Fogarasi János r. tag fölolvassa Bálinth Gábor keleti utazó tudósításait, s köztök egy nyelvészeti értekezését, mely a következő két kérdést fejtegeti: Mi a magyar birtokos eseti é s vele összefüggőleg az *enyém, tiéd, övé*, stb? Mi okozza a hangzóval hosszabbodást a jelentő mód félmúlt idejében, vagyis a magyar félmúlt idő.

A tudósítások itt következnek: az elsőt Fogarasi János r. taghoz intézte, a másodikat az Akadémiához.

Méltóságos Úr!

A postabélyegről itélve aug. 21. kelt igen becses levelet Kazánba érkezése után csak harmadnapra azaz sept. 1. vettem kezemhez azon körülménynél fogva, hogy én hetenként

*Jubileumi rovatunkban az írásokat az eredeti írásmóddal közöljük.

kétszer szoktam városon kívüli lakásomról a városba rándulni, megnézendő, ha nincs e nekem szóló levél a postán. Becses sorait kétszer is átolvastam s észrevételeit és figyelemzetéseit igen helyeseknek találtam, s ezért sietek is válaszolni és kiegészíteni első levelem hiányos pontjait.

Nekem elhatározott szándékom itt létem alatt semmit sem írni a lapok számára az itteni népek élete s viszonyairól; hogy miért? nekem arra elég okom van. Ha valamit írok, amit nyilvánosságra akarok hozni, azt a nyelvészeti osztály számára írom, s mindig Méltóságodhoz fogom küldeni megbirálás végett, ha érdemes-e vagy sem az Akadémiával közölni? Jelenleg is ezt teszem, válaszom mellé csatolván egy rövid nyelvészeti értekezést és az eddigi működésemről szóló jelentést.

Hogy a kholera itten dühöng, én azon egy cseppet sem csodálkozom, sőt azon kellene csodálkoznom, ha nem dühöngne ilyen életmód mellett, a milyent itt tapasztalhatni. Én a lehetőleg visszavonulva s az otthonihoz képest igen szűken élek, de azért nem cserélnék igen sok gazdag ebédjével. Napjában egyszer eszem s akkor is csak levest és sült húst. Ez a kétféle többé kerül itt, mint Pesten talán négyféle. De mit csináljak, teljesen ehetetlen rám nézve a közönséges étel.

Én egy gazdag orosz kereskedőnének kerti házában lakom s fogok lakni míg itt leszek. A városban nem találtam lakást szerencsémre s így a városon kívül a votják mezőre szorultam, a hol csupán egy sor ház van kertekkel együtt; a keresztyén tatárok központi iskolája tölem harmadik épület. A házi asszony udvarnokja is tatár lévén, két hónap alatt jobban megtanultam tatárlul, mint oroszul.

Az egész Kazánban ismeretségem terjed Ilminski tatár iskola felügyelő, Zolotinski csuvas iskola felügyelő, Gottwald egyetemi könyvtárnok, Mirovtvorczof mongol kalmik nyelvtanár és Timotheef Bäske (Vaszil) tatár pap családjával, ezenkívül egy cseremis és egy csuvas falusi tanítóval. A tatár iskolában minden nap megfordulok beszélgetendő a tatár fiúk és lányokkal, azon kívül az oda szálló falusi tatárokkal. Minden lépten nyomon buzdítom őket, hogy tanuljanak és iparkodjanak; ha szegények is, mégis valamennyire haladhatnak a műveltségben. Több tatárral beszéltem, a kik voltak 49-ben nálunk, ismerik Miskolcz, Debreczen, Pest, szóval a legmagyarabb városokat.

Két ízben volt itt létem alatt égés s mindig a tatár városrészben. És most áttérek az első levelemben csak röviden érintett és Méltóságod által igen jól jelzett pontok bővebb kiegészítésére.

A társalgási nyelv rám nézve kezdetben az orosz volt, tatár és orosz irányában egyaránt; az oroszoknál az a jó szokás van, hogy mindenki oroszul beszél s minden orosz, legalább orosz helyen van rajta. Azon állítás, hogy itt angol, francia és német nyelv egyaránt otthonos volna, teljesen nem igaz, orosz itt minden. Jelenleg az oroszszal oroszul társalgok, habár még most is csak hibásan, a tatárral és kérésénnel tatárlul. Hogy miért mondtam tatár és kérésénnel, röviden okadatolom.

Tatár, itteni néven *bolgár*, minden tatárlul beszélő muszulmán, *kérésén* a megkeresztelt *bolgár*. A muszulmán tatár úgy látszik előttem, hogy az egykori *Bolgárország* emlékét őrizte meg, azonban ezt csak az előbbkelőről mondhatni, a bolgár nyelvet pedig a kérésének tartották meg tisztábban, habár ez utóbbiak 1552. óta 1866-ig semmiféle könyvvel sem rendelkeztek saját nyelvükön. 1552-ben foglalta el Vaszilyevics János czár Kazánt s ugyanazon időtájt küldetett Kazánba s vidékére három férfiú névszerint sz. Gurij, sz. Varszonofij és sz. Herman az igaz szláv vallást hirdető az ottani különféle népek- s különösen a tatároknak. Működésüknek az az eredménye lett, hogy a tatárok közül többen megkeresztelkedtek s ezek oroszul krescsonij tatarin nevet nyertek, miből maguk ezen keresztyén tatárok nemzetiségét nevet csináltak, hogy megkülönböztessék magukat névszerént is a muszulmán tatároktól. Azért a keresztyén tatár csak magát nevezi *kérésénnel*, a többi népeket *csukingan kalik*, keresztelt nép, vagy *csukinmagan kalik* kereszteltelen nép: p. o. önmagukról így szólnak: *bész kérésénnär*, a keresztyén csuvasról pedig így: *csukingan-csuvas* stb. Ezen kérésének száma a kazáni és szomszédos egyházmegyében statisztikai kimutatás szerént 60 ezer körül van. Mint mondtam, ezen nép 300 évig minden

könyv és iskola nélkül élt, templomában egy tatár szót sem hallott s mégis jobban tudja nyelvét, mint a muszalmán. 1866. körül jött Ilminski s Timotheef lelkész azon gondolatra, jó volna valami módon valamit írni a kérésének számára. De hol a betű? az arab betűvel a tatár nyelvet nem írhatni tisztán és könnyen. Timotheef mint tatár oda nyilatkozott, hogy ő orosz betűvel már tett kísérletet a tatár vagy kérésén nyelv átírására. Ennek következtében csakugyan nyomtattak orosz betűvel egy két, egészen népnyelven irt, könyvecskét. Kezdetben az írás nagyon ingadozó és bizonytalan volt, de a harmadik nyomtatásnál már határozottabb alakot nyert s jelenleg már eléggé tiszta és határozott az írás. A kazáni egyházmegyében van eddigelé összesen 40 falusi iskola s évenként szaporodik, mert a kazáni tanító képezdeből minden évben kerül ki egynehány fiatal néptanító, kinek tudománya abból áll, hogy tud tatárul és oroszul írni, olvasni és egy keveset számol, valamint a földrajzból, aztán számhangjegy szerint énekelni. Számhangjegy annyit jelent, mint a közönséges kóta vagy hangjegy helyett arab számjegyeket írnak az ének egyes szótagjai fölé, mely számok teljesen a hangjegyeket pótolják, s amint láttam, ezek a kis tatár fiúk is oly könnyen fölraják az ének fölé, melyet már tudnak, a számhangjegyeket, mintha zeneszerzők volnának.

A tatár pappal tartott nyelvészeti értekezés mindjárt kezdetben, a magyar és tatár szórend körül forgott; az eredmény az, ami nálunk, hogy az ige előtt áll a tatárban is a hangsúlyos szó, a mit majd lesz alkalom meglátni az általam gyűjtött népirodalmi termékekben.

Egynehány tatár faluban voltam már megnézni a tatár életnódot, nagyon szegényes biz a; no de erről majd.

Bolgáriiban a hajdani Bolgárország fővárosának romjait megnézni még eddig nem voltam pénzkimélés tekintetéből; különben van itt egy németszületésű orosz ezredes, (név szerint Rittig) által orosz nyelven irt, sok fáradtság és költségbe került mű, mely csak a mult évben jelent meg, s mely a kazáni kormányzóság különféle népeivel foglalkozik; ezen műben a többi közt a mondott város romjai is lefényképezvék. Ha később érkezésem leend, ezen egész művet fordításban szándékom megismertetni hazánkkal. A miveltebb tatár, ki a bolgár névre büszke, e romoknál, mint hajdani országuk egyik maradványánál, rendesen námáz-imát szokott elvégezni.

Végre egyet szeretnék a magyar nemzettel tudatni, azt t. i. hogy sokkal kívánatosabb volna ránk nézve minden tekintetben, a stipendiumokat nem az arab, perzsa s görög nyelvet tanuló ifjaknak, hanem annak adni, a ki a minket sokkal inkább érdeklő sinai nyelv megtanulására s eshetőleg egy sinai utra elhatározná magát, mert nagyon valószínű, hogy a roppant nagy birodalomban igen sokféle nép írja saját nyelvét sinai jegyekkel s így sinainak tartják őket, holott más fajuk. Én ki annyi időt töltöttem el jogi tárgyak s mindenféle nyelvek tanulásában, nem tehetem, hogy a legkevesebb négy évet igénylő sinai nyelv tanulásához fogjak: a nyelveket, miket tudok, szép csendesen elfeledném akkorra, amidőn a sinaival készen lennék.

Ha valamit ezen igénytelen soraimból az Akadémiával közölni méltóztatik, én nem bánom, egészen rendelkezésére állok.

Kazán, 1871. szeptember 2-án.

hálaköteles kész szolgálja.
Bálinth Gábor.

Jelentés az Akadémiához.

Alulirt 1871. június 17-én érkeztem Kazán városába, s csakhamar tudtomra esett, hogy a mongol kalmik s a többi keleti nyelvek tanszéke az itteni egyetemről a keleti könyvtárral együtt Sz. Pétervárra tétetett át s hogy jelenleg említett városban csak árnya maradt az előbbi hires keleti nyelvészetnek. Ezen szomorú tudomáshoz járult egy második, az t. i. hogy a magába Mongoliába való menetel jelen viszonyok közt veszélylyel van

összekötve az ottani nyugtalanságok miatt, mely akadályon kívül ott van a pénzkérdés is, mert az itteni tanárok mondása szerint, az ezen utra szánt összeg igen édes kevés, mint mondja a székely. Ehhez járult továbbá annak hallata, minő eszközök állottak Schmidt, Kovalevsky stb. mongolistának rendelkezésére, hogyan voltak képesek annyit tenni a mongol nyelv terén, mennyit mi soha nem tehetünk. Ily hallomásokra én megérkeztem után csakhamar tervet készítettem magamnak amint következik:

Kazánban maradni addig, míg a tatár-bolgár népyelvet megtanulom s annyi anyagot gyűjthetek, amennyi ezen nyelv grammatikájának kidolgozására szükséges;

ezt végezve Astrachan vidékére menni az ottani mongolok s kalmikok nyelvét megtanulandó s nyelvanyagot gyűjtendő, annival is inkább, mert a lelkész akadémiai mongolkalmik nyelv tanára Mirotvorczof úr állítása s Bobrownikof nyelvtana szerint is a mongol és kalmik beszélgetési nyelv egy és ugyanaz; a kalmik úgy ír amint beszél a mongol, ez pedig úgy ír, mint századokkal ezelőtt;

Astrachanból a népirodalmi termékek összegyűjtése után Sz.-Pétervárra menni, ott a mongol irodalom termékeit tanulmányozandó s egyszersmind bevárando, ha lehet, a mongoliai út előtt álló akadályok megszüntét. Én kockáztatni semmit sem akarok. Ezen terv szerint járva 1 harmadfél hónapi Kazánba lételem alatt magamévá tettem a kalmik népyelvet annyira, hogy rajta beszélek és irok; gyűjtöttem egy kis Chrestomathiára való anyagot, mely áll tulajdon hallomásom után följegyzett szók, népmesék, népdalok és talányokból, a lehető tiszta népyelven.

A Budenz ur által kidolgozott čuvaš és čeremiš nyelvtanokat született čuvaš és čeremišsel keresztül néztem, az első elég jó; a másodikban az a hiba, hogy a két nyelvjárás össze van vegyítve. A čuvaš és čeremiš nyelven létező orosz fordításokat megszereztem. A čuvaš, čeremiš és kérésén (orosz-keresztvény) vallásu tatárokkal megismerttettem, mit tesz ősei nyelvét elfeledni s az észet nem művelni. Buzdítottam s buzditom folyvást a népmesék és dalok összegyűjtésére. Fájdalom, kevés az iskola, a čeremišeknél plane teljesen hiányzik, de ha van is, mit ér ha a pópa ott van? Most jelenleg az urtmort (ar tatáru, votják oroszul) nyelvével foglalkozom; hisz amint gyanitom, ezen nyelvet csak az orosz evangélium fordítás után ismerik; ezek pedig irgalmatlanul roszak. Ha a keresztvényiség fölvetésekor a mi nyelvünkkel is így bántak, akkor csodálkoznunk kell, hogy nyelvünkben a turánságból megmaradt valami. Kazánból, minthogy ezen város az én erszényemhez képest igen drága lenne télre, september hó végével indulok Astrachanba, föltéve, hogy az évi összeg második felét az ígélet szerint megkapom.

Kazán, 1871. september 2-án.

Bálinth Gábor.

Bolvári-Takács Gábor

Pataki tudósok az Akadémián

A Magyar Tudományos Akadémia és a Sárospataki Református Kollégium szellemi kapcsolatai

Az 1531-ben alapított Sárospataki Református Kollégium fennállásának több mint ötödfélszáz éve alatt államférfiak, tudósok, irodalmárok sorát adta a magyar kultúrának. A legkiválóbb személyiségek munkásságuk javát jórészt a Magyar Tudományos Akadémia tagjaként fejtették ki. Hazai tudományunk fellegvárának közelgő 175. alapítási évfordulója alkalmat kínál ahhoz, hogy megvizsgáljuk e két eltérő funkciójú, de a maga nemében nemzeti jelentőségű intézmény szellemi kapcsolatainak történetét. Először az Akadémia létrehozásának néhány sárospataki vonatkozású adatát tekintjük át. Ezt követően szemügyre vesszük azokat az akadémikusokat, akik diákként a pataki iskolában kaptak szellemi útravalót. Végül a pataki kollégiumi képzés sajátosságairól szólunk, azzal a céllal, hogy összefüggéseket keressünk az oktatás színvonala és a későbbi akadémiai tagválasztások sikerei között. Kitérünk arra a sajátos, jövőt építő visszacsatolásra is, amely a pataki kollégium tanári karánál érvényesült. Sárospatakon ugyanis számos olyan akadémikus tanított, akik korábban ugyanitt diákok voltak, s közülük nem egy aktív pataki tanárként lett MTA-tag.

A 'Magyar Tudós Társaság' megalapításának sárospataki vonatkozásai

A Sárospataki Református Kollégium szellemi hatása már a Magyar Tudományos Akadémia megalapításánál kimutatható. Bár vitathatatlan, hogy a kezdeményezés és a legnagyobb összegű felajánlás gróf Széchenyi István nevéhez fűződik, 1825. november 3-án, az Országgyűlés kerületi ülésén, Széchenyihez további három követ csatlakozott: gróf Andrássy György, gróf Károlyi György, valamint a később grófi rangot kapott Vay Ábrahám Borsod megyei alispán. A 36 éves Vay a család református ágának jeles személyisége volt, aki a magyar művelődésügy szolgálatának szükségességét Patakon végzett tanulmányai során tudatosította magában.

A Magyar Tudós Társaság megszervezésének felügyeletére 1827. november 30-án a nádor választmányt nevezett ki, amely egy elnökből, a négy alapítóból, valamint huszonkét tudósból állt. A testület elnöke gróf Teleki József, a királyi tábla bírása, a Sárospataki Református Kollégium főgondnoka lett. Telekit 1824-ben választották meg főgondnokká, s

e tisztét — későbbi akadémiai elnöksége mellett — több mint két évtizeden át, 1847-ig megtartotta. Bár diákélmények nem kötődtek Sárospatakhoz, tevékenységét nagy odafigyeléssel végezte. Nevéhez fűződik a 'Nagy Collégium' épületének, különösen könyvtármének befejezése, amelyet nemcsak felügyelt, de saját vagyonából támogatott is. Nemeslelkűségére jellemző, hogy vállalta az 1831-ben elhunyt *Kazinczy Ferenc fiának, Lajosnak*, a szabadságharc későbbi ezredesének a taníttatását.

A választmány tagjai között pataki tanárt is találunk. *Kövy Sándornak*, a sárospataki jogakadémia alapító professzorának neve ekkor már több mint három évtizede fémjelezte a hazai jogászképzést, s keze alól később országos hírnévre szert tett tanítványok kerültek ki. Kövy 1829. július 24-én bekövetkezett haláláig vett részt a választmány munkájában. A testületben — amely az Akadémia 1830. november 17-én történt megalakulásáig működött — két volt pataki diák kapott helyet, *Kazinczy Ferenc* és *Szemere Pál*, a kor irodalmi életének kiemelkedő személyiségei. Munkásságuk ismertetésére e helyütt szükségtelen kitérni, hiszen a magyar nyelv- és irodalomtörténet, a nemzeti kultúra és a magyar nyelv védelme és erősítése érdekében végzett tevékenységüket méltóképpen számon tartja.

Sárospataki diákok az Akadémián

Az Akadémia első elnökévé gróf Teleki Józsefet választották. Gróf Széchenyi István másodelnök, gróf Vay Ábrahám igazgató tag lett. Az 1830—1848 közötti évek az intézmény gyors fejlődését eredményezték. A nemzeti megújulás lázában égő magyar társadalom különösen igényelte a legkiválóbb elmék együttműködését, s a köztestület ezt felismerve gyarapította tagjainak létszámát. Az 1830-ban megválasztott 22 rendes tag mellé a következő évben választottak először tiszteleti és levelező tagokat. E három kategóriában az összlétszám évente meredeken emelkedett: 1831-ben 59, 1833-ban 94, 1835-ben 125 fő; majd 1840-től 160 fő körül állapodott meg.

Az első rendes tagok közé két pataki diák került be: *Balásházy János* és *Kazinczy Ferenc*. A későbbi tagválasztásokon a sárospataki kollégium egykori diákjai igen eredményesen szerepeltek. 1831—32-ben nyolc, 1834—40 között további hét ilyen személyt találunk. Az Akadémia összlétszáma szempontjából a pataki iskola szellemi befolyása a legszembe-tűnőbben 1841-ben nyilvánult meg, ebben az évben ugyanis a rendes tagok 16%-a (38-ból 6 fő), a levelező tagok 7,2%-a (97-ből 7 fő) volt pataki diák, s volt egy tiszteleti tag is. Hozzá tartozik azonban ehhez, hogy 1839-re már két rendes és egy levelező tag pataki diák halottja is volt az Akadémiának.

A tudományági megoszlást vizsgálva elmondható, hogy az említett hat rendes tag közül *Almási Balogh Pál* orvos (Kossuth és Széchenyi háziorvosa); *Balásházy János* mezőgazdasági szakíró, az agrártudományok egyik hazai úttörője; *Fogarasi János* jogász, majd nyelvész és szótárszerkesztő; *Jászay Pál* jogász, majd történetíró; *Szemere Pál* író, esztéta; gróf *Teleki László* jogász, drámaíró, majd politikus volt. Az elhunytak: *Kazinczy Ferenc* író, nyelvújító és *Nyiry István* matematikus, filozófus. A levelező tagok közül *Csorba József* orvos és fizikus; *Erdélyi János* költő, esztéta és filozófus; *Kováts Mihály* orvos és kémikus; *Somossi János* református teológus és héber nyelvész; *Szemere Bertalan* jogász, író, majd politikus; *Tessedik Ferenc* jogász és földrajzi utazó; *Warga János* jogász és pedagógus volt; elhunyt *Gelei József* író, fordító. Az elsők között választották tiszteleti taggá *Fáy András* író, politikust, „a haza mindenesét”. 1838-ban tiszteleti tag lett gróf Teleki József elnök is. 1841-ben, gróf Vay Ábrahám mellé, a szintén Patakon végzett báró *Vay Miklóst*, a Tiszántúli Református Egyházkerület főgondnokát is igazgató taggá választották.

Ha megvizsgáljuk a születési évszámokat, egymástól jól elkülöníthető korosztályok tűnnek elő. 1754—62 között született Gelei József, Kazinczy Ferenc, Kováts Mihály; 1776-ban Nyiry István; 1783—86 között Fáy András, Somossi János, Szemere Pál; 1789—94 között Almási Balogh Pál, Csorba József, Vay Ábrahám; 1797—1804 között Balásházy János, Fogarasi János, Tessedik Ferenc, Vay Miklós, Warga János; 1809—14 között Er-

déli János, Jászay Pál, Szemere Bertalan, Teleki László. A legidősebb és a legfiatalabb akadémikus születési éve között hatvan év a különbség. Tekintve, hogy a tagválasztások tíz év leforgása alatt realizálódtak, nem meglepő, hogy egyre fiatalabb tagokkal gyarapodott az Akadémia. Az utolsóként említett korosztály négy képviselőjének tagválasztáskor betöltött életkora átlagosan mindössze 26,25 év volt (!), míg az azt megelőző generáció öt tagjának hasonló átlaga 34,4 év. Legidősebbként értelemszerűen az első generáció képviselői, Gelei 78, Kazinczy 71, Kováts 70 évesen lettek akadémikusok.

A tagválasztások során érvényesült a pataki diákok összetartó ereje. A választás az Igazgatótanács hatáskörébe tartozott, de a tiszteleti és rendes tagok jelölése alapján zajlott, s így aligha kétséges, hogy az eljárás során körvonalazódtak bizonyos — mai szóhasználatlaltól élve — lobbierdekek. Ez természetes, hiszen a közös szellemi gyökerek tudata a későbbi együttes fellépés lehetőségét és sikerét erősítette. Különösen igaz volt ez az azonos korosztályok képviselői számára, akik az iskolapadból közvetlenül ismerték egymást. Mármost az a tény, hogy a reformkorban, 1840 után új, pataki kötődésű tagot már nem választottak, megerősíteni látszik az előbbi feltevést, hiszen mint láttuk, az utolsóként megválasztottak átlagéletkora jóval harminc év alatt volt. Az 1840-es évekbe tehát minden bizonnyal egyszerűen „elfogytak” a megválasztásra érdemes pataki kötődésű személyek, hiszen éppen ebben az időszakban találjuk a legtöbb pataki rendes és tiszteleti tagot, akiknek így a nyomásgyakorlásra különösen lett volna módjuk. Persze azért a helyzet nem volt ilyen egyszerű. A komoly pataki háttér sem tudta kiharcolni pl. *Kossuth Lajos* befogadását, akit — politikai nézetei és elsősorban *Széchenyi* ellenállása miatt — sem 1836-ban, sem 1841-ben nem választottak taggá. Az ajánlók — *Bajza József* és *Fáy András*, majd *Kiss Károly* — *Kossuthnak* az 'Országgyűlési Tudósítások' révén a magyar nyelv érdekében végzett érdemeit hangsúlyozták.

A szabadságharc leverése utáni politikai helyzet egyértelműen akadályozta az Akadémia tevékenységét. Az osztrák kormány fennállási engedélyhez kötötte működésének folytatását, de az irat csak 1858 végére érkezett meg. 1849—57 között a tagválasztás is szünetelt, ami — a természetes elhalálozások miatt — azzal a következménnyel járt, hogy 1858-ra a tiszteleti, rendes és levelező tagok összlétszáma az 1848. évi 161-ről 106 főre olvadt. Emellett többeket kényszerű emigrációjuk akadályozott abban, hogy a köztisztület munkájában részt vegyenek. Az akadémiai történetírás méltán tekinti fordulópontnak az 1858. december 20-án megnyílt közgyűlést, amely nemcsak új alapszabályt fogadott el, hanem számos új tagot is választott. A Sárospataki Református Kollégium szellemi kisu-gárgázása most is érezhető volt, bár a reformkori évekénél kisebb mértékben.

1858-ban négy volt pataki diákot választottak levelező taggá, majd az elkövetkező öt év során további négyet. Korosztályok szerint három csoport különíthető el. A legidősebb az 1795-ben született *Almási Balogh Sámuel*, református lelkész, író volt, *Almási Balogh Pál* öccse. *Zsarnay Lajos* teológiai tanár, később püspök, valamint *Szemere Miklós* költő egyaránt 1802-ben; *Hegedűs László* református lelkész, tanügyi író pedig 1814-ben született. Látható, hogy mindannyian olyan korosztályokat képviseltek, amelyeknek már volt bázisa az akadémikusok között. Az összetartó erő tehát túlélte az önkényuralom időszakát. A másik négy levelező tag azonban már egy új generációt jelentett. 1817—19 között született *Kallós Lajos* jogtudós, *Kazinczy Gábor* író, politikus, és *Tompai Mihály* költő; míg *Duka Tivadar* emigráns orvos még náluk is fiatalabb volt, az Akadémia alapításának évében látta meg a napvilágot.

Összevetve az 1858 után megválasztott pataki kötődésű tagokat a forradalom előttiévekkel, szembevetendő a foglalkozásbeli eltérés. Az Akadémia első évtizedében leginkább a jogászok és a természettudósok képviselték Patakot, most áttevéődött a hangsúly a teológiára és az irodalomra. Az új akadémikusok között több gyakorló lelkész is akadt, akik persze gazdag elméleti munkássággal rendelkeztek. Ennek oka alighanem a korszellem által megkövetelt óvatosság volt, hiszen a Kövy-tanítványok (*Kossuth*, *Szemere*, *Fogarasi*, *Jászay*, *Teleki* stb.) meghatározó szerepet játszottak a forradalomban és a szabadságharcban, majd az osztrákellenes magyar emigráns szervezetekben.

A kiegyezés utáni évekre a reformkorban választott egykori pataki diák akadémikusok száma a természetes elhalálózások következtében alig néhány főre csökkent, sőt az 1858-ban választottak sem éltek már. Az Akadémián belül a pataki közösség és ennek szellemi hatása megfogyatkozott. Jól szemlélteti ezt a következő összehasonlítás. Míg 1863-ban az Akadémia rendes tagjainak 7,5%-a volt pataki diák (40-ből 3 fő — Almási Balogh Pál, Erdélyi János, Fogarasi János), addig 1870-re ez az arány 2,6%-ra csökkent (39-ből 1 fő — Fogarasi). A levelező tagok hasonló aránypárja: 1863-ban 7% (143-ből 10 fő — Almási Balogh Sámuel, Duka Tivadar, Hegedüs László, Kallós Lajos, Kazinczy Gábor, Szemere Bertalan, Szemere Miklós, Tompa Mihály, Warga János, Zsarnay Lajos), 1870-ben már csak 3,1% (164-ből 5 fő — Duka, Hegedüs, Kallós, Szemere M., Warga).

Ezután még jobban visszaesett egykori pataki diákok akadémiai tagválasztási aránya. Közél negyedszázadon át nem akadt eredményes jelölt. 1888-ban választották levelező taggá *Szádeczky-Kardoss Lajos* történészt, akit az első világháborúig még négyen követtek: 1892-ben *Nagy Gyula* történész, levéltáros, 1900-ban *Csoma József* történész, 1908-ban *Finkey Ferenc* jogtudós és 1910-ben *Gárdonyi Géza* író. Ennek egyik oka az, hogy a 19. század második felében a pataki oktatás színvonala már nem érte el a korábbi, országos viszonylatban kimagasló reformkori szintet. Másrészt jelentősen megerősödtek az ország más tanintézetei is. A két világháború között pedig három olyan tudóst tiszteltek meg akadémiai levelező tagsággal, akik szellemi útravalójukat Patakon szerezték: 1934-ben *Finkey József* bányamérnököt, egy évre rá *Mitrovics Gyula* esztéta-filozófust, majd 1938-ban *Buza László* jogszakszabályozót. Mitrovics *Finkey Ferenc* kortársaként, a másik két tudós a századfordulón végezte tanulmányait. Meg kell említenünk két református püspök sárospataki kötődését is. *Ravasz László* — akit 1925-ben tiszteleti taggá választottak, és 1937-től három évig másodelnök volt — és *Révész Imre* — aki 1935-ben lett levelező tag —, teológiai magántanári képesítésüket szerezték Sárospatakon. A tagválasztásokat a számok nyelvére lefordítva 1900-ban csupán 3 levelező (*Csoma, Nagy, Szádeczky-Kardoss*) és 1 tiszteleti (*Duka*); 1920-ban 2 levelező (*Finkey F., Nagy*), 1 rendes (*Szádeczky-Kardoss*) és 1 tiszteleti (*Gárdonyi*); 1940-ben pedig 3 levelező (*Buza, Mitrovics, Révész*), 1 rendes (*Finkey J.*) és 2 tiszteleti (*Finkey F., Ravasz*) tagot találunk. Az összes tagokhoz viszonyítva a pataki diákok aránya a 20. század első felében csupán 1,8–2,6% között mozgott!

Az Akadémia 1949. évi „átszervezése” során *Ravasz László*t megfosztották akadémiai tagságától (e döntést 1989-ben hatálytalanították), *Mitrovics Gyula* erről már 1947-ben lemondott. A szoros pártirányítás alatt álló intézményben az egyházi iskolai múlttal rendelkező tudósok nemkívánatos személynek számítottak. Emiatt az ötvenes években politikai szempontból aligha csengett jól Sárospatak neve, de az is tény, hogy a kollégiumi oktatás színvonalának századforduló utáni pangása és a húszas évek végéig tartó visszaesése nem kedvezett a kiváló elmék nevelésének. A Rákosi-korszak alatt mindössze egyetlen volt pataki diák nyert levelező tagságot, *Kiss Árpád* kémikus, 1954-ben. Ő a gimnáziumot, *Finkey József* kortársaként, még az első világháború előtt végezte.

A magyar tudományos közéletben a hetvenes évekre értek be azok az eredmények, amelyeket a pataki kollégium új szellemű tanári karának magas színvonalú oktatómunkája a harmincas években eredményezett. 1970-ben *Király István* irodalomtörténészt, 1973-ban *Csizmadia Ernő* közgazdászt és *Szabó Gábor* orvos-biológust választották akadémikussá. Ugyanehhez a korosztályhoz tartozik *Kőrös Endre* kémikus, aki csak később, 1990-ben lett levelező tag. Tekintve, hogy négy különböző tudományág képviselőiről van szó, megállapítható, hogy mind a gimnázium, mind a tanítóképző (*Csizmadia Ernő* itt végzett) olyan kiváló alpműveltséget adott, amelyre bármilyen egyetemen szereshető szakképesítés ráépíthető volt. A régebbi korosztályt képviselő, 1985-ben akadémikussá választott *Makkai László* történész rövid ideig szintén sárospataki diák volt.

Bár tanulmányunk csak az akadémiai tagokra terjed ki, legalább utalásszerűen szólunk kell az elmúlt évtizedekben tudományok doktora fokozatot szerzett azon pataki diákokról, akik szintén a harmincas-egyvenes években tanultak a kollégiumban, hiszen

a tudományos minősítés rendszerében ők is komoly értéket képviselnek. A tudomány doktori *Csorba Sándor* (sz. 1929, orvos), *Deme László* (sz. 1921, nyelvész), *Korponay Béla* (sz. 1928, nyelvész), *Szűcs Jenő* (1928—1988, történész), *Soós Gyula* (sz. 1930, matematikus), *Vitányi Iván* (sz. 1925, szociológus). A tudományágak sokszínűsége itt is a sárospataki minőségi alapképzést bizonyítja.

A pataki iskola tanárai az Akadémián kívül és belül

A továbbiakban megvizsgáljuk, hogy miként alakult az oktatás a 18. század második felétől a 20. század közepéig a Sárospataki Református Kollégiumban. Meggyőződésünk, hogy sok tekintetben a kollégiumban folyó oktatás összetevőinek következménye volt, ha az MTA tagjai közé olykor viszonylag sok pataki diák bekerült, máskor pedig évtizedekig nem akadt eredményesen szereplő jelölt.

Az egyik ilyen fontos tényező a tanulólétszám. A pataki kollégium diáklétszáma a 18. század utolsó két évtizedében 1050 és 1250 között mozgott, a tehetségek kiválasztásának tehát volt kellő alapja. Ugyanakkor igen csekély mértékű volt a fluktuáció, márpedig az egy helyen töltött évek megkönnyítik a tananyag egységes követelmények szerinti elsajátítását. A 18. század vége a nagy reformok időszaka. A felvilágosodás eszméinek hatására megindult a német, majd a francia nyelv tanítása. 1793-ban jogtörténeti tanszék létesült, amely megvetette a jogakadémia alapját. Három évre rá Sárospatak elsőként vezette be a magyar tannyelvű oktatást, az addig latin nyelvű helyett. Ezzel egyidejűleg jelentős előrelépés történt a természettudományok terén is. Az iskola korábbi egyértelműen teológiai jellege határozott világi vonásokkal egészült ki. Gyarapodott a könyvtár, a 19. század első harmadában már több, mint 15 000 kötetre rúgott. Folyamatosan nőtt a tanulólétszám, s az 1840-es évekre 1350—1400 fő között állapodott meg. Emelkedtek a tanári fizetések is, s ez jótékony hatással volt az oktatás szakmai színvonalának erősödésére. Mindezen reformlépések azt eredményezték, hogy a végzett diákok — akár teológusként, akár jogászként — kiváló általános műveltségi alapokkal és magas fokú szakmai ismeretekkel rendelkeztek.

A tanári kar elsőrangú volt. Tagjai túlnyomórészt az iskola korábbi növendékei, s mindegyikük széles műveltségű, külföldet járt, tapasztalt előadó. Említsük meg a legnevesebbeket! A 18. század második felének meghatározó egyéniségei a *Szathmári Paksi* tanár-dinasztia tagjai, akik teológiát, filozófiát, természettudományokat tanítanak. *Bányai István* elsőként tanít irodalomtörténetet, Szombathy János pedig elsőrangú történész és a kollégiumi könyvtár szervezője. *Szentgyörgyi István* kivételesen nem járt külföldön, filozófiai felkészültsége mégis imponáló; Kazinczy őt tartotta legkiválóbb tanáranak. *Óri Fülöp* teológiai professzort a helytartótanács 1790-ben jelölte az akkor tervezett Akadémia tagjának. *Barczafalvi Szabó Dávid* Patakra való visszakerülése előtt a 'Magyar Hírmondó' szerkesztője, nyelvújító, vitatkozó személyisége már a reformkor előszelét idézi. De a 19. század első felében sem rosszabb a kép. *Rozgonyi József* negyedszázadon át tanít filozófiát, 1790-ben őt is jelölik akadémikusnak. *Vályi Nagy Ferenc* két évtizeden át gimnáziumi, majd teológiai tanár, ő Homérosz első magyar fordítója. *Sipos Pál* európai hírű matematikus, emellett polihisztor, a kollégium matematikai tantervének kidolgozója. Somossi János közel tíz évig a tanít gimnáziumban, majd 1818—55 között teológiai tanár, 1834-től akadémikusként. Nyiry István természettudós, a másik polihisztor, 1831-től akadémiai levelező, egy évre rá rendes tag; négy évtizedes tanári periódusa (1797—1838) a pataki iskola életében kulcsfontosságú. *Zsarnay Lajos* harminc éven át a gyakorlati teológia tanára (1831—60), levelező taggá 1858-ban választják. *Gelei József* tíz évig gimnáziumi tanár, *Magda Pál* szintén tíz éven át természetrajzot, gazdaságtant, németet tanít, Wurga János öt évig köztanító. Ők hárman akadémiai levelező taggá választásukkor már nincsenek Patakon, de nyilván képviselnek valamit a „pataki szellem”-ből. Az aktív pataki akadémikusok, de a már eltávozottak kapcsolatai is élővé tették a 'Magyar Tudós Társaság'

sárospataki jelenlétét, és elősegítették további jelentős tudományos teljesítmények kialakulását. Ezzel együtt erősödött a kollégium saját utánpótlás-nevelő szerepe is, hiszen a fentiek közül csak Magda Pál és Sipos Pál nem volt pataki diák.

A pataki kollégiumban folyó tanítás vizsgálatakor feltétlenül ki kell térnünk a jogakadémiaira, amelynek története két szakaszra bontható. Alapító professzora, Kövy Sándor, 1793-tól haláláig, 1829-ig állt a tanszék élén. Mint tanulmányunk elején utaltunk rá, az akadémiai tagságot így már nem érthette meg. Keze alól azonban később akadémikussá választott tanítványok sora került ki: Fáy András, Fogarasi János, Jászay Pál, Somossi János, Szemere Bertalan, Szemere Miklós, Teleki László, Warga János, Zsarnay Lajos. Kövy halála után tanítványa, *Gortway János* követte, 1853-ig, amikor is az osztrák jog kötelező tanítása elleni tiltakozásul nem hirdetett meg előadásokat. 1851—53 között jogot tanított a később akadémikussá választott *Kallós Lajos* is.

Az 1849-et követő esztendőkből megszakadt a Sárospataki Református Kollégium szerves fejlődése, s ezzel az utánpótlás nevelése. Ez az időszak a protestáns iskolák számára önkormányzatuk felfüggesztését és császári ellenőrzését jelentette. A kollégium szabadságjogait csak 1860-ban kapta vissza. Az újjászervezésben két Sárospatakon élő MTA-tag fontos szerepet játszott. *Hegedüs László* a kollégium egyházi gondnoka volt, a teológiai professor *Zsarnay Lajost* pedig 1860-ban tiszáninneri püspökké választották.

A Sárospatakon tanuló gimnazisták létszáma fokozatosan csökkent: 1861-ben 853-an, 1869-ben 729-en, 1874-ben már csak 492-en iratkoztak be. Számuk ezt követően, szinte az első világháborúig, a 470-es átlag körül mozgott. A csökkenés oka az ország tanügyi helyzetének átalakulásával magyarázható. A reáliskolák bevezetésével a kollégiumi nevelési forma (tehát a teljes oktatási vertikum egy helyen történő elvégzése) már nem volt olyan vonzó, mint korábban. A teológia és a jogakadémia hallgatólétszáma is jelentősen ingadozott: a lelkészi pályára készülők száma 45—110, a jogászjelölteké 48—91 között. Annak tehát, hogy az 1849 után végzett diákok közül később viszonylag kevés számú akadémistát választottak meg, létszámbeli okai is voltak.

Az intézmény szervezetében két komoly, de sajnos nem tartós változás történt. Az első a tanítóképző 1857-ben történt létrehozása, amelyet azonban — anyagi okok miatt — az egyházkerület 1869-ben átadott az államnak. A másik a bölcsészeti akadémia felállítása 1863-ban, amely *Erdélyi János* nevéhez fűződik. Erdélyi akadémikusként tért vissza Sárospatakra, és bár lelkében soha nem tudott elszakadni Pesttől, élete végéig a kollégium professzora maradt; 1851-től a filozófiai, 1863-tól az irodalomtörténeti tanszéket vezette. Ez utóbbi katedrán *Szinyei Gerzson* követte, aki 1902-ben Horváth Cyrillnek adta át helyét. Horváth három év múlva visszatért a fővárosba (később, 1911-ben, akadémikussá választották), s ezzel a bölcsészeti akadémia megszűnt. Két további kiváló tanára, a bölcsészettudományok területén rendkívüli felkészültséggel bíró *Harsányi István* és *Rácz Lajos* — az előbbi 25, az utóbbi 41 éven át tanított — a gimnáziumban is oktattak. Harsányit irodalomtudósként MTA-tagnak jelölték, de megválasztását 1928-ban, 56 éves korában bekövetkezett halála megakadályozta. A gimnáziumban továbbra is a magas szakmai színvonal, de ezzel együtt változatlanúságot eredményező kitartás volt a jellemző. A tanárok többsége három, olykor négy évtizedig is a helyén maradt. A tantestületben hozzávetőlegesen két nagy generáció különböztethető meg. Közülük az elsőhöz tartozók — elhalálozásuk vagy nyugállományba vonulásuk miatt — a századforduló táján hagyták abba a tanítást. Legkiemelkedőbb képviselőik a természettani tankönyvíró *Buza János* és *Zsindely István*, a Sorbonne-on tanult *Kérészy István*, a klasszika-filológus *Szinyei Endre* és *Zsoldos Benó* voltak. (Szinyei a szintén gimnáziumi tanár Soltész Ferenc görög—magyar szótárát adta ki új kiadásban.) A századfordulón hivatalba léptek legkiválóbbjai *Csontos József* történelem-, *Ellend József* fizika- és ifj. Mitrovics Gyula esztétikatanárok voltak. Utóbbi, alig harmincévesen, lefordította és hazai vonatkozású függelékkel egészítette ki *Schwegler Albert* 'A bölcsélet története' c. művét, amelyet az MTA, a Filozófiai Írók Társasága XVII. köteteként, 1903-ban kiadott. Mitrovics a következő évben egyetemi oktató lett, 1935-ben — mint említettük — akadémikussá választották. A teológiai akadémián is

megtaláljuk a kor legkiválóbb tanáregyéniségeit. Hogy csak néhányukat említsük: *id. Mitrovics Gyula* a gyakorlati teológia, *Radácsy György* a bibliai tudományok, *Zoványi Jenő* az egyháztörténet professzora volt. Az 1985-ben levelező taggá választott *Makkai László* 1950/51-ben tanított egyháztörténetet Patakon.

A jogakadémia 1863-ban kezdte meg ismét működését. Az 1923-ban bekövetkezett megszűntetéséig terjedő 60 év során két legmeghatározóbb tanáregyénisége *Emődy Dániel* és *Ballagi Géza* voltak. Emődy 1863-tól 1891-ben bekövetkezett haláláig tanított, Ballagi pedig 1875—1902 között, 1888-tól akadémiai levelező tagként. Öccsét, *Ballagi Aladárt*, aki néhány évig szintén Patakon oktatott, 1884-ben választottak levelező taggá. Finkey Ferenc 1893—1912 között volt pataki jogászprofesszor. Máiig ő az utolsó olyan tudós, aki aktív sárospataki tanárként lett MTA-tag, 1908-ban. Ez évben tért vissza Patakra a harminc évvel később akadémikussá lett *Buza László*, és tanított 15 évig. A Ballagi—Finkey—Buza-vonal gyönyörű példája a magas szintű utánpótlás-nevelésnek. Sajnos a jogakadémia 1923-ban beszüntette tevékenységét, mert a trianoni béke következtében beállott gazdasági válsághelyzetben a kormányzat megvonta a jogtanárok kiegészítő államségélyét. Bár az egyházkerület, sőt maga a város is vállalta volna a pluszterheket, a jogakadémia tanárihiánnyal küszködött, és — a magyarlakta területek elcsatolása miatt — jelentkezők sem voltak kellő számban; érvényesült a nagy egyetemek elszívó hatása.

A most már csak gimnáziumból és teológiából álló egykor nagy múltú iskola tanári kara előregedett, és belefáradtak a világháborúba is. Az oktatás szakmai színvonala őrizte ugyan a korábbi értékeket, de a 20. század tudományos eredményei, az ezek elsajátításához szükséges nyugati nyelvek ismerete és az új nevelési módszerek nem érvényesültek. Néhány tanár 1919-ben túlzottan exponálta magát, elbocsátásuk zavart okozott. A trianoni béke kibillentette Sárospatakot a régióban betöltött kulturális vezető szerepéből, a város határszéli településsé vált. A jogakadémia bezárása tovább fokozta az iskola válságát. Ebben a helyzetben kereste és találta meg a Tiszánninenni Református Egyházkerület és a kollégium vezetősége az egyetlen lehetséges kiutat: reformokkal fellendíteni a haladó iskolát. Partnerre találtak gróf *Klebelberg Kunó* kultuszminiszterben, akinek segítségével a harmincas évektől ismét magas színvonalú oktatás folyhatott. Ennek legfontosabb elemei az alábbiak voltak:

- A gimnáziumban korszerű, bentlakáson alapuló oktatási modellt vezettek be. Ezt elsősorban az 1931-ben megnyílt Angol Internátus biztosította, amely nem egyszerűen nyelvtanítási forma volt, hanem az angolszász nevelési modell, a 'college' adaptációja. A diákok saját újságot szerkesztettek, virágozott az egyesületi, önképzőkori élet, igen magas szintet ért el a sportkultúra. Az 1938-ban megnyílt Humán, az 1942-ben átadott ONCSA, valamint más, kisebb internátusok tovább bővítették a lehetőségeket.
- 1929-ben megtörtént a hatvan évvel ezelőtt állami kezelésbe vett tanítóképző visszavétele. A döntést a kormányzat a jogakadémia elvesztése miatt részben kárpótlásnak szánta. A tanítóképző intézeti ág visszatérésének a kollégium megújulásra törekvő szellemisége szempontjából nagy jelentősége volt.
- A húszas évek végétől a negyvenes évek elejéig olyan fiatal tanárok kaptak katedrát, akik a hagyományok mellett a század új értékeit is képviselték. Tipikusnak tekinthető közös vonásaik voltak, hogy többségükben pataki diákmúlttal rendelkeztek; tanulmányaikat legtöbbször Eötvös-kollégistaként és/vagy külföldön, nem egy esetben a pataki kollégium ösztöndíjával végezték; és Patakra visszatérve ambíciókkal telve, szinte huszonévesen kezdték meg tanári pályájukat. Az új generáció által képviselt szellemiség hamarosan meghódította a kollégiumot. Fő képviselőik a gimnáziumban *Bertha Zoltán*, *ifj. Harsányi István*, *Hegyi József*, *Képes Géza*, *Maller Sándor*, *Orbán István*, *Palumbo Gyula*, *Szabó Gyula*, *Szabó Károly*, *Urbán Barna* voltak, de a tanítóképzőben is több fiatal tanárt találunk: *Bolvári Zoltán*, *Egey Antal*, *Ködöböcz József*, *Tóth Károly* és mások.
- A gimnáziumban a harmincas években tehetségkutató mozgalom indult, tehetségvizsgás falusi gyerekek tucatjai nyertek felvételt. Mindez jelentősen kiszélesítette a

kollégium szellemi vonzásterületét, és később első generációs értelmiségi korosztályok kibocsátását eredményezte.

• Nem maradt el a haladó szellemű kísérletekkel a teológiai akadémia sem, amely a kor nemzeti-társadalmi kérdéseire próbált új módszerekkel választ találni. Ilyen volt a faluszeminárium, amelynek keretében a hallgatók szociológiai szempontok szerint tanulmányozták a falvak életét. 1936-ban két fiatal professzor, *Szabó Zoltán* és *Újszászy Kálmán* kezdeményezésére megalakult a népfőiskola, s ezzel egy máig virágzó közművelődési-nevelési mozgalom bontott szárnyat.

Mindezek alapján aligha meglepő, hogy az 1930-as és 1940-es évek pataki gimnazistái és tanítóképzősei a kor színvonalán álló oktatásban részesülhettek. Az itt töltött évek valamennyiüknek életre szóló élményt jelentettek. Visszaemlékezéseikben megemlítik a diákönkormányzatiság és az önnevelés magas fokát (Csizmadia Ernő), az erkölcsi tartást (Deme László), az egészséges puritanizmust, a szabadságharcos hagyományt és a jórészt demokratikus tanár—diák viszonyt (Király István), a társadalom minden rétegét befogadó, sokszínű szellemi életet (Vitányi Iván). A harmincas évek reformjai után a képzés ismét elsőrangúvá vált, és ennek markáns eredményei lettek a patakiak által az 1960—70—80-as években elnyert tudományos fokozatok és akadémiai levelező tagságok.

A kollégium nagy reményekre jogosító fejlődését derékba törte a második világháború, majd a negyvenes évek végétől eluralkodó politikai légkör követelt áldozatokat a kultúrától. 1949-ben megszűnt a népfőiskola, 1950-ben államosították a tanítóképzőt. A hatalomnak behódolt Református Egyetemes Konvent Elnöksége 1951-ben elrendelte a teológiai akadémia bezárását, majd 1952-ben felajánlotta a gimnáziumot az államnak. A döntések ellen tiltakozó Tiszáninneri Református Egyházkerületet egyszerűen beolvasztották a Tiszántúli Egyházkerületbe, és csak 1957-ben állították vissza. A Sárospataki Református Kollégium 1990-ben nyithatta meg kapuit.

A rendszerváltozás óta eltelt évtized még nem biztosít kellő távlatot ahhoz, hogy az 1952—1990 között, a sok tekintetben (tanárok, módszerek, hagyományok, szellemiség) a kollégium jogutódjaként működő Rákóczi Gimnáziumban folyó oktatás színvonalát és eredményeit megítélhessük. Bár tudományos életünkben számos olyan kutatót találunk, akik Sárospatakon 1952 után érettségiztek, és azóta a tudomány doktora, a tudomány kandidátusa vagy PhD fokozatot szereztek, az állami gimnáziumnak a tudomány művelésére felkészítő szerepéről még korai lenne végleges adatokat és következtetéseket közlenni. Az viszont tény, hogy a Sárospataki Református Kollégium — diákjai és tanárai által — a magyar tudomány fejlődésében igen jelentős szerepet játszott. A Magyar Tudományos Akadémia és Sárospatak szellemi kölcsönhatásának eredményei pedig nemcsak a két intézmény, hanem az egész nemzeti kultúra javát szolgálták.

A tanulmányban szereplő akadémikusok:

Almási Balogh Pál (1794—1867, l.t. 1831, r.t. 1835)

Almási Balogh Sámuel (1795—1867, l.t. 1858)

Balásházy János (1797—1857, r.t. 1830)

Ballagi Aladár (1853—1928, l.t. 1884, r.t. 1904)

Ballagi Géza (1851—1907, l.t. 1888, r.t. 1907)

Buza László (1885—1969, l.t. 1938, r.t. 1946)

Csizmadia Ernő (1924—1984, l.t. 1973, r.t. 1979)

Csoma József (1848—1917, l.t. 1900)

Csorba József (1789—1858, l.t. 1832)

Duka Tivadar (1825—1908, l.t. 1863, t.t. 1900)

Erdélyi János (1814—1868, l.t. 1839, r.t. 1858)

Fáy András (1786—1864, t.t. 1831, ig.t. 1845)

Finkey Ferenc (1870—1949, l.t. 1908, r.t. 1929, t.t. 1938)

Finkey József (1889—1941, l.t. 1934, r.t. 1940)

Fogarasi János (1801—1878, l.t. 1838, r.t. 1841)

Gárdonyi Géza (1863—1922, l.t. 1910, t.t. 1920)

Gelei József (1754—1838, l.t. 1832)

- Hegedüs László (1814—1884, l.t. 1860)
 Horváth Cyrill (1856—1941, l.t. 1912, r.t. 1925)
 Jászay Pál (1809—1852, l.t. 1836, r.t. 1841)
 Kallós Lajos (1819—1882, l.t. 1863)
 Kazinczy Ferenc (1759—1831, r.t. 1830)
 Kazinczy Gábor (1818—1864, l.t. 1858)
 Király István (1921—1989, l.t. 1970, r.t. 1979)
 Kiss Árpád (1889—1968, l.t. 1954)
 Kováts Mihály (1762—1851, l.t. 1832)
 Kőrös Endre (sz. 1927, l.t. 1990, r.t. 1993)
 Magda Pál (1770—1841, l.t. 1834)
 Makkai László (1914—1989, l.t. 1985, r.t. 1987)
 Mitrovics Gyula (1871—1965, l.t. 1935—1947, lemondott)
 Nagy Gyula (1849—1924, l.t. 1892)
 Nyíry István (1776—1838, l.t. 1831, r.t. 1832)
 Ravasz László (1882—1975, t.t. 1925—49, tagsága megszűnt, másodelnök 1937—40, ig.t. 1940—45)
- Révész Imre (1889—1967, l.t. 1935, r.t. 1946)
 Somossi János (1783—1855, l.t. 1834)
 Szabó Gábor (1927—1996, l.t. 1973, r.t. 1982)
 Szádeczky-Kardoss Lajos (1859—1935, l.t. 1888, r.t. 1909)
 Szemere Bertalan (1812—1869, l.t. 1840)
 Szemere Miklós (1802—1881, l.t. 1863)
 Szemere Pál (1785—1861, r.t. 1831)
 Teleki József, gróf (1790—1855, ig.t. 1830, elnök 1830—55, t.t. 1838)
 Teleki László, gróf (1811—1861, l.t. 1836, r.t. 1838, t.t. 1844)
 Tessedik Ferenc (1800—1844, l.t. 1832)
 Tompa Mihály (1817—1868, l.t. 1858)
 Vay Ábrahám, gróf (1789—1855, alapító, ig.t. 1830)
 Vay Miklós, báró (1802—1894, ig.t. 1841—55, 1860)
 Warga János (1804—1875, l.t. 1835)
 Zsarnay Lajos (1802—1866, l.t. 1858)

IRODALOM:

- A Sárospataki Református Kollégium története. Tanulmányok alapításának 450. évfordulójára, Budapest, 1981.
- Berecz Lilla*: Interjú dr. Király István akadémikussal, in: *Dobay Béla* (szerk.): A sárospataki Rákóczi Gimnázium jubileumi évkönyve, Sárospatak, 1981.
- Cseke Hajnalka*: Határhelyzetek. Interjú Vitányi Ivánnal, Budapest, 1996
- Csizmadia Ernő*: Pataki diákéveimre emlékezve = Borsodi Művelődés, VI. évf. 3. szám, 1981
- Dobrossy István* (szerk.): Tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémia megalapításáról, Miskolc, 1997
- Kenyeres Ágnes* (főszerk.): Magyar életrajzi lexikon, 1—4. kötet, Budapest, 1967—1994
- Ködöböcz József*: Sárospatak a magyar művelődés történetében, Sárospatak, 1991
- Ködöböcz József*: Tanítóképzés Sárospatakon. A kollégiumi és középfokú képzés négy évszázada, Budapest, 1986
- Maller Sándor*: Gróf Klebelsberg Kunó és a Sárospataki Református Főiskola. Az angol nyelv tanításának kezdetei Patakon, Sárospatak, 1998
- Mezei Erzsébet—Séra Katalin*: Beszélgetés dr. Deme László nyelvészprofesszorral, in: *Dobay Béla* (szerk.): i.m.
- Pach Zsigmond Pál* (főszerk.): A Magyar Tudományos Akadémia másfél évszázada 1825—1975, Budapest, 1975
- Sötér István*: A sas és a serleg. Akadémiai arcképek, Budapest, 1975
- Szalai Sándor—Szántó Lajos* (főszerk.): A Magyar Tudományos Akadémia 150 éve adatokban, Budapest, 1975
- Szentimrei Mihály*: A Sárospataki Református Kollégium 20. századi virágzása, felszámolása és újraindulása, in: *Kováts Dániel* (szerk.): Széphalom 7., A Kazinczy Ferenc Társaság évkönyve, Sátoraljaújhely, 1995
- Zouányi Jenő*: Magyarországi protestáns egyháztörténeti lexikon, Budapest, 1977

Az előadóművész

Beszélgetés *Frankl Péter* akadémikussal

— Mondjon három olyan dolgot, ami különösen fontos az életében!

— A matematika, a zsonglörködés és a szabadság.

— Számítottam erre a válaszra. Csupán a harmadiknál tévedtem.

— Miért, mire gondolt?

— A másik nemre, a nőkre.

— Érthető...

— Legyen akkor az a negyedik.

— Rendben.

— Menjünk akkor végig ezen a négy stáción! Első a matematika. Arra vagyok kíváncsi, hogyan lett a kaposvári orvoscsalád gyermekéből Japán talán legismertebb matematikusa. Kezdjük a gyermekkorral!



— Első sikereimet a számtanban négyévesen arattam. Az általános iskola második osztályába járó nővéremtől ellestem, hogyan kell kétjegyű számokat összeszorozni. Írni nem tudtam, így természetesen fejben végeztem el a műveleteket. Kaposvár kis város, gyorsan elterjedt ennek a híre. Jöttek az ismerősök megnézni a „csodagyereket”. Feladatokat adtak, én megmondtam az eredményt, ők papíron ellenőrizték. Jutalmul almát, csokoládét kaptam. Néha viccelődöm, hogy már négyévesen előadóművész voltam, az előadásért felvettem a gázsit.

— Szülei ösztönözték, tanították matematikára?

— Nem, ők hagyták, hogy azt tegyem, ami-
ben örömet lelem. Külön nem tanítottak matematikára. Mindketten orvosok voltak, ahhoz nem kell különösebb matematika. Magyarországon az orvosegyetemeken nem felvételi tárgy a matematika. Ellentétben például Japán-
nal.

— Akkor később mi vezette a matematikához?

— A matematikai versenyeken szerzett siker-

élmény. Hatodikos lehettem, amikor Kaposvár városi matematikaversenyén első díjat kaptam. Meghatározó élmény volt. *Pados Józsefné* tanárnőm meghívott a nyolcadik osztályosoknak tartott matematikai szakkörére. Úgy érezte, jó feladatmegoldó vagyok, felveszem a versenyt a nálam két évvel idősebbekkel. Nekem ez akkor óriási megtiszteltetés volt, olyan gyerekek között tanulhattam, akik magasabbak, erősebbek, idősebbek voltak, akik már majdnem kijárták az iskolát. *Pados* tanárnő tanított először kombinatorikára, mai szűkebb szakterületemen az első lépéseket az ő óráin tettem meg. A szakköri kombinatorika egyszerű leszámítással megoldható feladatai újak, érdekesek és szépek voltak. Megszerettem a matematikafeladatokat, ez oda vezetett, hogy engem jelöltek az általános iskolások országos televíziós versenyére...

— *Amit azután megnyert. Gondolom, ez újabb lendületet adott.*

— Igen, vettem egy feladatgyűjteményt, már nem emlékszem a címére, de arra igen, hogy szüleim balatoni nyaralójában akkor egész nyáron matematikai problémákat oldottam meg. Sok példa volt abban a könyvben.

— *Akadémiai székfoglalóján említette, milyen sajátos módon jutott túl a nehézségeken.*

— Igen, sok példát gyorsan megoldottam, 5–10 perc alatt, némelyik azonban kifogott rajtam, egy óra alatt sem boldogultam vele. Máig büszke vagyok rá, hogy ekkor sem adtam fel. Csak azért is megoldom! — fogadkoztam. Ilyenkor néha úgy ösztönöztem magam, hogy befeküdtem az ágyneműtartóba, és magamra húztam a heverőt. Ott feküdtem a sötétben, kezem, lábam mozdítani sem tudtam. Elhatároztam, addig nem jövök ki, amíg nem találok a megoldást.

— *Különös módszer az intuíciónak kikényszerítésére. Másoknak azért nem ajánlanám. Frankl Péternél mindenesetre bevált.*

— Ez igaz, élő bizonyítéka vagyok annak, hogy megbirkóztam a feladattal. Ennek ellenére nem akkor, nem az ágyneműtartóban nőttem matematikussá.

— *A televíziós verseny megnyerése után a Fazekas Mihály Gyakorló Gimnáziumba hívták.*

— A zsüri elnöke a Fazekas igazgatóhelyettese volt, ő szölte a szüleimnek, hogy folytassam náluk a tanulást, Budapesten. A Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium a legjobbak közé tartozott, híressé vált matematikatagozatos osztályairól. Nekem is tetszett az ötlet, szüleim azonban nem engedtek a fővárosba. Nem akarták, hogy olyan korán, 14 évesen megváljak tőlük.

— *Mit gondol, másként alakult volna az élete, ha szülei engednek a hívó szónak?*

— Magam is sokszor elgondolkodtam, milyen lett volna a sorsom, ha Budapesten járok középiskolába. Más lett volna. Már gimnazistaként több jutott volna matematikából, de ma már eldönthetetlen, hogy ez milyen eredményhez vezet. Tegyük fel, bekerülök egy válogatott, remek fiatalokkal teli osztályba. Az én évfolyamon több kiváló fiú volt a Fazekasban: a zseniális *Ruzsa Imre*, az akkor elsőrendű matematikus *Bajmóczi Ervin* és a ma is nagyon jó *Komjáth Péter*... Közöttük mire jutottam volna?

— *Esetleg még többre.*

— Igen, igen, de nézze meg például a nálunk néhány évvel idősebb legendás évfolyamot, ahová *Lovász Laci* járt. Néhány társa nagyon erős nyomás alá került azzal, hogy olyan, nemzetközi mércével is abszolút szupersztárnak számító fiúval kerültek össze, mint ő. Ilyen nagy mezőnyben könnyű lemaradni, s aki nem állja a versenyt, elveszítheti a kedvét. A kudarcra örök életre szóló lelki sérüléseket szerezhetsz, még akkor is, ha különben a legjobbak közé tartoztál. Kaposváron nekem külön helyem volt a gimnáziumban. Tanárom tudta, hogy jó eredményeim voltak a vetélkedőkön, első osztályos koromban például megnyertem az Arany Dániel Országos Matematikaversenyt. Már az első matematikaórán közölte velem, hogy azt csinálom, amit akarok.

— *Állítólag tankönyvei sem voltak, csak egy szál ellenőrző füzet, amibe néha beírtak ezt-azt.*

— Az későbbben, a harmadik—negyedik osztályban volt úgy. A matematikadolgozatokat sem kellett megírnom. Tanárom addig odaadta a szomszéd osztály dolgozatát, azokat javítottam. Feladataim közé tartozott még az iskola órarendjének összeállítás. A tanárok különféle igényeinek figyelembevételével kellett a lehető legjobban elkészítenem, s ez valamilyen szinten kombinatorikai feladatnak is tekinthető. Így azután az iskolában népszerű ember lettem, akit mindenki ismert. Megszoktam, hogy figyelnek rám, s gyakran megkérnek, oldják meg egy-egy nehezebb problémát vagy írjam meg helyettük, mondjuk, a németdolgozatot. A csúcspont az volt, amikor 45 perc alatt egyszerre hét osztálytársam dolgozatát irtam meg, és sikerült is észrevétlenül eljuttatnom hozzájuk. Megszoktam az iskolai közösségben a középponti helyet, hogy azok is figyeltek rám, akiket kevésbé érdekelt a matematika.

— *Részolgált erre, hozta az eredményeket.*

— Igen, de ehhez a magyar matematikai nevelés kiválósága is kellett. Az segített később, amikor a matematikus pályát választva továbbmentem. Diákként ott volt nekünk a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* feladatmegoldó pontversenye, valamint az országos matematikaversenyek. Eredményeim alapján a Középiskolai Matematikai Diákolimpiára készülő csapat tagja lehettem. Havonta egyszer-kétszer péntek délben eljöttem a gimnáziumból, fölvonatoztam Budapestre az olimpiai szakkörre és az Ifjú Matematikusok Körének előadásaira. A diákolimpiára előkészítő foglalkozásokat *Reiman István* vezette az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, az előadásokat a Bolyai János Matematikai Társulat rendezésében tartották. A vidéki diákok útiköltségeit a Művelődési Minisztérium állta. A péntek éjszakát valamelyik pesti barátomnál töltöttem, alkalmasint diszkóba járva, a szombat a matematikáé volt. Első gimnazistaként együtt lehettem a nagymenőkkel, az igazi kiválóságokkal, olyanokkal, mint *Babai László* vagy a szintén fölöttem járó *Pintz János* és *Lempert László*. Élmény volt velük lenni, beszélgetni, érezni, hogy emberszámba vesznek. Ez erőt adott. Fokozta a vágyat a szebb, jobb eredmények elérésére.

— *Vágyai kezdtek valóra válni. A 13. Nemzetközi Matematikai Diákolimpián, Zsolnán négy magyar fiú nyert első díjat: Frankl Péter, Göndöcs Ferenc, Komjáth Péter és Ruzsa Imre. Nem bizonyult hátránynak, hogy Kaposváron maradt gimnazista?*

— Valamennyire igen, de az olimpiai szakkör révén kapcsolatban maradtam korosztályom legjobbjával, ugyanakkor kellemes, nyugodt, csendes helyen, Kaposváron a családi otthonban szórakozva éltem végig a gimnáziumi éveket.

— *Azt mondják, hiperaktív gyerek volt. Matematikatanára gyakran átjött Franklékhoz, édesapjával sakkoztak. Ilyenkor rendszerint egy nehéz feladatot adott Péternek, így biztosította a csendet a nyugodt gondolkodáshoz.*

— Ez így volt. Tanárom, *Kiss Zoltán* ugyanabban a nagy bérházban lakott. Apám igazi sakktehetség volt. Fiatal korában hosszan vívódott, orvos legyen vagy sakkozó. Nagyon büszke volt arra, hogy annak idején egy szimultánon *Maróczy Gézával* döntetlent játszott.

— *Mikor volt ez?*

— A harmincas évek elején lehetett, Magyarország akkor nyert először aranyérmet a sakkolimpián. *Maróczy* ezután felajánlotta, ők ketten játsszanak egy az egyben partit. Apámnak azt is sikerült döntetlenre hoznia.

— *Akkor volt honnan a hajlamot örökölnie a logikus gondolkodásra. A sakkot nem próbálta ki?*

— Sokat sakkoztam apámmal, soha nem tudtam nyerni ellene. A megyei általános iskolás sakkbajnokságot azonban hetedikos koromban megnyertem. Amikor a versenyről hazaértem, megkérdezte: „Hogyan végeztél?” „Első lettem!” — büszkélkedtem. „Na és, milyen játszmaid voltak?” „Hát... jók” — válaszoltam. „Mutasd meg, játszd le nekem.” „Nem tudom, már nem emlékszem rájuk.” Apám nem akarta elhinni. Neki annyira magától értetődő volt, hogy emlékezzék az átgondolt játszmáira. Hihetetlenül jó memóriája volt.

— *Ezen a téren Péter sem panaszkodhat. Legendák keringenek fantasztikus nyelvtudásáról. Svédül például fogadásból tanult meg két hónap alatt.*

— Na jó, akkor azonban még nem beszéltem úgy, mint később, amikor egy ideig Svédországban voltam vendégkutató.

— *Ma hány nyelvet beszél?*

— Tizenegyet.

— *Te jó ég! Akkor nincs semmi baj a memóriájával.*

— A memóriám inkább a szavak, mondatok, versek megjegyzésére jó. Apámnak minden tekintetben kiváló memóriája volt. Csodáltam érte, úgy éreztem, ebben nem tudnám vele felvenni a versenyt. Később feladta, hogy belőlem sakkozót faragjon. Csakugyan hiperaktív, ideges gyerek voltam, ami gátolt a sakkjátékban. Várni sohase szerettem. A legjobban az ingerelt, hogy miután húztam egyet, hosszan kellett várnom a lassan gondolkozó ellenfelem lépésére. Ez idegesített. Úgy éreztem, elveszik tőlem az időt. Tudjuk, a sakkozók pszichésen is megküzdenek egymással, igyekeznek a másikat kizökkenteni a nyugalmából. Ez sem tetszett, ehhez nekem gyenge az idegzetem.

— *A diákolimpia megnyerése után az Eötvös Loránd Tudományegyetem matematikus szakára felvételi nélkül került...*

— Akkor, ott nekem különös luxusban volt részem. Első évben a geometriagyakorlatvezetőm Lovász László volt. Előfordult, hogy esténként ott maradtunk és Komjáth Péternek meg nekem különböző matematikai problémákról mesélt. *T. Sós Vera* kombinatorikai szemináriumot tartott az egyetemen. Emlékszem, ő adta kezembe megjelenés előtt az Erdős—Spencer-könyv kéziratát. Lovász Lacin kívül *Simonovits Miklósnak, Pelikán Józsefnek, Pósa Lajosnak, Laczkovich Miklósnak* volt feladatmegoldó szemináriumma. Én pedig akkoriban mindegyikre eljártam.

— *Budapesten kollégiumban lakott?*

— Oda nem juthattam be, mert családjunkban az egy főre eső jövedelem elég magas volt. Szüleim barátainál laktam, egy 2x5 méteres szobában, aminek java részét a háziak nagy szekrénye töltötte be. Rosszabb volt az albérletnél, a barátságból megtúrt ember helyzete mindig nehezebb. Így azután igyekeztem minél kevesebb időt ott tölteni. Nem is beszélve arról, hogy elkényeztetett gyerek lévén, képtelen voltam a kályhába rendesen begyűjtani. Attól féltem, hogy rosszul rakom meg, kialszik, én pedig szén-monoxidmérgezésben végzem. Ahogy közeledett az év vége, a szobámban egyre hidegebb lett. Emlékszem, decemberben gyakran sálban ültem a szobámban, a levegőben látszott a leheletem.

— *Az önnél néhány évvel idősebb kiválóságok hogyan fogadták? Úgy tudom, Babai Lászlóval az egyetemi évek alatt született barátságuk ma is tart.*

— Babai Lacival érdekesen kezdődött a barátságunk. A Kossuth Lajos utcában összefutottunk, megkérdeztem, hová siet. Azt mondta, hogy a Zeneakadémiára, jegyet vesz egy koncertsorozatra. Bevallom, én botfülű vagyok, nem értek a zenéhez. Nem tanultam zongorázni, hegedülni, még énekelni sem tudok. Azért elkísértem Babait, majd amikor beállt a pénztár előtti sorba, gyors elhatározással úgy döntöttem, én is veszek bérletet. Mellé szolt a jegyem. Ő valójában két bérletet váltott, na nem nekem, hanem... szóval minden koncerten más lány ült mellette... Szerencsémre még nem volt annyira menő a lányoknál, így azután legtöbbször nem velük ment haza, hanem velem. A lakásukra is felhívott, órakon át mesélt nekem matematikusokról, a matematika különböző ágairól. Igazán sokat köszönhetek neki. Ebben segített a koncertbérlet, a zenei fejlődésemhez sajnos nemigen járult hozzá.

— *Más, meghatározó élmények is érték?*

— Igen, ilyen volt *Erdős Pál* előadása. Ruzsa Imrétől tudtam meg, hogy Erdős hazajön és meghallgathatjuk. Sokat tudtam már róla, de még sosem láttam. Talán meg sem ismertem volna. Szép öltönyös, nyakkendőös akadémikusnak képzeltem, akiről már messziről látszik, milyen nagy ember. Na hát, Palkó bácsi nem így nézett ki, viszont életre szólóan mély benyomást tett rám. Mindenkiel szívesen elbeszélgetett, senkit, minket fiatalokat sem nézett le.

— *Mikor és hogyan választotta ki a matematikának azt a területét, amelyben később sikeres lett?*

— Engem igazán az algebra érdekelt. Azon belül is az absztrakt csoportok elmélete. Talán másként alakul a pályafutásom, ha találkozhatom *Fuchs László*val, a nagy magyar algebristával. Sajnos, mire az egyetemre kerültem, ő már elhagyta Magyarországot. Fuchs a csoportelmélet nemzetközi tekintélye. A végtelen Abel-csoportok elméletében alkotott maradandót. Hiányát nagyon megérezte az egyetem. Finoman fogalmazva, nem volt algebrai súlypontú a magyar matematikusképzés.

Másodikos egyetemista lehettem, amikor a Matematikai Kutatóintézetben egy szeminárium után *Komlós János* megkérdezte, hol szeretnék dolgozni az egyetem elvégzése után. Mondtam neki, legjobb lenne itt, a kutatóintézetben. „Akkor egyet ne felejs el — tanácsolta —, olyan témát kell választanod, amit itt az intézetben is kutatnak.” Ebben igaza volt, mert a legkiválóbbak többségét, akik ott dolgoznak, valaki *bevitte*. Minden szentnek maga felé hajlik a keze, ez érthető. A professzor vagy a kutató, akinek diákja ugyanazon a területen ügyködik, nyilván mellette dolgozhat, folytathatja kutatásait. *Komlósnak* igaza volt, tehát lemondtam a csoportelméletről.

— *És akkor?*

— Akkor megláttam a *Katona Gyula* szemináriumára invitáló felhívást a hirdetőtáblán. Kellemes érzéseket váltott ki belőlem. A kiírásban szerepelt egy feladat, amit ha valaki megoldott, elmehetett a szemináriumra. A függelék pedig azt tudatta: „Aki nem oldja meg, az is jöhet!” Ez tetszett. Nekem sikerült megoldanom, s különben is kíváncsi voltam a szemináriumra, melyen rendszerint a diákok adtak elő újabb tételeket. *Katona Gyula* is tetszett nekem, közvetlen, vállalkozó szellemű fiatal előadó volt. Sok érdekes történet keringett róla, például amikor ötödéves matematikusként elballagtak, egy szamarat vittek be az *Eötvös Loránd Tudományegyetemre*, és azzal járták sorra az előadótermeket.

— *A szamarat pedig az Operaház kellékesétől szerezték, ugyanis csak idomított szamar volt hajlandó felmenni a Természettudományi Kar lépcsőin.*

— Na látja, ezt nem is tudtam.

— *Mert ön a Zeneakadémiára váltott bérletet, nem az Operaházba. Elnézést, ez rossz vicc volt. Térjünk gyorsan vissza a matematikára! Katona Gyula szemináriumának fő témaköre az extrémális halmazrendszerek volt. Az embernek a halmazokról a végtelen jut eszébe, itt pedig...*

— ... véges halmazokról van szó. Egy n elemű véges halmaz összes részhalmazából kell valamilyen tulajdonságnak megfelelően a lehető legtöbbet kiválasztanunk. Ezt nevezzük optimális halmaznak. *Katona Gyula* tanítómestere, *Rényi Alfréd* jutott el ehhez a kérdésfelvetéshez, különféle keresésméleti problémák duális átfogalmazásával. Az első szemináriumok egyikén *Katona Gyula* kedvence, *Baranyai Zsolt*, a *Doki* beszélt egy szép problémáról, *Milner* tételéről. A bizonyítás végén tett néhány megjegyzést, nyitva hagyott kérdéseket. Sokat gondolkoztam rajta, végül többszöri nekifutásra megoldottam és előadtam a szemináriumon. *Doki* különben az egyik legtehetségesebb fiatal matematikus volt, ráadásul virtuózan furulyázott. Autóbalesetben vesztette életét, egy pécsi koncertről hazatérőben.

— *Emlékszem, mennyire gyászolta őt a matematikustársadalom. A matematikáról beszélve az emberi sorsok is újra és újra előjönnek. Folytassuk az extrémális halmazrendszerrel! Milyen problémák jellemzik e területet, s milyen eszközökkel sikerül megragadni azokat?*

— A matematikának ez az ága a hatvanas évek közepétől kezdett kifejlődni *Erdős Pálnak* köszönhetően. *Palkó bácsinak* még a háború előtt született egy tétele, melyet a magyar származású, de magyarul nem tudó *Richard Radó*val és a kínai *Chao Kóval* közösen bizonyított. A kombinatorika akkoriban még nem volt annyira népszerű, így munkájukat csak 1961-ben publikálták. A világ ma *Erdős—Ko—Rado* néven ismeri azt a tételt, ami elindította az extrémális halmazok kutatását.

— *Kérem, mondjon egy, erre a területre jellemző példát.*

— Jó. Legyen az alaphalmazunk mondjuk egy 100 emberből álló város. A városban klubokat szeretnénk alapítani a lehető legtöbbet úgy, hogy bármely két klubnak ne lehessen ugyanaz a tagsága. Emellett még különféle feltételeket szabhatunk. Ilyen egyszerű feltétel lehet például az, hogy bármely két klubnak páros sok közös eleme legyen. E problémának algebrai bizonyítását egymástól függetlenül két matematikus, *Berlekamp* és *Graver* adta meg. A válasz: a kettő az ötvenedik hatványon. A megoldáshoz vezető gondolatmenet a következő. Képzeljük a 100 embert 50 házaspárnak. A klubokba a házaspárok együtt léphetnek be, vagy mindkettőjük klubtag lesz, vagy egyikük sem. Ekkor persze bármely klubnak páros számú tagja lesz, és bármely két klub közös elemeinek száma is páros. Mivel minden házaspárhoz két lehetőség tartozik: belépnek-e a klubba vagy sem, tehát a kiinduló feltételeknek eleget tévő klubok maximális száma 2^{50} lesz.

Kutatásaimban én más feltételt szabtam: legyen az elemszám, vagyis minden klub tag-száma páros, bármely két klubnak a közös elemszáma viszont páratlan. Ez esetben nagyon érdekes eredményre jutunk: ilyen módon, bárhogyan is mesterkedünk, nem lehet 100 klubnál többet megadni. Ezt a lineáris algebra eszközeivel tudjuk belátni. Az ilyen típusú bizonyítások adják matematikai tevékenységem nagy részét, ezeket javarészt én fejlesztettem ki.

— *Akadémiai székfoglalóján az ön munkásságát méltató Györy Kálmán akadémikus ezt többször is említette: Frankl—Wilson-féle eredménynek nevezte.*

— A szakirodalomban így szerepelnek az ilyen típusú problémák. Az egyszerű ember persze megkérdezheti: na és, kit érdekel mindez? Mi a csudának kell ilyen légből kapott dolgokon törni a fejüket tanult embereknek?

— *Akkor most válaszoljon is a kérdésére!*

— Annak idején, amikor néhány elszórt problémán gondolkoztunk, talán még jogosnak tűnhetett volna a kérdésfelvetés. Ez a kutatási terület azonban mára olyan elméletté fejlődött, amelynek számos geometriai, Ramsey-elméletbeli, kombinatorikai, sőt néhány funkcionálanalízisbeli és valószínűség-számítási alkalmazása lett. Nagyon sok probléma megfogalmazható a véges halmazrendszerek nyelvén.

— *Az önök eredménye alkalmazható, vagy az ahhoz kifejlesztett módszer?*

— Sok esetben az eredmény. Más kérdés, hogy gyakran előfordul, hogy az alkalmazhatóságához gyakran kicsit más eredmény kellene. Ilyenkor a meglévő módszerekkel a szükséges új véges halmazokra vonatkozó tételt bizonyítjuk. Talán a legismertebb probléma, amit az eredményem felhasználásával oldottak meg, a Borsuk-sejtés cáfolata volt.

— *Mi ez a sejtés?*

— A síkban így szól a tétel: ha van egy konvex halmaz, amelynek bármely két pontja legfeljebb l távolságra van, akkor mindig található olyan három konvex halmazt, amelyekkel lefedhetjük eredeti halmazunkat, s e halmazokon belül bármely két pont távolsága — vagyis az átmérőjük — kisebb mint l . A síkban ennek bizonyítását középiskolások is megértik, gimnazistaként olvastam erről először egy orosz szerző könyvében.

A háromdimenziós térben négy halmazra lesz szükségünk, hogy ezt megtehessek. Három nem elegendő, ez világos. Tekintsük például azt a szabályos tetraédert, melynek csücskai l távolságra vannak egymástól. Ha csak három részre vágjuk szét, akkor a négy csücsk közül mindig lesz kettő olyan, amelyek ugyanabban a részben lesznek. Ezek távolsága pedig pontosan l . Azonban, ha ügyesek vagyunk, bármely l átmérőjű konvex halmazt a háromdimenziós térben is szétvághatunk négy olyan részre, melyek mindegyikének az átmérője határozottan kisebb, mint l . Borsuk a harmincas években megfogalmazta azt a sejtését, hogy ez magasabb dimenziókban is így van. Száz dimenzióban 101, egymillió dimenzióban egymillió-egy olyan halmazzal megoldható a lefedés, melyek átmérője kisebb l -nél. *Jeff Kahn* amerikai és *Gil Kalai* izraeli matematikusok azután négy-öt évvel ezelőtt a Frankl—Wilson-tétel felhasználásával néhány soros levezetéssel megmutatták, hogy Borsuk klasszikus sejtése nem igaz.

— *Azért illetet volna ezt a saját érlelésű gyümölcsöt Péternek leszakítania, nem?*

— Hát igen... Emlékszem, röviddel az eredmény közzététele után találkoztam Lovász Lacival, aki sajnálkozva mondta, biztosan nagyon bosszanthatott, hogy a tételéből rövid úton levezethető igazságot nem én találtam meg. Azt válaszoltam, ha kerestem volna s nem jövök rá, akkor valóban szemrehányást tehetnék magamnak. De meg sem próbáltam megtalálni, mivel pont abban a néhány évben egészen más ügyekkel foglalatostkodtam Japánban. Ezzel együtt természetesen nagyon örültem volna, ha nekem sikerül rájönnöm a bizonyításra, de azért így is büszke vagyok. Büszke, mert ez is bizonyítéka annak, hogy az a csoport, amely Magyarországon Erdős nyomán elkezdte ezeknek a halmazrendszereknek a kutatását, nem szellemi önkielégítést folytatott, hanem alapvető kutatást, amelyeket aztán a matematika több területén nyert alkalmaztak.

— *Első hosszabb tanulmányútja Franciaországba vezetett. Miért éppen oda?*

— Amikor egyszer csak visszagondolunk addigi életünkre, rádöbbenünk, mennyire apró dolgok képesek eldönteni sorsunkat. Az egyetemen egy évvel fölöttem járt jó barátom, *Lempert Laci*, akiről mindenki tudja, milyen kiváló matematikus. Egyszer, amikor az ELTE folyosóján összefutottunk, nekem szegezte a kérdést: nem akarsz franciául tanulni? A nyelveket mindig is szerettem, akkor már jól elsajátítottam a németet, de svédül, angolul és oroszul is tudtam. A franciához viszont nem volt kedvem. Lempert azonban rámenős volt, kiderült, azért kellettem nekik, hogy meglegyen a tizfős tanulócsoporthoz, akkor adott franciatanárt a nyelvi lektorátus. Mit tehettem, hagytam, hogy fölírja nevemet a francia-csoportba. Járni kezdtem az órákra, kiderült, nem is annyira nehéz a francia nyelv, gondoltam egyet: megtanultam. Eltelt egy év, 1974 elején, szintén a folyosón megállított a Doki. „Te ugye tudsz franciául?” — kérdezte. Mondtam, hogy igen. „Van egy francia ösztöndíj, nem akarod megpályázni?” Megpályáztam, megkaptam, 1975-ben hét hónapig Franciaországban voltam ösztöndíjas.

Előző évben sikerült bebizonyítanom Katona Gyula egy sejtését. Ez lett az első cikkem, amely 1975-ben jelent meg a *Journal of Combinatorial Theory*-ben. Ezután Gyuszi levelet kapott a Párizsban élő orosz származású, kissé furcsa matematikustól, *Mikhael Dezától*. Ebben Deza udvariasan megdicsérte cikkemet a tanáromnak. Ezek után a Párizsba indulásom előtt Katona Gyulától megkaptam Deza címét. Dezának köszönhetem, hogy Párizsban újra találkozhattam Erdőssel. Sok érdekes problémát megtudtam tőle. Így kerültem kapcsolatba az Erdős—Ko—Rado-tétellel. Dezával később, 1980-ban irtunk egy összefoglaló cikket, „Az Erdős—Ko—Rado-tétel 20 évvel később” címmel. Ekkor tudtam meg Palkó bácsitól, hogy nem hüsz, hanem már negyven évvel korábban bizonyították a tételüket.

— *Őn a hetvenes évek végén elhagyta Magyarországot. Tudatos elhatározása volt, hogy kinn marad?*

— Kimenetelemkor még nem döntöttem, s hogy ez mégis így alakult, azt Dezának köszönhetem. 1979-ben meghívtak Montrealba, ahova Párizson keresztül utaztam. Vasárnap este érkeztem Párizsba, másnap délután indult a gépem Montrealba. Deza akkor közölte velem, hogy szerzett nekem állást a CNRS-ben, hétfőn 9 órára kell odamennünk, aláírom a papírokat, és a dolgozójuk leszek. Így azután Kanadába már a CNRS kutatójaként érkeztem. Ugyanakkor az aláírással illegális állapotba kerültem, elvágtam a hazavezető utat... Ez idő tájt Babai Laci Ohióban dolgozott, meghívott oda, s akkor született a Frankl—Wilson-tétel, de erről már beszélünk.

— *CNRS-beli státusa, gondolom, előnyökkel is járt.*

— Így igaz. Franciaországban jó körülmények között élhettem, s a CNRS csereegyezményei révén a világ számos országába gondtalanul eljuthattam. 1978-ban teljesült régi vágyam: két hónapot Stockholmban tölthettem. Középiskolás koromban azért tanultam svédül, mert hittem, hogy a svéd lányok mind szókék és szépek, s az olyan fiúkat szeretik, amilyen én vagyok. Ebből azután semmi sem volt igaz. Svédország óriási csalódást okozott. Magyarországon közvetlen módon soha nem különböztettek meg azért, mert zsidó vagyok. Ezzel szemben Svédországban többször megtették, hogy nem engedtek be egy étterembe vagy kávéházba, ahol üresek voltak az asztalok. Fekete szemembe néztek, lát-

ták, a hajam is sötét, s hiába szoltam hozzájuk svédül, jugoszláv vendégmunkásnak tekintettek, aki számára nincs hely.

Azért jó dolgok is történtek velem. Fűredivel és Katonával elhatároztuk, hogy könyvet írunk az extrémális halmazrendszerekről. A könyvből semmi nem lett, hármunk együttgondolkodásából azonban sok, nekem tetsző tétel született.

— *Két éve Erdős Pál tiszteletére nagy matematikai konferenciát rendeztek Budapesten. A világ minden részéről szinte mindenki itt volt, aki Erdöst szerette és tisztelte. Ön azon sajnálkozott, hogy jó barátjával, Vojtěch Rödl cseh matematikussal itt nem találkozhatott. Rödllel közösen még a nyolcvanas években megoldották Erdős Pálnak egy 1000 dolláros problémáját. A díjalap sejteti, hogy ez nem lehetett akármilyen teljesítmény.*

Rödl hozta a problémát, melyet Erdősnek egy cikk-kéziratában talált. Palkó bácsi kezdetben 500 dollárt ígért a megoldásért, amit hamarosan 1000 dollárra emelt. Véges halmazokról, tehát bizonyos értelemben extrémális halmazokról szóló probléma volt. „Ez neked is remek feladat lenne” — mutatta Rödl. Nekiestünk. Mindkettőnknek voltak elképzelései, kezdetben mind-mind zsákcának bizonyult. Semmi sem sikerült. Azután, miként az életben is gyakran, amikor az ember már nem bírja tovább, legszívesebben feladná, jön egy nem várt reménysugár, az felvillanyoz. Egyszerre frissebbek, energikusabbak leszünk, egyre meggyőzöbben érezzük, menni fog! Közben haladunk előre, rájövünk kisebb nagyobb részletekre, s a mozaikok lassan képpé állnak össze. Emlékszem, mi is eljutottunk odáig, hogy már csak egy lépés kellett a megoldáshoz. Egy halmazrendszer által definiált többváltozós, magas fokszámú polinomnak a maximumát kellett megbecsülni. De hogyan? Szeptember volt, megérkezett hozzám Prágába egyik gimnáziumi jóbarátom, *Kerékgyártó Pista*, aki nálam is jobban szereti a szebbik nemet...

— *Van ennek köze a megoldáshoz?*

— Csak áttételesen. Pistával elhatároztuk, hogy a prágai estét egy diszkóban töltjük, táncolunk, igyekszünk megismerkedni cseh lányokkal, aztán majd meglátjuk... A fejembe azonban makacsul befészkelte magát Palkó bácsi problémája. Azután, amikor az egyik cseh kislánnyal táncoltam, megvillant az agyam: aha, így kellene megoldani!

— *Ilyenkor mit tesz az ember?*

— Megvártam, míg a szám véget ér, utána rohantam telefonálni Rödlnek. A kora őszi este vége az lett, hogy Pista egy cseh lánnyal töltötte az éjszakát, én ezzel szemben Vojtěch Rödllel egy papírlap fölé hajolva. Izgatottan számoltunk, ellenőriztük, helyesnek bizonyul-e a gondolatom. Az volt. Egy év múlva Rödl nagy állami kitüntetést kapott. A hivatalos indoklás egyik fő pontjaként leírták, hogy Frankl Péterrel közösen megoldotta Erdős Pál híres problémáját. Ez volt az első és utolsó alkalom, amikor nevem a cseh sajtóban megjelent.

— *Korunk divatja vagy talán követelménye lett a közös szerzős publikáció. A fizika modern ágaiban valóságos kis hadseregek végzik a kísérleteket és írnak cikkeket. A matematika talán a leginkább individuális tudomány. Am itt is szaporodnak a közös szerzős cikkek. Hogyan osztható el ilyenkor a közös torta? Mikor, mitől jó az együttműködés?*

— Ron Graham, akitől a zsonglorködést tanultam, egyszer azt mondta, hogy a két szerzős cikk akkor igazán jó, ha mindketten annak 60—60 százalékát csinálták. Ezen azt értette, hogy mindkét félnek elégedettnek kell lennie, tisztességesen hozzáadta a maga részét a közös erőfeszítéshez. Talán kicsit többet is, mint a társa. Nem sokkal többet, mert ez az érzés már feszültségeket szülhet. Elgondolkodtathat, talán egyedül is képes lettem volna feljutni a csúcra. Akkor pedig minek cipelem magammal a társamat? Nagyon sok, korábban sikeres párost láttam már felbomlani a matematikában és az életben, a házasságban emiatt. Mert az egyik fél huzamosabb ideje érezte, hogy lényegesen többet ad a közös ügységhez, mint a társa.

— *A közös munka tehát egyéni hozzáállástól is függ.*

— Természetesen. Úgy érzem, a matematikában egyedül is sok mindent elérhetünk. Ugyanakkor vannak egészen kiváló matematikusok, akik egyedül nehezen írnak cikket. Szemben például azokkal a típusokkal, akik a matematikai diákolimpiákon díjakat nyer-

nek. Őket már gyermekkoruktól arra nevelték, hogy gondolataikat érthetően és tömören fogalmazzák meg. Akiből ez a képesség hiányzik, még lehet nagyon jó matematikus. Rödl barátom is ilyen. No persze, amióta Amerikában él, rákényszerült, hogy valamennyire megtanulja a cikkírást. Zseniális elme, de gondolkodásmódjára talán leginkább a *fuzzy* jelző illik. Egy bizonyítás az ő fejében úgy...

— ... *gomolyog*.

— Jól mondja. Az ilyen ember a bizonyítás menetét nehezen tudná leírni, bár nagyon helyesen és láttatóan beszélget róla. Neki kell egy társ, aki segít összerakni a gomolygó ködből formálódó struktúráját. Hadd mondjak magyar példaként két nevet. Mindkettőjüket jól ismeri, szerepelnek a *Megélt matematika* című könyvében: Lovász László és Szemerédi Endre. Lovász László már diákkorában is szinte minden matematikaversenyt megnyert, a matematikai diákolimpiákon nagymesteri szinten szerepelt. Ő az, aki nagyon súlyos feladatokkal is képes egyedül megbirkózni, cikkei világosak, összefogottak. Szemerédi Endre életének legnagyobb eredménye az Erdős—Turán-féle probléma megoldása, mely ötven éve állta a matematikusok rohamát. Szemerédi fejében ott gomolygott a megoldás. Barátjának, *Hajnal András*nak köszönhetette, hogy cikk lett belőle. Ő értette meg először Szemerédi gondolatmenetét, majd hosszú, kitartó munkával cikké formálta.

— *Ezzel együtt nem írta oda a nevét társszerzőnek, a megoldás maradt egyedül Szemerédi Endréé. Ezt én végtelenül tisztességes, humánus lépésnek tartom.*

— Látja, ebből a szempontból volt nagy szerencsém, hogy Magyarországon kúttam fel, mert itt sok becsületes matematikus között nevelkedhettem. A Matematikai Kutatóintézetben szinte csak ilyen emberekkel találkoztam. Kellemes, inspiráló környezetben dolgozhattam, a kutatóintézeti szemináriumokon nyugodtan beszélhettem születőfélben lévő eredményeimről, senkinek sem jutott eszébe kisajátítani. Ellenkezőleg, hozzászólásokkal segítettek is. *Beck Józsi* elmondta az ötletét, *Sós Vera* feltett egy kérdést... Nagyon jó volt ilyen légkörben dolgozni. Természetesen a baráti szellem nem zárta ki az egészséges rivalizálást. Mindenki igyekezett megmutatni, hogy ő milyen jó, szép, okos, értelmes... Meglehet, ennek kialakulását segítették a körülmények: Magyarország kis ország, a Matematikai Kutatóintézetben 60–70 ember dolgozott, mindenki mindenkint ismert. Így azután, ha valaki ellenszenvesen viselkedik, annak gyorsan híre megy, mindenki tudja majd róla, hogy kapzsi, szélhámos, megbízhatatlan. Mindegy, mi volt az oka, a lényeg az, hogy Magyarországon nagyon ösztönző és tisztességes közösségben lehetett matematikusként dolgozni.

— *A világban másutt nem ezt tapasztalta?*

— Bizony nem! Számomra nagy csalódást okozott ebből a szempontból Amerika. Ott bizony gyakran megesik, ha elmondjuk az eredményünket egy szemináriumon, később megdöbbenve viszontláthatjuk más neve alatt, aki saját ötleteként megírta, gondosan kerülve a ránk utaló hivatkozást. Amikor pedig szóvá teszed, csak értetlenkedés a válasz: igen-igen, te mondtál valamit, de az egészen más volt.

— *Azért ilyen eset más tudományban is előfordul.*

— Másutt még inkább, amitől persze nem lesz jobb kedve az embernek. Igaz, régebben is történt ilyesmi a matematikában, hiszen még a legnagyobbinak tartott *Gauss* is igyekezett mások eredményeit a magáénak tulajdonítani. *Bolyai Jánossal* is ezt tette. Elolvasta a neki elküldött Appendixet, azonnal megértette, fejében saját eredményévé változtatta.

— *Van egy ehhez kapcsolódó kedves történet, Erdős Pál mondta el a Gólyavárban tartott előadásában. Erdős és Ulam a negyvenes években megoldottak egy számelméleti problémát, de nem publikálták. Húsz vagy harminc év múlva, nem tudva Erdősék eredményéről, egy fiatal indiai matematikus is rájött a megoldásra. Elküldte kéziratát Erdősnek, kérte a véleményét. Erdős gyorsan válaszolt: szép eredmény, gyorsan publikálja. A fiatal ember cikke ezután megjelent. Csak később tudta meg másoktól, hogy ezt a tételt Erdősék már bebizonyították, csak nem tették közzé. Megkérdezte Pali bácsit, miért nem szólt neki erről, amikor a tanácsát kérte. A válasz igazi erdösi és gyönyörű szép: „Nézzé, ebben az egyben nem szeretnék Gaussra hasonlítani”.*

— Ez tényleg csodálatos történet, köszönet érte.

— *Akkor most egy nehezebb feladatra kérem. Nézze kissé kívülről magát. Miként látja, mitől lett ön sikeres a matematikában? Mely tulajdonságai hozták az eredményeit?*

— Nagyon fontos ráérezni arra, mi az a probléma, amit képesek leszünk megoldani. Könyveket, cikkeket olvasunk, előadásokra járunk, de az interneten az e-mailen keresztül is számos problémáról értesülünk, és magunk is felvetünk kérdéseket. Ki kell tudnunk szűrni a számunkra érdekeseket és reményteljeseket. Vannak nagyon tehetséges matematikusok, akik évtizedekig gyürkőznek súlyos kérdésekkel, s a végén semmi sem jön ki nekik. Nekem is voltak olyan problémáim, amikkel évekig küszködtem, a végén azért mégis célba értem.

— *Akkor hát mi a titok?*

— Kell tehát a jó ráérvés, utána erő és kitartás, amikor az ember belehajt, ráveti magát a problémára. Hinnünk kell a megérzéseinkben, akkor is, amikor heteken, hónapokon keresztül sehol semmi eredmény, amikor a dzsungelen kell keresztülverekedni magunkat, járatlan terepen, magunk vágta ösvényeken. Bizni kell abban, hogy kiérünk a rengetegből. Mindehhez jókora önbizalom s bizonyos szintű hiúság kell. Szívós akarat: azért is megmutatom a világnak, mire vagyok képes!

— *Ön kiválóan zsonglörködik. Akadémiai székfoglaló előadását matematikai és zsonglörmutatványok egymást követő sorára építette. Ilyent még nem láttak az Akadémia öreg falai. Hogyan, mikor kezdett zsonglörködni?*

— Erdős Pál hatvanadik születésnapját ünnepeltük Keszthelyen. Ott tanított meg Ron Graham három labdával játszani. Megtetszett, azóta sem hagytam abba, sok mindent megtanultam, a gyakorlásra pedig időt szakítok.

— *Kiderült, hogy ehhez is van tehetsége?*

— Nem voltam teljesen tehetségtelen, de itt inkább a kedvem és szívósságom, az akaratom nagy. Kezdetben volt, amikor hat-hét órát gyakoroltam tűző napon, hogy megtanuljak egy-egy mutatványt.

— *Ennek a szakmának a „diplomáját” is megszerezte.*

— Igen, közvetlenül az egyetem elvégzése után sikeres artistavizsgát tettem. Ezután már hivatalosan felléphettem zsonglörként.

— *Akkor már kandidátus volt. Hogyan fogadták el a kollégák Frankl Péter két életét: napközben a kutatóintézetben dolgozott, este pedig fellépett egy sarokkal odébb, az Astoria bárban?*

— Az Astoriában sajnos sose léptem fel, de egy diszkóban igen, a nevét sajnos már elfelejtettem.

— *Mit szoltak ehhez a Matematikai Kutatóintézetben?*

— Nézze, amikor én odakerültem, az intézetben hárman tudunk erőkezenállást csinálni: Fejes Tóth László, az intézetigazgató — Laci bácsi akkor már elmúlt hatvanéves —, Katona Gyula, a csoportvezetőm és én. Ebből a sorból tehát nem lógtam ki. Nyilván voltak olyan matematikusok is, akik a zsonglörködést komolytalannak tartották.

— *Sokat jelenthet ez Önnek, ha sikeres matematikusként is annyi időt áldoz rá.*

— Említettem már, engem a gimnáziumban mindenki ismert, igyekeztem mindenkivel jöbän lenni, kapcsolatot tartani. Mindig azt éreztem, hogy széles kommunikációs közege van szükségem. Az okos emberekkel való kapcsolattartásra a tudomány világa kiváló közege. Az átlagos ember, az utca embere azonban távol áll ettől a világtól. Hiányozna, ha velük nem tudnék szót érteni. Ehhez a kapcsolatépítéshez ad segítséget a zsonglörködés.

— *Miért fontosak önnek ezek a kapcsolatok?*

— Azért, mert a tudás és a jószág többnyire egymástól független matematikai változók. Magyarországon az egyetemen és a kutatóintézetben nagyon sok jó ember vett körül. A nagyvilágban ezzel szemben sok rossz emberrel találkoztam a matematikusok között, akik ellopták a másik eredményét és más jellemtelenségeket tettek. Mai élettapasztalatom azt sugallja, hogy a kisebb tudású emberek között lényegesen több a jóindulatú, mint az okosak között. Ráadásul a rosszindulatú okos ember sokkal versenyképesebb: jobb szél-

hámos, ügyesebben álcázza jellemhibáit. Lehet, hogy az egyszerűbb emberekhez fűző kapcsolatok igénye apám hatása. Körülötte ilyen emberek sokasága volt, megtalálta velük a hangot, rájuk mindig számíthatott, megbízhatott bennük. Gyakran sokkal jobban hihetett nekik, mint tanult, egyetemet végzett kollégáinak.

— *A jól sikerült zsonglórmatutvány közben, gondolom, jó érzés kissé a központban is lenni.*

— Igen, szerettem a népszerűséget, ha erre gondol, és elismerem, van bennem némi feltűnési viselkedés. Gimnazistaként például fogadásból a rendőr szeme láttára kézalásban mentem át a zebrán. A rend őre persze elkapott. Vitáztunk egy kicsit, végül elismerte, hogy a KRESZ nem írja elő, hogy csak lábbal mehetünk át a zebrán. Ha a lámpa zöld, miért ne mehetnénk át a kezünkön?

— *Japán. Ez az ország különösen kedvessé vált Frankl Péter számára. Hogyan? Miért?*

— Életem nagy fordulata 1982-ben történt, amikor három hónapra Japánba utaztam. Az országba már az első látásra beleszerettem. Pontosabban, még a megérkezés előtt a repülőgép légkísasszonyába. Házasság nem lett belőle, de boldogok voltunk és végtelen sokszor mentünk nászútra. Ő az indiai légitársaságnál dolgozott, tizenkét napig volt szolgálatban, majd ugyanennyi szabadidőt kapott. Amíg távol volt, én Tokióban egyedül matematizáltam, amikor megérkezett, együtt elutaztunk valamilyen kellemes helyre. Nagyon sokat dolgoztam, sok jó cikket írtam ebben az időben.

— *Ezen kívül mi vonzotta Japánhoz?*

— Külföldiként ebben az országban éreztem leginkább otthon magam. Franciaországban, hiába beszéli jól a nyelvüket az ember, ennek ellenére „piszkos külföldi” marad. Angol sem lesz belőled, hiába éled le ott az életed. Amerikában sem éreztem soha jól magam. Ezekben az országokban természetesnek veszik, ha más is beszéli a nyelvüket. Emellett Amerikától az is taszított, hogy úgy éreztem, az ottani társadalom *az ember értéke = az ember vagyona* egyenletre épül. Ezt nem tudom elfogadni, hiszen lehet vagyontalanul is nagyon értékes az ember — mint Erdős Pál, vagy fordítva. A japán, ha az anyanyelvén szólsz hozzá, elcsodálkozik, örül neki, barátságos lesz veled. A japán az egyik legnehezebb nyelv, amellyel a világban valaha is találkoztam. Ha valaki vállalja a nehézségeket és nagy erőfeszítésekkel megtanulja a nyelvüket, ezt ők nagyra értékelik.

— *Japán nem a világ matematikai nagyhatalma. A Frankl Péter típusú individuumok nem az ottani kissé szürke, uniformizált világba valók. Ön mégis otthon érzi magát. Ismét csak: miért?*

— Azért nagyon sok kiváló japán matematikus van. Hárman kaptak Fields-érmét, s a Fermat-sejtés megoldásához az egyik döntő hozzájárulást is ők adták, gondoljon csak a Taniyama—Shimura-sejtésre. Igazából persze nem a matematikai életük vonzott. Sokkal inkább a japán ember életszemlélete. Ott az az értékes ember, aki sokat dolgozik. Lehet nagyon sok pénz, megtehetnéd, hogy otthon lógatod a lábaid vagy a világ számos szép helyén élvezed az életet, de nem, a japánok életfelfogása szerint akkor is dolgoznod kell. A társadalom csak akkor fogad el értékes egyedéneket.

— *No, ettől mi még messze vagyunk!*

— Azt hiszem, Magyarországon jelenleg az emberek nagy többsége azt tartja ideális állapotnak, amikor a lehető legkevesebb munkával a lehető leggyorsabban és legnagyobb mértékben meggazdagodhat. Japán megadta számomra annak a lehetőségét, hogy a matematikán kívül más, értelmesnek tartott tevékenységet is folytathassak.

— *Mire gondol?*

— A matematikai ismeretterjesztésre.

— *Ez azért nálunk sem tabutéma.*

— *Ez igaz, de emellett Japánban, mint a nyelvükön jól tudó külföldit, akinek véleménye van országukról, róluk, rendszeresen meghívják különböző televízióműsorokba. S miután híres ember lettem, sok helyre várnak előadást tartani. Az előadások általában nem a matematikáról szólnak, hanem a csupa nagybetűs életről.*

— *Például miről?*

— Gyakran tartok előadást *Az élvezetes élet egyenlete* címmel. Hozzá kell tennem, amit Gyula is mondott, hogy Japánban zömmel szürke emberek élnek. Japán demokratikus ország, az embereknek mégsem sikerült egyéni szabadságjogaikat kiteljesíteniük. Azt hiszem, ebben az irányban pozitív hatással lehetek rájuk.

— *Elfogadják a világ másik feléről jött ember tanácsait?*

— Szeretem Japánt, s ezt kiérzik a szavaimból. Soha nem úgy közelítek hozzájuk, hogy szerintem ők mit csinálnak rosszul. Mindig a magam életét hozom fel példának. Számukra elég ellentmondásos dolog, hogy én neves matematikusként hétféteken bohócruhában zsonglörködéssel szórakoztatom az utca emberét.

— *Tényleg kimegy Tokióban az utcára és ott buzogányokat, labdákat dobál a magasba?*

— Igen, havonta két-három alkalommal zsonglörködöm sok-sok ember előtt. Utána velük is elbeszélgetek arról, miként lehetne színesebb és érdekesebb az életük. Nekik és az előadásaim hallgatóinak is felteszem a kérdést: ha én hétfőtől péntekig becsületesen és keményen dolgozom, cikkeket, könyvet írok, tanítok, akkor vasárnap miért ne zsonglörködhetnék az utcán? A rendszer munkát mindenkitől elvárhatják, de hogy miként töltjük el szabadidőnket, már magánügyünk.

— *Matematikát ismeretterjeszteni az egyik legnehezebb vállalkozás.*

— Ez igaz.

— *Könnyebb Japánban az átlagembernek matematikáról beszélni, avagy nehezebb, mint idehaza?*

— Amikor a matematika legújabb eredményeiről esik szó, könnyebb az előadó helyzete Japánban. Ott ugyanis magasabb az emberek matematikai műveltsége.

— *Mitől?*

— Japánban magas szintű az oktatás, lényegében már száz éve megszűnt az írástudatlanság. A japánok több mint kilencven százaléka elvégzi a középiskolát. Oktatási rendszerük valóban szürke egyéniségeket nevel, de bizonyos szintig mindenkit fölvisz. Magyarországon, ha Józsi bácsinak szeretnénk elmondani egy érdekes matematikai feladatot, valószínűleg meg sem hallgat. Megkaphatjuk: kell ez a kutyának! A japán ember azonban szinte naivan becsületes. Ha megszólítod, rád figyel, meghallgatja a problémádat, s hajlandó elgondolkodni rajta. Meglehet, végül nem nyeri el a tetszését, akkor azt is megmondja. A szürke emberek irányíthatósága így jóra is vezethet, szemben a teljes szabadsággal, amikor oda sem figyelünk a másikra.

— *Úgy tudom, a Nemzetközi Matematikai Diákolimpiákra Ön készíti fel a japán fiatalokat. Gondolom, ott is vannak matematikai tehetségek.*

— A japán fiatalok között nagyon sok a kiváló, tehetséges ember. Ez érthető, hiszen Japán lakossága tizenkétszerese Magyarországnak. A fiatalokat nemcsak matematikából igyekszem felkészíteni, hanem emberi példával is szolgálok. Most itt van velem Budapesten az egyik exdiákom, aki Párizsban tanul. Ma délben együtt zsonglörködtünk a Vörösmarty téren.

— *Frankl Péter katonaviselt ember.*

— Sajnos igen.

— *Nem akármilyen tortúra lehetett a katonaság annak, aki oly nehezen túri a kötöttséget.*

— Az embernek legkevesebbje az időből van. Másfél évet eltölteni a katonaság kötelékében egy matematikusnak közel két százaléknyi az életéből elvett, elveszett idő. Leginkább ez bántott. Az egyetem után vonultattak be, előtte lettem kandidátus, telve voltam matematikai gondolatokkal és ambícióval, szerettem volna minél több új eredményt elérni, cikkeket írni. Ehelyett, legértelmesebb elfoglaltságként, a seregben szovjet gázálcok orosz nyelvű használati utasításait fordítottam magyarra. Végül hat hónap után elengedtek.

— *Elvettek Öntől fél évet. Tüsként maradt ez önben?*

— Az első nagyobb pofon volt, amit az élettől kaptam. Túléltem. Manapság már csak emlék.

— *Közrejátszott abban, hogy végül vándorútra kelt?*

— Többen azt gondolták, hogy megsértődtem, s ez indított útnak. Nem, hanem amint már említettem, Mikhael Deza barátom szerzett nekem tudtomon kívül állást a CNRS-ben, a nemben kitöltötte, aláírta és beadta a hivatalos álláskérelmet.

— *Mennyire viselte meg 1979 májusában Párizsban a hídégető döntés: többé nem térek haza?*

— Utána néhány hónapig elég bizonytalan lelkiállapotba kerültem. Apám hetvenéves volt, akkor ment nyugdíjba, őt már nem kellett a munkahelyi zaklatásoktól féltennem. Ezzel együtt nagyon rossz nyaram volt Párizsban. Kedves barátnóm otthon maradt, egyedül voltam, azon ábrándoztam, mit nem adnék azért, ha a Balatonnál lehetnék a sok keletnémet és a többi lány között.

— *Valamit valamiért!*

— Igaz. A CNRS magas fizetést és maximális szabadságot adott. Életemben első ízben tapasztaltam meg, mit jelent, ha az ember szabad és maga dönthet arról, mit tegyen.

— *Ma is szabadnak érzi magát?*

— Igen, annak. Persze, nem abszolút, parttalan a szabadságom. Ha én megegyezem *Staar Gyulával*, hogy hétfőn egy órakor találkozunk a *Természet Világa* szerkesztőségében, akkor nem telefonálok ide délben, hogy nagyon szép az idő, inkább elmegyek a Lukácsba, úszom egyet. Mert az is egyfajta szabadság lenne, csak felelőtlen szabadság. Amikor a titkárnóm leköt nekem egy előadást Tokióban, mondjuk jövő év március 15-re, én biztosan ott leszek és megtartom. Ha még életben vagyok, ott leszek.

— *Mennyire tervezi meg a jövőt?*

— Olyan nagyon nem. Van egy japán közmondás: amikor a jövőről beszélünk, nevetnek az ördögök. Nincsenek hosszú távú terveim. Csupán annyi, hogy szeretném az idóm kilencven százalékát értelmes tevékenységgel tölteni.

— *Idejének mekkora hányadát fordítja matematikára?*

— Amikor 20—25 éves voltam, tevékenységem nyolcvan százalékát a matematika töltötte ki. Ma örülök, ha ennek fele jut rá. Ezzel együtt a matematika továbbra is az egyik legfontosabb dolog az életemben. Amikor futni megyek, mindig előre eldöntöm, melyik problémán gondolkozom az utcán töltött 30—40 perc alatt. Minden este, amikor a párnára hajtom a fejem, valamilyen matematikai feladat foglalkoztat, szeretném mielőbb megoldani. Ugyanakkor értelmes és fontos tevékenységének tartom a tudomány közkinccsé tételét, az ön munkáját, ismeretterjesztő cikkek, könyvek írását. Az új generációk fölnevelését és az ezt segítő hasznos ismereteket átadó televízióműsorok készítését.

— *Milyen nyelven gondolkozik, álmodik?*

— Amikor egy hétig Magyarországon vagyok, már magyarul, de odakinn gyakran japánul. Két éve történt meg velem, hogy álmomban előjött apám, beszélgettünk... Hirtelen felriadtam, milyen furcsa, hiszen álmomban apám japánul válaszolt. Ez lehetetlen!

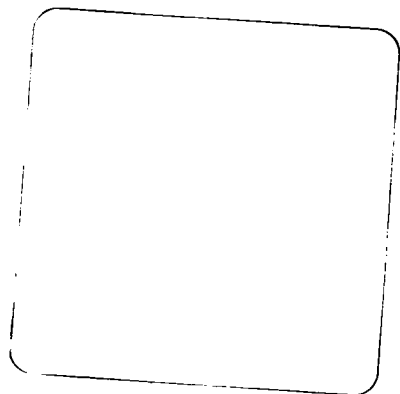
— *Önt nem hagyja hidegen a női nem, ennek ellenére máig nem alapított családot.*

— Talán ez is a szabadságvágy miatt van. Engem valóban érdekel a szebbik nem, a japán, az ázsiai nők különösképpen vonzanak. A japán nők azonban a magyaroknál is féltékenyebbek. Amikor egy hölgyet az ember végérvényesen elfogad, ezzel lemond a további néhány milliőről.

— *Ez jól hangzik, de nem gondolkodott el azon, hogy a nagy szabadságvágyban kivételes értékeket hagyhat elmenni maga mellől? Az ember a „rabságot” is választhatja szabad akaratóból.*

— Azt hiszem, igaza van. Végül is az életben döntéseket kell hoznunk, s vállalnunk kell azok következményeit. Bizom benne, hogy még véges időben meghozom a szükséges döntést.

Staar Gyula



A BARÁTSÁGOS BIOTECHNOLÓGIA

Nem költői kísérletnek, hanem annak az örömmel tulajdonítható a szemleíró részéről a címben feltűnő alliteráció, amely akkor érte, amikor kezébe vette a növényi biotechnológiáról és géntechnológiáról szóló tankönyv friss kiadását. Az első, ami feltűnik, a dekoratív borító, majd a szép papír, a jól olvasható szöveg és a gazdag bőségben szereplő ábrák. A szövegbe belemerülve izgalmas szellemi sétára indulhat az olvasó, hiszen ez a tankönyv igencsak messze esik a sikerületlen tankönyvek szárazon tanító stílusától, az unalmas, bemagolni való tételektől. A fejezetcímek, alcímek és tizedes osztályozással tagolt témák önmagukban is felkeltik az érdeklődést, sőt, ami talán még rokonszenvesebb, önmagukban is kerek, olvasmányos esszék formájában jelennek meg. Persze egy meghatározott biológiai alapképzettségre szüksége van az olvasónak, de ez semmivel sem több, mint amennyit egy mai jó gimnázium nyújt a diákjainak. Nem túlzás, ha azt mondom, hogy ebből a könyvből a növényi biotechnológiát biztosan, de általánosabb értelemben a sejttan, a növényélettan, a genetika, a géntechnológia lényegét önképzettséssel is el lehet sajátítani.

A lelkes örömet a sajnálkozás váltja fel akkor, amikor a rádiót bekapcsolva, vagy az újságokat olvasva hallja és olvassa a szakmában némileg járatos olvasó azt a

rengeteg indokolatlan félelmet, misztifikált tudatlanságot, amellyel a géntechnológia ellen kívánnak — bármilyen feltűnő szándékkal is — fellépni. A szerzők, *Dudits Dénes* és *Heszky László* bölcs szemléletét jelzi, hogy tankönyvük zárófejezete közérthető egyszerűséggel mutatja be a növényi géntechnológia társadalmi jelentőségét és problémáit, beleértve a világban és hazánkban is érvényes törvényi szabályozásokat. Nem kevésbé fontos a könyv záróakkordja, amely szinte tézisszerűen összefoglalva világos egyszerűséggel mutatja be a növény-biotechnológia szerepét a fenntartható fejlődésben, kiemelve a hazai lehetőségeket és feladatokat.

A tankönyv fontosságát egy pillanatilag sem kétségbe vonva, vetem fel a kérdést, hogy a tudományos ismeretterjesztésben is lelkesen dolgozó, kitűnő tollú szerzők nem kívánnak-e a szélesebb közönség számára is kiadni egy hasonló művet. Nagy szükség lenne rá.

Azt, hogy a hazai molekuláris biológiai kutatások előkelő helyet foglalnak el a világ tudományos életében, eddig is tudtuk. Az 1970-es évek végétől, különösen az alapkutatások területén, elsősorban a Szegedi Biológiai Központ munkájára épülve forradalmi változás következett be a hazai biológiai kutatásban. Ez a lendület — az egyre romló kutatási feltételek között is — mind

a mai napig tart. Mégis különös öröm és elégedettség töltheti el a hazai olvasót, ha ennek a könyvnek a hivatkozásait látja. Nincs olyan fejezet és szinte nincs olyan bekezdés, ahol a szerzők ne tudnának hivatkozni — és ne hivatkoznának — a köztünk dolgozó hazai szerzők úttörő eredményeire.

A könyv második, bővített és átdolgozott kiadás. Mi sem bizonyítja jobban a terület rohamos fejlődését, mint a jelen mű összevetése az alig egy évtizeddel korábban megjelenttel. A szakmában kissé járatos olvasó számára is rutin eljárásnak tekintett műveletekről egy évtizeddel ezelőtt még sejtelnünk sem volt. És feltehetően ha tíz év múlva sor kerül egy újabb kiadásra, ennek a könyvnek is jelentős része a történeti fejezetet fogja gyarapítani.

A könyv vonzó meglepetése, hogy rendkívül szerencsésen *ötvözi az elméletet, az alapismereteket a módszertani eljárásokkal, a növénynemesítési célokkal*, sőt a növénytermelési gyakorlattal. Az előszóban találóan megfogalmazott célok roppant egyszerűek. Az emberiséget — feltéve ha élni akarunk — egyre csökkenő termőterületen kell ellátni, egyre több élelmiszerral. Ezen alapvető cél mellett a növényi termékek, a primer szerves anyagok, az ipari termelés számára is alapanyagot, valamint energiát is szolgáltatnak. A mindennapos zurnalisztikában, a hirdetésekben se szeri, se száma a bio előtagot viselő termékeknek. De hogy miként lehet előállítani ezt a minőséget és termékmennyiséget, arra a klasszikus növénytudományok és a hagyományos növénynemesítés már nem tudnak válaszolni. E probléma megoldására csak a molekuláris biológia, biotechnológia és géntechnológia legújabb eredményeit és módszereit felhasználó, megújult növénynemesítés ad feleletet. Fel lehet tenni a kérdést, hogy csak a módszerek változtak-e, vagy pedig gyökeresen új megközelítéssel kísérli meg az emberiség szükségleteinek fedezését. A válasz a szerzők szerint az utóbbi. A növények képességeinek, tulajdonságainak mesterséges megváltoztatása nem a sok ezer éves nemesítési, keresztezési és szelekciós gyakorlattal, vagy egy-egy spontán mutáció kiemelésével folyik tovább, hanem az élő szervezetek működését vezérlő genetikai

programok célzott módosításával. A szerzők egy rövid mondatban említik ugyan — de mindenképpen nagyobb figyelmet érdemel az a gondolatuk —, hogy a nemesítés és a mezőgazdasági termelés lehetőségeinek ilyenén való kiszélesítése egyben a környezet és a természeti erőforrások védelmét is jelenti. A kisebb termőterületen, például a rezisztencia nemesítés révén jóval csekélyebb vegyszerfelhasználással, vagy akár anélkül, netán a biológiai nitrogénkötés képességének beépítésével minimálisra csökkentett műtrágyázással folytatott termelés ad módot arra, hogy ne kelljen újabb esőerdőket vagy értékes sztyepp területeket elpusztítani, ne kelljen a természetes társulásokat kiirtani ahhoz, hogy termőföldhöz jussunk, és ne terheljük tovább intenzív agrotechnikával, vegyszerekkel — esetleg visszafordíthatatlan változásokat okozva — jelenlegi kultúrtájainkat.

A könyv a didaktika szabályai szerint *az alapok bemutatásával*, a fogalmak definíciójával, a tudományterület tárgyának, céljának, gazdasági jelentőségének és módszereinek bemutatásával kezdődik. Egyszerűek, világosak és pontosak a fogalmak és a definíciók. Ez annál is fontosabb, mert az egyébként örvendetesen divatba jött fogalmak használata a mindennapi életben rendkívül zavaros. Ebben a fogalmi dzsungelben vágnak csapást a szerzők, bemutatva a technikai, technológiai eljárások egymáshoz való viszonyát, összefüggéseit is. Jó lenne ha a hétköznapi nyelvhasználatában is elterjedne a GM növények, azaz a genetikailag módosított növények kifejezés, amely világosan jelzi, hogy ezek sejtmagjába a géntechnológia molekuláris módszereivel juttattak be idegen gént, amely részévé vált az eredeti genomnak, működik és öröklődik. Így lehet egyértelmű különbséget tenni a hagyományos biotechnológia, a különböző biológiai eljárások, a bioaktív anyagokat felhasználó technológiák és az „új biotechnológia” között. Az új biotechnológia „minőségileg újat, új piacot és értéket teremtő, molekuláris és sejtgenetikai, valamint sejt- és szövettanyészeti eljárások, illetve azok eredményeit felhasználó technológiák összessége”.

Olvasmányos része a könyvnek a *növényi biotechnológia és géntechnológia története*. Egy tudományterület, ahol az alapok

megteremtése is e század szülötte, lendületes kialakulása pedig legfeljebb 2–3 évtizedre vezethető vissza. Rendkívül rokonszenves a szerzőknek az a törekvése, hogy ebben a nagy világáramlatban nem sajnálták a fáradságot és a helyet, hogy bemutassák a magyar kutatókat, kik nem csekély mértékben járultak hozzá a „sikerághoz” kiteljesedéséhez. Még mindig az alapokat jelenti a növényi sejtek *in vitro* tenyésztése, az organogenezis és a növényregenerálás eredményeinek bemutatása. A szaporodás biotechnológiáját tárgyaló nagy fejezet az ivaros és ivartalan utat és az erre épült módszereket taglalja. Természetesen a tankönyv nem receptkönyv. Kísérleti protokollt erre alapozva nem lehetne megírni, de nem hiszem, hogy létezne a világban olyan módszer, amelynek alapjait kitűnő példákkal és eredményekkel illusztrálni ne találnánk meg ebben a részben. Rendszerbe foglalva, az élő szervezet egységét szem előtt tartva követhetjük nyomon az embrió-kultúra, a generatív szervtenyészetek, a proto-kultúra biológiai alapjait és gyakorlati alkalmazásait. Szinte a gyakorlati alkalmazási feltételek bemutatásáig terjedően tárgyalja a könyv az ivartalan szaporodás biotechnológiáját. Érthető is, hogy miért tolódik el annyira a gazdasági jelentőség és a gyakorlati alkalmazás irányába ez a nagy fejezet, hiszen hazánkban is — akárcsak a világ korszerű mezőgazdasági kultúrával rendelkező országaiban — megkerülhetetlen és rutinszerű már ezeknek az eljárásoknak az alkalmazása.

Logikus felépítésének megfelelően a könyv ezután mutatja be a *sejt-genetikai és géntechnológiai módszereket*. Módszerekről beszél — legalább is az alcím —, de valójában a tudományos alapok, elméleti ismeretek átadása is megtörténik. És csak ez után következik a könyv csúcspontja, a géntechnológiai stratégiák és genetikailag módosított (transzgenikus) növények bemutatása. Jellemző alcím a „Növényi géntechnológia és a globalizáció”, mely egyértelműen utal a szerzők távolról sem elvont tudós szemléletére. Talán ezek a részek, a legnehezebbek a tanulás szempontjából, de a legérdekesebbek is. Olyan széles spektrumát mutatják be a transzgenikus növények előállítási és felhasználási lehetősé-

geinek, amelyek így összefoglalva még a téma iránt érdeklődő, de kívülről szakembert is meglepik. Egy kézikönyvnél vagy tankönyvnél nem csekély elismerést kell kiváltani annak a ténynek, hogy nem ritkák az 1999-ben megjelent közleményekre történő hivatkozások sem.

Szakmai szempontból lehetetlen a több mint 500 oldalas, mintegy 180 témát felvető és magyarázó könyv részletes elemzése, már csak azért is, mert minden elméleti, vagy módszertani téma a mű egyenrangú része.

A szűkebb szakmai részt, a már említett *társadalmi problémák* taglalása zárja. Természetesen helyt kap itt a transzgenikus növényfajtákkal és termékeikkel kapcsolatos kockázatok elemzése is. A laikust talán e fejezet ragadja meg legjobban. Az óriási lehetőség, amelyet a tudomány a kezünkbe ad, hogy az emberiség igényeinek megfelelően változtassuk meg a növények genetikai programját, természetesen rejt magában — ismereteink hiányosságai miatt — kockázatot is. A következményeket még nem lehet minden esetben pontosan megtervezni. Olyan új génkombinációkat lehet előállítani, amelyek az evolúció során soha nem következtek be. Egy növényi genomba vírus, baktérium, gomba, vagy akár állati és emberi gének építhetők be. A géntechnológia alkalmazása nem célzott következményekkel is járhat. Ez utóbbiak jelentik az eljárás rizikófaktorait. A szerzők kertelés és mellébeszélés nélkül veszik sorba ismereteinket és tapasztalatainkat a rizikótényezőkről. Az eredmény megnyugtató, amennyiben eddig semmiféle káros hatást nem sikerült kimutatni. Felelősségüket átérző kutatóként azonban nyomatékosan hangsúlyozzák, hogy a lehetséges rizikófaktorokat minden egyes GM növény, illetve géntechnológiai eljárás alkalmazása esetében külön-külön vizsgálni és elemezni kell.

A könyv érdemei mellett fájó szívvel kell rámutatni hibáira is. Szomorú, hogy egy ilyen értékes mű ilyen hanyag szerkesztéssel jelenik meg. Tudom persze, „a számítógép őrdoige” köszön ránk a helytelen sorvégi szó-elválasztásokból, az indokolatlan kötőjelekből, de ez sovány vigasz. A helyesírási hibák, betűhibák, hiányzó ábraszámzások, hiányos ábrajelek, idegen

szakkifejezések következtelen helyesírása, mind-mind az alapos korrektúra elmaradásáról árulkodnak. Hasznos ötlet, hogy a tartalomjegyzéket angolul is megjelentetik, de kár, hogy ebbe is hibák csúsztak. Nagy a felelőssége minden kiadónak és szerkesztőségnek, de különösen nagy egy tankönyv esetében, hiszen oktat és nevel is a mű, nyelvében, küllemében, igényességében.

Diákoknak, szakembereknek ajánlják a szerzők művüket. Magam jó szívvvel ajánlanám — a már említett ismeretterjesztő formáról is álmódzva — mindenkinek. (*Dudits Dénes—Heszky László: Növényi biotechnológia és géntechnológia. Agroinform Kiadó, Budapest, 2000. 312. o.*)

Matskási István

ÚJ FORDULAT ELŐTT A KÖZGAZDASÁG-TUDOMÁNY

A tiszteletreméltó közgazdász professzort, aki éppen vizsgáztatni készül, felkeresi egykori tanítványa. A professor asztalán a vizsgakérdések. Megnézhetném, miket kérdez professor úr mostanában? — érdeklődik a volt tanítvány. — Persze, — feleli a professor. — Ezek ugyanazok a kérdések, amelyeket húsz évvel ezelőtt is föltett — szól a meglepődött vendég. — Teljesen igaza van, de a válaszok egész mások, — mondja a professor. Ez az anekdota népszerű a közgazdász szakmában, hiszen igen sok kérdést, amivel a közgazdaságtan foglalkozik, már kétháromszáz évvel ezelőtt is föltettek a klasszikusok, sőt a tudomány egyes úttörői is. A XX. század végén azonban egyre kevésbé jellemző a történet, hiszen a kérdések is növekvő mértékben újak, nem is beszélve a válaszokról. Tény az is, hogy különösen a második világháború óta többet változott a közgazdaság-tudomány, mint az előző kétszáz esztendő során.

A magyar szakirodalomban is napvilágot láttak olyan vélemények az elmúlt években, hogy a közgazdaság-tudomány válságba került, mert nem képes sem reális képet adni a mai gazdasági rend működéséről, sem pedig átfogó és építő kritikát ajánlani hiányosságairól. A közgazdaságtan bírálói közül egyesek azt hiányolják, hogy nem alkalmas az előre tekintésre és lényeges kérdések helyett absztrakt és gyakran triviális témákkal foglalkozik, sőt a természettudományokkal összevetve nem is tekinthető a szó igazi értelmében tudománynak. Ezt egyebek között azzal

indokolják, hogy egy alapjában véve kaotikus rendszert vizsgál amelyet, a sokrétű és gyakran ellentétes érdekek és szubjektív döntések tesznek áttekinthetlenné.

Mátyás Antal új, nagyjelentőségű könyvét, *A modern közgazdaságtan történetét* olvasva világosabbá válik, hogy mennyire nem értik e tudományterület lényegét a közgazdaságtan felszínes és nemegyszer rosszindulatú bírálói. Ezek vagy nem ismerik e tudományt, vagy egy-egy irányzat hiányosságait, tévedéseit azonosítják a közgazdaságtan képességeivel. Mátyás e könyve alapján világosabbá válik egyébként az is, hogy a közgazdaságtan *nem valamiféle egységes rendszer*, hanem olyan sajátos mozaik, amelynek építőelemei különböző korszakokban, országokban és gazdasági rendszerekben dolgozó tudósok hozzájárulása révén álltak össze. Érthető, hogy nem mindig és mindenben illeszkedhetnek. A gazdaság társadalmi beágyazottsága miatt is nagyobb mértékben függ a közgazdaságtan számos tételének érvényessége és ajánlásainak gyakorlati használhatósága az adott közegetől, mint például a műszaki tudományoké az elméleti fizikától.

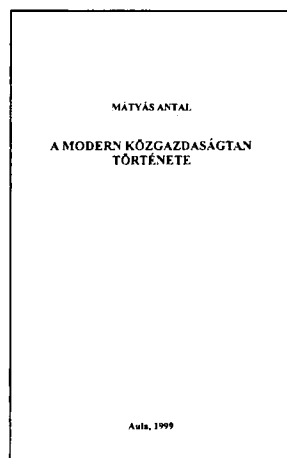
Mátyás Antal könyve 14 vaskos fejezet keretében tekinti át a modern polgári közgazdaságtan fejlődésének folyamatát, ennek irányait és irányzatait az elmúlt csaknem másfél évszázad során. Össze-kapcsolja az iskolák elméleti alapjait megmagyarázó fejtegetéseket a XX. századbeli piacgazdasági viszonyok legjelentősebb kategóriáinak és folyamatainak értelmezé-

sét és magyarázatát a gazdaságban végbe- ment változásokkal. Az ár és érték, a piaci formák, az időtényező szerepe, a gazdasági növekedés, a ciklikus ingadozások és a konjunktúra, a kereslet, a kínálat és a beruházások problematikája, az intézmények szerepe, az infláció és a munkanélküliség, a monetáris és fiskális politikák szerepe és hatékonysága különböző oldalról fogalmazódnak meg az egyes irányzatokban. A könyv felvázolja azt a folyamatot, hogy a fejlődés során miképpen jelennek meg az új közgazdasági kategóriák, illetve kapnak bizonyos fokig új tartalmat régebbiek. Megvilágítja a fő irányzatok hátterét, belső logikáját, kölcsönhatásait és tévesnek bizonyult feltételezéseit is. Érthetőbbé válik, hogy az egyes irányzatok milyen társadalmi-gazdasági és ismeretelméleti alapon alakultak ki, s milyen hatásuk volt a közgazdaság-tudomány fejlődésére általában. Sok témakör ezek közül égető kérdéssé vált a magyar piacgazdaság gyakorlatában is. Ilyenek például a monetarizmus értelmezése, korlátai, az infláció és a munkanélküliség viszonya, a „közgazdasági idő” fogalma és az időtényező szerepe, a gazdasági növekedésre ható tényezők relatív fontossága stb.

A könyv kitűnően kapcsolja össze a közgazdaságtan fejlődésének *történelmi útjait és logikai folyamatait*. E módszere különösen azért hasznos, mert sokan hajlamosak arra, hogy megelégedjenek a történelmi-társadalmi feltételrendszerről a közgazdasági gondolkodás fejlődésében. A közgazdaság-tudomány fejlődése és ennek szakaszai, mint ismeretes, a történelem nagy gazdasági átalakulásaihoz kötődnek. A klasszikus közgazdaságtan hajnalhasadása egybeesik az ipari forradalom kibontakozásával, a modern ipar első nagy lépéseivel. A gazdálkodás komplexitásának növekedése, a gazdasági folyamatok mélyülése és a modern piaci viszonyok térbeli kiszélesedése nyomán a közgazdaságtan is egyre sokoldalúbb, szerteágazóbb és bonyolultabb lett. Vizsgálódásainak módszerei is gyökeresen módosultak.

A múlt század utolsó harmadától kezdve a modern polgári közgazdasági gondolkodásban kibontakozott fejlődés tulajdonképpen *öt nagy iskola* keretében ment végbe: az osztrák, a stockholmi, a

lausanne-i, a cambridge-i és az amerikai institucionális iskolák alkották a modern polgári közgazdaságtan fejlődésének öt fő pillérét. Ezekon kívül az első világháború végéig virágzott német történelmi iskola sem vesztette el teljesen követőit. Mátyás kitűnően jellemzi, hogy az egyes iskolák milyen területen járultak hozzá a közgazdasági gondolkodás fejlődéséhez és miként hatottak egymásra. Fejtegetéseiből kitűnik, hogy az iskolák nem elsősorban a valósághoz, az empirikus vizsgálódásokhoz való viszonyukban, hanem a közgazdasági témák szempontjából legfőbb kérdések kiválasztásában, a célokban és módszerekben különböztek egymástól. Természetesen eltérőek voltak tényleges eredményeik is.



Magyarázatot ad Mátyás munkája arra is, hogy *egyes iskolák* az elmúlt évtizedekben miért és hogyan váltak meghatározó fontosságúvá a „mainstream”-nek, vagyis annak az irányzatnak formálásában, amelynek hatása a legnagyobb az oktatásra és a szakmai gondolkodásra. A XX. század folyamán például fokozatosan az egyébként meglehetősen heterogén cambridge-i iskola vált uralkodóvá s képviselte a fő vonalat a polgári közgazdaságtanban, gyakorlatilag a második világháború végéig. Hatása azután is jelentős maradt, hogy a chicagói iskola vált a mainstream egyik befolyásos formálójává. Mindkét esetben az angolszász világ gazdasági fejlettsége, oktatási intézményeinek és

kutatóintézeteinek jelentősége játszott szerepet. Az angolszász világ egyetemlein alakultak ki azok a standard tankönyvek, amelyek a második világháború utáni szakaszban a piacgazdaságú országok egyetemlein elterjedtek és lényegében kombinálták a spekulatív marginalizmust az empirikus kereslet-kínálat elemzéssel és integrálták a korábbi iskolák egyes felfedezéseit is.

A közgazdasági iskoláknak természetesen reagálniuk kellett bizonyos gazdasági, mindenekelőtt pénzügyi folyamatokra, például a monopóliumok megnövekedett szerepére, a pénz, a költségvetés és a monetáris politika fontosságának növekedésére, és magyarázatot vártak tőlük a kapitalista gazdaságot ért nagy megrázkódtatások okaira és következményeire s a rendszerben végbemenő egyéb változásokra is. A második világháború után jórészt a fejlődő országok megjelenése miatt váltak fontossá a növekedési elméletek. Ugyanakkor jelentősen megerősödött a walrasi általános egyensúly megközelítés hatása és a közgazdaságtanban meghatározó fontosságúvá vált a makro- és mikrogazdasági vizsgáldások sok tekintetben mesterséges szétválasztása.

Az elmúlt fél évszázadban végbement változások között különösen érdekes végigkísérni a *matematika és a közgazdaságtan* „házasságának” folyamatát. Az absztrakció és az általánosítás logikái folyamat. Nem természetellenes éppen ezért, hogy egy társadalomtudomány geometriai vagy matematikai technikát alkalmazzon ott, ahol ez célszerű. Sok közgazdász, köztük Cournot és Jevons már a tudomány fejlődésének korai szakaszaiban is alkalmazták a matematikát írásaikban. Az ún. matematikai iskola kialakulása tulajdonképpen már a második világháború előtti időszakban megkezdődött, ám széles elterjedése és jelentőségének gyors növekedése a második világháború utáni szakaszra esik. Leon Walras, a lausanne-i iskola kiemelkedő figurája volt véleményem szerint egyébként az első jellegzetesen matematikai közgazdász, annak ellenére, hogy éppen a matematikai iskola részéről érte sok bírálat. A matematikai iskola fejlődésével és hatásával összefüggésben és párhuzamosan jelent meg a gazdasági folyamatok egyre alapo-

sabb elemzésére képes ökonometria, amelyik a gazdasági elméletek, a matematikai modellek s a statisztikai módszerek kombinálásával sokoldalúan hatott a közgazdaságtan iskoláira.

Mátvás új könyve alapján nemcsak az egyes elméletekkel és témákkal kapcsolatban, hanem általában is fontos és érdekes *kérdések fogalmazódnak meg* az olvasóban. Mennyiben tükrözi például a modern közgazdasági gondolkodás története az általános megismerés fejlődését és mennyiben egy ország vagy térség specifikus viszonyait? Hol és mennyiben léptek előre az egyes iskolák? Fejlődésük folyamata mennyiben hasonlít más tudományokhoz, pl. a fizikához, illetve mennyiben tér el azoktól? Lehetséges-e ún. tiszta, érdek- és értékmentes közgazdaságtudomány, ahogy ezt sok pozitivista közgazdasági gondolkodó elképzelte? Hogyan hatnak a közgazdaságtan fejlődésére az érdekek és az értékek? Mennyiben segítette és segíthette a közgazdaságtan fejlődése a gazdaságpolitikai hibák, súlyos tévedések elkerülését például az elmúlt 40 esztendő során s mennyiben segíti ma?

Jogos egy ilyen átfogó munka olvasása kapcsán feltenni azt a kérdést is, hogy mennyire számítanak egy társadalomtudományban a *személyiségek*? Általánosan elismerik ma már, hogy a társadalom gazdálkodási tevékenysége egyike azoknak a komplex rendszereknek, amelyeknek tanulmányozásához nem elég egy diszciplína. Egyértelműen bebizonyosodott, hogy a jó közgazdászoknak művelt embereknek, saját szakmájukon kívül más társadalomtudományi területeken is jártasnak kell lenniük, s ismerniük kell más tudományok fejlődésének sajátosságait is. Ez véleményem szerint a gazdaságpolitikát formáló személyiségekre is vonatkoztatható. Rendkívül érdekesek ezzel kapcsolatban Keynes megjegyzései. A modern közgazdaságtan egyik legnagyobb jelentőségű képviselőjével, Marshallal kapcsolatban fejtette ki, hogy egy jó közgazdásznak olyan tehetséggel és képességgel kell rendelkeznie, amelyek ritkán egyesülnek egy személyben. Matematikusnak, történésznek, államférfinak és filozófusnak kell egyszerre lennie. Értenie kell a szimbólumokat és szavakban kell ezeket kifejezni tudnia. Egyszerre kell

képesnek lennie az általános és a konkrét megértésére és kifejezésére. A múlt tapasztalataira építve és a jövő céljaira gondolva kell tanulmányoznia a jelent. Az emberek és az intézmények természetének egyetlen aspektusa sem kerülheti el figyelmét. Egyszerre kell céltudatosnak és objektívnek lennie. Olyan disztingváltnak és megronthatatlannak kell lennie, mint egy művésznek, s annyira a földközelen kell mozognia, mint egy politikusnak. Kicsi a valószínűsége annak, hogy a könyvben szereplő tudósok, vagy akárcsak a közgazdaság-tudomány Nobel-díjasai is mindenben megfelelték volna Keynes követelményeinek. A közgazdaság-tudomány kiemelkedő személyiségei azonban sokoldalú, jól felkészült s igen tájékozott tudósok voltak.

Érdekes kérdés mindezek alapján az, hogy mi lesz a „mainstream”, a fő irány az új szakaszban? Sokan a neo-institucionalista iskolát tekintik a kialakuló mainstream irányzatnak annak alapján, hogy képesnek bizonyult különböző iskolák racionális tételeinek ötvözésére

anélkül, hogy saját alaptételeit feladta volna. Az is lehet azonban, hogy a mainstream a jövőben nem kötődik majd iskolához, hanem eklektikus rendszerként ötvözi majd a különböző iskolák reális és racionális elemeit. A XX. század végén ugyanis egyrészt megfogalmazódik a holisztikus, rendszerszemléleű megközelítések szükségessége, másrészt pedig új szükségletek kerülnek előtérbe, amelyek erősítik a specializációt, a diverzifikálódást és a Mátyás által is említett alternatív iskolák megjelenését ösztönzik.

A könyv szép külseje a kiadót dicséri. Kár azonban, hogy a névmutató mellé nem készült tárgymutató is. Ilyen átfogó mű esetében ez nagymértékben megkönnyítette volna az eligazodást, az összehasonlításokat és az új kategóriák forrásainak, fejlődésének nyomon követését. (*Mátyás Antal: A modern közgazdaságtan története, Aula Kiadó, Budapest, 1999.*)

Simai Mihály

EGY IDŐSZERŰ TÉMA: A KÁOSZ

Magyar nyelven most jelenik meg először a nagyközönségnek szánt, a teljesség igényével írt ismeretterjesztő mű erről a témáról.¹ A könyv több mint egy évtizede íródott, akkor, amikor a nemlineáris jelenségek és a káosz kutatása csakugyan forradalminak nevezhető szemléleti váltást

1 A hazai káoszkutatásokat *Szépfalusy Péter* akadémikus kezdeményezte az 1980-as évek elején. A fizikus szakma jól ismeri a *Szépfalusy Péter* és *Tél Tamás* szerkesztette *A káosz c. kitűnő tanulmánykötetet* (Akadémiai Kiadó, 1982). Igényes ismeretterjesztő munkák olvashatók a Magyar Tudomány 1993. évi 4. tematikus számában (címe: *A káosz és a rendezetlenség kutatása*). Néhány további színvonalas magyar nyelvű tanulmány: *Vicsek Mária — Vicsek Tamás: Fraktálok a fizikában I—II.*, Fizikai Szemle 1993. 2. szám 41. o., 1993. 3. sz. 96. o.; — *Tél Tamás: Törtémenziós rendszerek: a fraktálok.* Természet Világa 1984. 3. sz. 106. o.; — *Tél Tamás: A káosz természetrajza.* Természet Világa 1998. 9. sz. 386. o.

hozott a fizikában. Mára az akkori forrongás átadta a helyét a letisztult ismereteknek, a káosz betagozódott a tudományok rendszerébe. A téma ennek ellenére időszzerű, részben, mert a nagy lelkesedés alábbhagyásával is bőven maradt kutatnivaló (megkockáztatnám: éppen a legfontosabb kérdések maradtak megoldatlanok, például a káosz megbízható és általános matematikai kezelése, statisztikai leírása), részben, mert az elért eredmények csak kevésbé mentek át a köztudatba. *James Gleick* könyvének néhány megállapítása fölött eljárat ugyan az idő (főleg az egyes eredmények, például a Feigenbaum-féle univerzális jelenségét illetően), számos új eredmény is született azóta, de a könyv ezzel együtt is hiteles és lebilincselő bevezetést ad a káosztól a tudomány iránt érdeklődő minden olvasónak. A munka külön értéke, hogy az olvasót személyes ismeretségbe hozza a terület vezető kutatóival (a könyv

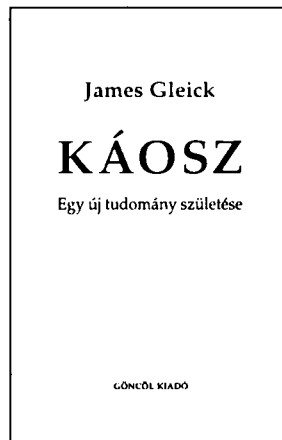
minden fejezetének van egy külön fősze-replője), így bepillantunk a kulisszák mögé, látjuk a tudomány (olykor esendő) emberi oldalát, együtt izgulunk hőseinkkel, együtt örülünk sikereiknek.

Megvallom, először kissé fanyalogva vettem a kezembe ezt a könyvet. Káosz a címe és az elmaradhatatlan, túlon túl is látványos Mandelbrot-halmaz ékesíti a címlapot — nem lesz ez az elviselhetőnél kommerszebb egy szakmabeli számára (aminek magamat gondolom)? Az előszót némi fölényes mosolygással olvastam végig. A szerző Feigenbaumot szimpatikus, ámde bogaras, különc zseniként mutatja be — mi ez a hatásvadászat? Lehet, hogy még igaz is? Fejemet csóváltam, amikor a könyvből arról értesültem, hogy a részecskefizikai Nobel-díjakat „Hawking fizikája szerzi egymás után” (NB. Hawking nem Nobel-díjas és nem részecskefizikus, ezzel szemben az utca embere is ismeri, amiben sajnálatos betegségének nem elhanyagolható szerepe lehet). Szóval, mit tagadjuk, a szerző az előszóban nemigen válogat az eszközökben, hogy az olvasó érdeklődését felkeltse. Eközben idéz olyan erősen túlzó véleményeket is, miszerint a káosz volna a relativitáselmélet és a kvantumelmélet mellett a XX. század harmadik olyan nagy tudományos eredménye, amire az utókor majd emlékezni fog.

Aztán az első fejezettől kezdve a szerző komolyabb hangra vált, és — bár lelkesen és a szerkezettel látszólag nem is törődve ömlik belőle a szó — az olvasó azon kapja magát, hogy őt is elsodorta az ár, már nem mosolyog fölényesen, hanem bólogat, hogy igen, ez tényleg így van, ez milyen szépen és világosan van leírva, mi mindent meg nem tudunk az időjárás előrejelzéséről, a hatvanas évek meg a nyolcvanas évek számítógépeiről és a Lorenz-modellről. A pillangó-hatásról (vagyis a kaotikus rendszerek kezdeti feltételekre való érzékenysé-géről) szóló első fejezet valóban telitalálat. Minden világosan, közérthetően, pontosan van leírva, megtaláljuk az eredeti tudományos közlemények adatait is — tudományos ismeretterjesztés ez felsőfokon!

A második fejezetben először a tudományos forradalmak kuhni jellemzőit taglalja szintén nagyon olvasmányosan és meggyőzően. A szerző a káosz példáján

mutatja be, hogy az új eszméknek hogyan kell megküzdeniük az értetlen és/vagy ellenséges szakmai körök ellenállásával, hogyan kell méltánytalanságokat elszenvedniük, míg végül utat törnek maguknak. (Vajon ez csak külföldön van így?) Elgondolkoztató, hogy miért éppen azok részesülnek oly gyakran negatív diszkriminációban, akik a tudományt valóban előreviszik. Amint a könyvből megtudjuk, ez a jelenség végigkíséri a káosz felfedezésének történetét.



Különös történet ez sok szempontból — különös és tanulságos. A káosz jelensége, a kis szabadsági fokú determinisztikus rendszerekben megjelenő véletlenszerű viselkedés, amely a kezdeti feltételekre való érzékenységgel párosul, ismeretes volt már a múlt század végén (Poincaré), de még a tudósok körében sem volt közismert (bár például Einstein tisztában volt vele). A számítógépek elterjedése tette csak lehetővé, hogy bárki előtt kézzelfogható bizonyossággal kirajzolódjanak a képernyőn a kaotikus fázisrajektóriák, megjelenjenek a fraktálszerkezetű különös attraktorok. A kísérleti munkák szaporodásával kiderült aztán, hogy a káosz jelensége meglepően gyakori — ott volt korábban is a kutatók szeme előtt, mégsem figyeltek fel rá, mert nem sejtették — nem is sejtették —, hogy egészen egyszerű rendszerek nagyon bonyolult viselkedést produkálhatnak.

A további fejezetekben megismerkedünk a káosz forradalmának minden fon-

tosabb szereplőjével. A szerző bevezet bennünket Edward Lorenz, Stephen Smale, James Yorke, Robert May, Benoit Mandelbrot, David Ruelle, Mitchell Feigenbaum, Albert Libchaber, Robert Shaw, James Crutchfield, Bernardo Huberman és még sok más kutató gondolataiba, munkamódszerébe és eredményeibe — mégpedig a leghitelesebb módon, ugyanis ténylegesen felkereste a könyvében szereplő tudósokat, beszélgetett, interjút készített velük, kikérdezte őket, szétnézett laboratóriumaikban, elolvasta tudományos értekezéseiket.

A könyv hatalmas ismeretanyagot ad át, szinte szédítő utazásra viszi az olvasót a tudomány birodalmába, olvashatunk káoszról és fraktálokról, időjárásról, ciklonokról, geofizikáról, a Jupiter vörös foltjáról, szívfibrillációról és a skizofrének szemmozgásáról, áramló folyadékokról, ökológiáról, élőhelyért versengő méhfajokról, kvantumelméletéről, atomokról és kvarkokról... ki is tudná felsorolni? Sajnos, a könyv színvonala kissé egyenetlen, a szerző időnként olyan kitérőket, a tárgyhöz nem tartozó zavaros eszmefuttatásokat is megenged magának, mint amilyen a Goethe színelméletéről szóló rész a Feigenbaum-féle univerzalitásról szóló hatodik fejezetben, vagy a Wallace

Stevenstől származó versidézetek elemzése a Libchaberről szóló hetedik fejezetben. Mintha ezek a részek nem volnának le-tisztázva. (Persze, az is lehet, hogy ezek a pihenők a hosszú utazás közben.) Itt-ott hiányzik egy-egy fogalom megvilágítása (vagy mindenki tudja, mi például egy részecske „színe” és „íze” [color, flavor?]), egy-egy „mellékszereplő” bemutatása (ki Dyson a nem fizikusok számára?), néhol kétes érvényességű állításokkal is találkozunk (a szerző szerint például a cigarettafüst egyre gyorsulva száll fölfelé, és ez okozná a füst örvényekre bomlását), de ezekért a hiányosságokért bőven kárpótol az ismeretek és gondolatok gazdag áradása.

A nem könnyű szöveg kitűnő fordítása Szegedi Péter munkája (kontrollszerkesztő: Seres Iván). Külön ki kell emelni, hogy a lábjegyzetekben a magyar nyelven hozzáférhető ismeretterjesztő cikkekre és szakmunkákra való hivatkozások is helyet kaptak.

Befejezésül elolvasásra ajánlom ezt a könyvet mindenkinek, aki érdeklődik korunk tudománya iránt — meggyőződésem, hogy nem fog csalódní. (*James Gleick: Káosz. Göncöl Kiadó, 1999.*)

Bene Gyula

EINSTEIN ÁLMA

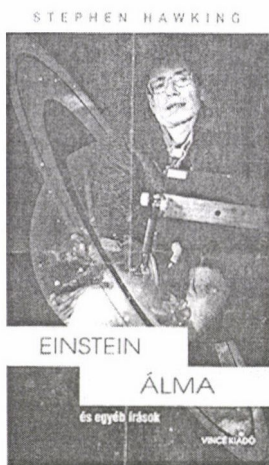
Napjaink egyik ismert fizikusának, Stephen Hawkingnak 1976 és 1992 között megjelent kisebb ismeretterjesztő tanulmányait, illetve különböző alkalmakból tartott előadásait — összesen tizennégyet — foglalja egy kötetbe a kiadvány. Hawking, aki Newton utóda annak cambridge-i tanszékén, különben hírnevét nemcsak a fekete lyukakra és az ősrobbanásra vonatkozó eredményeinek köszönheti, hanem *Az idő rövid története* című népszerű könyvének is, amely a szó szoros értelmében betsellerré vált.

Ismeretes, hogy a szerző mozgatóideg-sorvadásban szenved, rokkantkocsival közlekedik és hangját is elvesztette, így egy számítógép és egy szintetizátor segítségével

beszél. A könyv első írásai éppen erről és gyermekkoráról szólnak. „Gyakorlatilag a felnőtt kor elérése óta mozgatóideg-sorvadásom van.” (35. o.) “Gyakran megkérdezik tőlem, mit jelent számomra a mozgatóideg-sorvadás. A válaszom úgy hangzik, hogy nem sokat. Megpróbálok olyan természetesen élni, amennyire csak lehet, és igyekszem nem túl sokat gondolkodni az állapotomon, vagy még kevésbé sajnálni azokat a dolgokat, amelyekben a betegségem megakadályoz...” (30. o.) Mind ezekről különben még a legutolsóként közölt interjúbán („Lemezek a lakatlan szigeten: rádióriport”) is szó esik. „Nem érzem úgy, hogy a normális élettől el lennék zárva...” „Nem érzem magam fogyaté-

kosnak — csak mozgatóidegeim nem működnek megfelelően. Ez olyan, mintha például színvak lennék. Az életemet persze nem lehet szokványosnak tekinteni, de én a magam részéről teljesen elfogadhatónak tartom.” (151. o.)

A címadó tanulmány egy eredetileg 1991-ben, Tokióban elhangzott előadás alapján készült és a relativitáselmélet máig ható, bizonyos vonatkozásokban csak ma felismert következményeit, valamint továbbfejlesztési lehetőségeit a kvantummechanikával való egyesítését tárgyalja.



Miről van szó a többi tanulmányban? Elsősorban is az *ősrobbanásról* és az ún. fekete lyukakról. Ez utóbbiak olyan égi objektumok, amelyeknek olyan erős a gravitációs terük, hogy semmi, még a fény sem távozhat el felületükről. Igaz, éppen Hawking kutatásai mutatták meg, „... hogy a fekete lyuk nem lehet teljesen fekete. A határozatlansági elv^{*} ugyanis megengedné, hogy állandó sebességű részecskeáram és sugárzás hagyja el a fekete lyukat.” (83. o.) „A kvantummechanika ... megengedi azt, amit a klasszikus fizika nem: a fekete lyuk belsejéből részecske távozhat. Az atomfizikában számos más eset is ismert, amikor a kvantummechanikai elvek lehetővé teszik a részecskék számára azt, hogy a klasszikus

elvek szerint áthatolhatatlan gátakon át-alagutazzanak.” (108. o.) Ilyen jól ismert jelenség például a radioaktív alfa-bomlás, amelynek során az atommag potenciálfalán annál jóval kisebb energiájú alfa-részecskék is ki tudnak lépni bizonyos valószínűséggel.

A világegyetem kezdetének, az ősrobbanásnak és a fekete lyukaknak a tárgyalásához és megértéséhez azonban „... olyan új elméletre van szükség, amely összekapcsolja az általános relativitáselméletet és a kvantummechanikát. Ez az elmélet a kvantumgravitáció.” (94. o.) Ami azonban nagyon lényeges: „Bár még nem rendelkezünk a gravitáció kvantumelméletének véglegesnek mondható változatával, nem is beszélve a többi kölcsönhatással való egyesítéséről, de már van néhány olyan elképzelésünk, amelyet majd teljesítenie kell.” (66. o.)

Mindezekről a kérdésekről azután többszöri közelítésben és bizonyos átfedésekkel van szó a kötetben, hiszen — mint már említettük — több helyen, különböző alkalmakkal tartott előadásokból, illetve tanulmányokból állították össze.

Ezeken az elsősorban tárgyalt és visszatérő kérdések kivül azonban számos más alapvető problémáról is szó esik a könyvben.

Az *elméletek jelentőségéről* írja: „Az elmélet lehetőséget nyújt bizonyos előrejelzésekre, amelyeket megfigyelésekkel lehet ellenőrizni. Ha a megfigyelések összhangban állnak az előrejelzésekkel, ez nem jelenti az elmélet igazolását, de az elmélet fennmarad és alkalmazásával újabb előrejelzéseket lehet készíteni, ezeket pedig újabb megfigyelésekkel lehet ellenőrizni. Ha viszont a megfigyelések nem egyeznek az elméleti előrejelzésekkel, akkor az elméletet elvetik.” (47. o.)

Hawking részben azt jósolja (1980-ban), hogy az elméleti fizika az évszázad végére lényegében elérni célját, azaz befejeződik (hányszor jósolták már ezt!), másrészt megmutatja az alapvető nyílt kérdéseket a fizikában. Így például: „Jelenlegi elméleteink egész sor olyan mennyiséget tartalmaznak, mint például egy részecske elektromos töltése. Ezeknek a mennyiségeknek az értékét az elméletek nem tudják előre jelezni. Értéküket úgy kell megvá-

* Ti. a kvantummechanika Heisenberg-féle határozatlansági relációja.

lasztani, hogy a megfigyelésekkel egyezésben álljanak. A legtöbb kutató meggyőződése szerint megalkotható egy alapvető egysített elmélet, amelyből mindezeknek a mennyiségeknek az értéke is levezethető." (121. o.) Ez lehet program esetleg néhány évszázadra is.

Az emberi vonatkozásokra térve hosszan foglalkozik a *szabad akarattal*. Végül is a következő álláspontot fogalmazza meg: „Az emberrel kapcsolatban a végső törvények alapján két okból nem tudjuk megjósolni a jövőbeni viselkedést. Először azért, mert nagyon sok részecske esetén nem tudjuk megoldani az egyenleteket. Másodsor pedig azért, mert ha meg tudnánk is oldani ezeket, az előrejelzés beavatkozást jelentene az egész rendszerbe, és más eredmény születne. Mivel nem tudjuk előre megjósolni az emberi viselkedést, elfogadhatjuk azt az effektív elméletet, miszerint az emberi lénynek szabad akarata van, és el tudja dönteni, hogy az egyik vagy a másik cselekedet helyes-e.” (135. o.)

Egyik legmegdöbbentőbb megállapítása arra vonatkozik, hogy a pusztá anyagi jólét mennyire nem elégíti ki az embert. „... a legtöbb fiatal teljesen kiábrándult az egész angol rendszerből. Úgy tűnt, hogy az életben már semmi egyéb sem létezik, csak a

jólét, és a még nagyobb jólét. A konzervatívok éppen megnyerték a harmadik választást is azzal a választási jelszóval, hogy 'Soha nem volt ilyen jó dolgunk.' A legtöbb fiatal viszont velem együtt egyszerűen unta az életet.” (157.o.)

Végül az „Isten-probléma”. Istennek a világ teremtésével kapcsolatban nem sok teret enged. Ezt így fogalmazza meg: „... Isten a kezdeti feltételeket sem választathatná meg szabadon.” (100. o.) Viszont: „A tudomány talán megoldja az Univerzum keletkezésének problémáját, de nem tud választ adni arra a kérdésre: mi lehet az oka annak, hogy egyáltalán létezik a világegyetem. Erre a kérdésre én sem tudok válaszolni.” (100. o.) „A munkám mindössze azt bizonyítja, hogy a világegyetem keletkezésének módját nem kell Isten szeszélyének tulajdonítanunk. Azonban továbbra is fennáll az a kérdés, hogy miért veszi magának a világegyetem azt a fáradságot, hogy fennálljon. Ha tetszik, úgy is értelmezhetjük, hogy erre a kérdésre Isten adja meg a választ.” (165. o.)

A könyvet a magyar nyelvű ajánlott irodalom jegyzéke, továbbá név- és tárgymutató zárja. (Stephen Hawking: *Einstein álma*. Vince Kiadó, Budapest, 1999. 179 o.)

Berényi Dénes

VIASKODÁS A DÉMONOKKAL

A neuropszichológia kutatói szerint a tudomány fejlődésének természetes kísérő jelensége az áltudományok és az ostoba hiedelmek megjelenése. A kritikus gondolkodásmód hazai népszerűsítői évek óta kongatják a vészharangot amiatt, hogy társadalmunkban lassan divattá válik az irracionális, a sarkalanság szinte valamennyi műfaja pedig zavartalanul burjánzik — hála az elektronikus média köz- és magánszolgálatának.

Ilyen körülmények között mindenképpen dicséretes cselekedet a Typotex Kft. részéről, hogy skeptikus könyvsorozatot indított, amelynek első könyve meghatározó és irányt kijelölő módon *Carl Sagan*:

Korok és démonok (The demon haunted world: science as a candle in the dark) c. műve. Nagy szükség volt már arra, hogy egy hézagpótló művet adjanak kezünkbe a tudományról, áltudományról és a hiszékenység valamint az ostobaság kultuszáról. A szerzőt a hazai olvasóközösség már ismeri más, sikeres művei révén, azonban talán nem árt egy kissé részletesebb bemutatás.

A sajnálatosan fiatalon, 62 évesen 1996-ban elhunyt Carl Sagan rendhagyó módon a tudományos életnek és a tudomány népszerűsítésének egyaránt kiemelkedő alakja volt. Szakmáját tekintve csillagász és űrkutató, haláláig a New York állambeli nagyhirű Cornell Egyetem pro-

fesszora, az egyetem Planetológiai Intézetének igazgatója. Kutatási témáit illetően foglalkozott többek között a bolygók atmoszférájával, a Vénusz meglegház-effektusával, a földi élet eredetével, valamint a földön kívüli élet lehetőségének vizsgálatával. Aktív résztvevője a Mariner, Viking, Voyager és Galileo űrmisszióknak, amelyek tudományos programjának kidolgozásában jelentős része volt. A NASA munkásságáért többször is elismerésben részesítette.

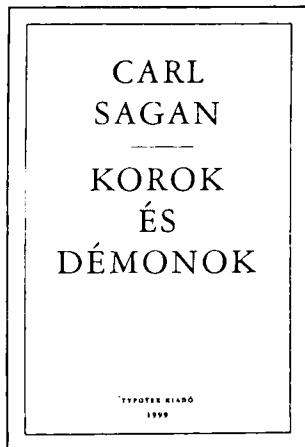
Sagan a tudomány magas szintű művelése mellett szenvedélyesen népszerűsítette a tudományt és a tudományos gondolkodásmódot, következőképpen rendszeresen felemelte szavát az irracionális irányzatok és az áltudományos hiedelmek ellen. Nem véletlen, hogy az amerikai szkeptikusok társaságának (CSICOP) egyik alapító tagja volt, és tevékenységében haláláig részt vett.

1980-ban 13 részes tv-sorozatot készített Kozmosz címmel, amelyben a nagyközönséggel megismertette a csillagászat, a kozmológia és az űrkutatás legizgalmasabb fejezeit. A sorozat óriási sikert aratott, elsősorban az előadó személyisége miatt, aki egy csapásra minden amerikai család személyes ismerőse, és a sorozat nyomán a „tudós” megszemélyesítője lett. Mind a sorozat, mind pedig annak könyv-változata számos díjat nyert, és sok országban vezetett az amerikaihoz hasonló látványos sikerhez.

Ez a könyv utolsó műve, amelyben meggyőzően magyarázza el, mekkora szükség van a kritikus (ha úgy tetszik, természettudományos) gondolkodásmódra ahhoz, hogy társadalmunk demokratikus intézményei és nagy erőfeszítések árán megszerzett technikai civilizációnk fennmaradjon. Az olvasmányos mű érdekfeszítően illusztrálja, hogy a tudományos gondolkodásmód és a kritikai alapállás képes áttörni az előítéletek és tömeghisztéria gátján, és feltárni a legváratlanabb igazságot is.

Sagan természetes módon reagál a modern társadalom divatos irracionális irányzataira is, és elmagyarázza többek között, miért nem tartható az a „posztmodern” irányzat, hogy a tudomány csupán egyike a különféle lehetséges „hiteknek”. Megvizs-

gálja az okokat, miért tekintenek sokan gyanakvással a tudományra, valamint felhívja a figyelmet a tudománnyal való visszaélés veszélyeire és az áltudományokkal szembeni fellépés szükségességére is.



Bár megállapításai elsődlegesen a mai amerikai társadalomra vonatkoznak, minden megjegyzése „ül” nálunk is — lehet, hogy már ennyire része vagyunk a nyugati világnak? Talán az is említést érdemel, hogy a könyvben szó esik a magyar gabonakörőről is, bizonyítva Sagan jólérsülttségét és hazánk „fejlettségi szintjét”. A könyvet olvasva fel sem tűnik, hogy fordítás, ez mindennél ékesszólóbban minősíti a fordító, *Hraskó Péter* munkáját.

Ahelyett, hogy sorra vennénk, mi mindről is esik szó a műben, csupán felvilantunk néhányat kedvcsinálónak a számmunkra is tanulságos észrevételek közül.

Bár manapság sokan nincsenek tisztában hazánkban azzal, milyen is a tudomány helyzete, feltétlenül ismerni kell azonban a tényeket, amelyeket Sagan olyan világosan megfogalmaz:

„Napjaink globális civilizációja úgy van megszervezve, hogy minden lényeges eleme — a transzport, a kommunikáció, a mezőgazdaság, a medicina, az oktatás, a szórakoztatás, a környezetvédelem, sőt a demokrácia működéséhez nélkülözhetetlen választások lebonyolítása is — alapjaiban függ a tudománytól és technikától, amelyeket

azonban a dolgok mai állása szerint szinte senki sem ért. Ez a helyzet felér egy beprogramozott katasztrófával, amelyet ugyan ideig-óráig elodázhathatunk még, de a tudatlanság és a hatalom vérszjósól keveréke előbb-utóbb belerobban a képünkbe.”

Múlt év novemberének elején ünnepeltük a Tudomány Hetét, amely alkalomból sok helyen elhangzott, hogy a tudománnyal bajok vannak, szerkezete nem alkalmas arra, hogy abba pénzt öntsenek stb. A politikusoknál és sztár vállalkozóknál okosabb és tapasztaltabb ember erről így vélekedik:

„Egyre szélesebb körben terjed el az a hit, hogy a tudásnak a piacon kell érvényesülnie, vagyis az alapkutatásnak állami támogatás nélkül, a társadalom egyéb intézményeivel és igényérvényesítőivel folytatott szabad versenyben kell helyt állnia...”

De vajon rendelkezik-e egyáltalán [a piac...] az alapkutatások támogatásához szükséges eszközökkel? A megalapozott orvosi kutatási programoknak ma csupán mintegy 10%-át finanszírozza. Sokkal több pénz megy el csodagyógyszerekre, mint az orvosi kutatások egészére. Egyszerűen tragikus lenne, ha az állam elhatárolódna az orvostudományban a kutatások támogatásától.

Az alapkutatás fogalmában benne van, hogy gyakorlati hasznót csak a jövőben hozhat — néha csak évtizedes, esetleg évszázados késéssel. Mi több, azt sem lehet előre tudni, hogy a kutatás mely ágaiból lesz legalább a jövőben gyakorlati haszon. Ha ezt maguk a kutatók sem tudják előre, honnan tudhatnák a politikusok és a nagyiparosok? Amennyiben a szabad piac erőforrásai rövid távú haszonra összpontosulnak — ami biztosan így van a ma Amerikájában, az ipari kutatások visszaesése idején — akkor egy ilyen 'megoldás' az alapkutatások beszüntetésével lenne egyenértékű.”

Sokszor felvetődik a kérdés, hogy a szkepticizmusnak és a tudománynak általában milyen a viszonya a valláshoz. Sagan erre is kitér, ebből itt most csak néhány remek sort idézünk:

„A modern katolicizmusnak nincs vitakozni valója a Nagy Bummról, az univerzum 15 milliárd éves koráról, a primitív élet

létrejötéről prebiotikus molekulákból, az ember majomszerű őseiről — az emberi lélekről azonban különvéleménye van. A protestáns és zsidó vallás ugyanezt a határozott álláspontot képviseli.

Amikor vallási vezetőkkel teológiai kérdésekről beszélgettem, gyakran feltettem a kérdést, mit tennének, ha a tudomány megcáfolná valamelyik központi tantételüket. A jelenlegi, tizennegyedik Dalai Lámát is faggattam erről, aki határozottan azt válaszolta, hogy ebben az esetben a tibeti buddhizmust meg kellene változtatni (egy konzervatív vagy fundamentalista vallási vezető szájából ilyen válasz bizonyosan nem hangozhatott volna el).

Rákérdeztem: — Akkor is ezt válaszolná, ha egy igazán alapvető hittételről lenne szó, például — pár pillanatig kerestem a megfelelő példát — a reinkarnációról?

De — tette hozzá hamiskás mosollyal — a reinkarnációt nem lenne könnyű dolog megcáfolni.

El kell ismernem, a Dalai Lámának igazza volt. Nincs ok rá, hogy az olyan vallási tételeket, amelyek a cáfolhatóság határán kívül esnek, féltsék a tudomány fejlődésétől. A mindenség Teremtőjének léte, amely sok vallás grandiózus eszméje, ebbe a kategóriába tartozik — bebizonyítani és megcáfolni egyaránt nehéz.”

Sagan művét kötelező olvasmánynak kellene minősíteni a hazai közélet valamennyi szereplője számára, különös tekintettel azokra, akik sokoldalú képzettségük (képzetlenségük) birtokában a tudománypolitika mezejére merészkednek.

Bár a könyv minden sora bölcs, érdekes és szórakoztató, a végső kicsengés nem feltétlenül optimista. Az ezredforduló közeledtével naponta lelkendeztünk a jövő reményeiről, de azért nem árt figyelniük Sagan mondataira is:

„Aggódok, hogy az ezredforduló közeledtével az áltudomány és a babona vonzereje megnő, az irracionalitás szíréhangja megerősödik. Már korábban is „gyönyörködhattunk” benne: a nélkülözések és az etnikai feszültségek idején, a nemzeti önértzet megingásakor, vagy amikor elfog a kozmikus jelentéktelenségünk fölött érzett fájdalom — ilyenkor a régmúlt túlhaladott gondolkodási sémái újra kinyújtják kezüket a kormányrud felé.

A gyertya lángja pislákol. Kis fényudvara megremeg. Gyülekezik a sötétség. A démonok mococonni kezdenek."

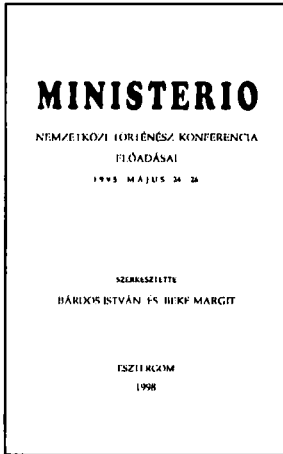
Ezekhez a mondatokhoz nincs mit hozzátenni. A démonok közöttünk vannak, és előbb-utóbb meg kell küzdenünk velük. Minden kornak megvannak a maga démonjai, nekünk is. A könyv elolvasása után mindenki döntse el maga — kritikusan végiggondolva és mérlegelve Sagan

megállapításait — szükség van-e tudományra nemzetünk szellemi életében, érdemes-e pénzt beleönteni stb., vagy törődjünk inkább más, fontosabb dolgokkal mint pl. a hazai labdarúgás jövőjével. (Carl Sagan: *Korok és démonok, Typotex Kiadó, Budapest, 1999.*)

Bencze Gyula

SZOLGÁLAT ÉS TÖRTÉNELEM

A „ministerio”-t Pápai Páriz Ferenc sok kiadású szótára magyarította „szolgálat”-ra a maga idején. Így tettek az őt követő társak is, bár a „minister” értelme a „szolgálattevőből” gyakorta „tisztviselővé” módosult. Jellemző különbözőség, főként ha a tisztviselés nem a szolgálattevéssel lehetőségek feltétele.



A *Ministerio* címen Esztergomban tartott nemzetközi egyháztörténeti konferencia előadásainak gyűjteménye elsősorban az egyházi jogok *Scitovszky, Simor*, majd *Serédi* és mások főpásztori idejében folyamatos érvényesülésének szándékait, ezzel párhuzamosan a hazai egyház szociális tevékenységének történetét és szervezeteit vizsgálja. A világi „ministeriót” (szeretet-

szolgálat, szegények és betegek felkarolása, önszegélyezés, jótékonyági egyesületek, bencés kongregáció, jezsuita misszió és mások, akár a nem katolikus közösségekben is), az ebben jeleskedő világi egyesületek és egyházi konfraternitások történetét elemezték a tudós előadók. Még napjainkban is példaadó értékekre gyűjtött új fényt egy-egy beszámoló.

Paskai László biboros köszöntőjét 34 referátum követte a két napon, ezek tanulmányra bővített, dokumentációkkal alapolított változatait közli a gondos szerkesztésű, idegen nyelvű kivonatokkal gazdagított kötet, 360, szépen tipografizált könyvoldalon.

A gyűjtemény átfogó bemutatására itt aligha lehet helyünk, így csupán az érdeklődéshez közelebb állókat említhetem. A primási előjogokért folytatott hadakozások folyamatáról az említettek idejéből *Adriányi Gábor, Rácz Lajos, Erdő Péter, Czékli Béla, Lotz Antal* és mások referátumai szólnak, a „szegénység-kezelés” 18–19. századi hazai kultúráját *R. Várkonyi Ágnes*, a századvégi szociális enciklikák hazai fogadtatását *Gergely Jenő*, Deák Ferenc szociális érzékenységét *Takács Péter* mutatta be, a ruszin nép életűjét *Medve Zoltán*, talán méltatlanul nem említve *Bonkáló Sándor* nevét. Ezek mellett minden további hasonlóan értékes, nem kevés novummal gazdagító értekezés. A könyvet főként azoknak érdemes tanulmányozni, akik a korai felvilágosodást követő hazai történelem, ebben még inkább az utóbbi 150 esztendő egyháztörténetének és világi fel-

datvállalásainak történetét, a nemzeti érdekű szolgálat szándékát és lehetőségeit kívánják jobban megismerni.

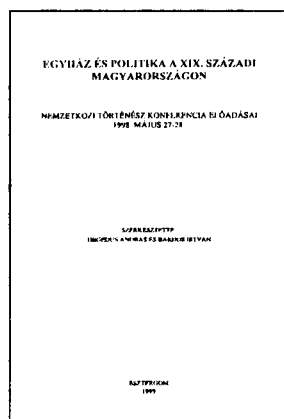
És amennyiben ehhez a tematikához pontosan illeszkedő, de a részleteket még élesebb fénybe állító eseménytörténet további fejezeteire is kíváncsiak, úgy figyelmükbe ajánlom az *Egyház és politika a XIX. századi Magyarországon* című konferencia (1998. május) nemrég megjelent kötetét. Ebben egy alig fél évszázad (mondjuk 1847—1897) eseményei körül búvárkodtak a meghívott kutatók. Nem kevés kísérlettel és kudarccal terhes, változásokat jegyző periódus ez egyházaink formálódása, vonzódásai és változásai körül. A rendezők külön érdeme, hogy fórumot kaptak itt a hazai protestantizmus-történet jeles kutatói: *Kertész Botond* az 1840-es évek uniókísérleteiről, *Kósa László* a református egyház 1848-as szerepéről, *Szatmári Judit* az ezt követő passzív rezisztenciáról (1850—52), *Brandt Juliane* a dualizmus kori politikai kötődésekről adott „helyzetfelmérést”, társaival együtt széles körűtekintésű, alapos, továbbgondolkodásra ingerlő ismertetést.

A káptalani országgyűlési követek Szemere Bertalannal folytatott vitájáról (1847) *Fazekas Csaba* számolt be, a radikális alsópapság 1848-as követeléseiről és előjáróik válaszáról *Sarnyai Csaba Máté*, az 1848-as törvények fogadtatásáról a tihanyi bencés apátsági birtokokon *Fülöp Éva Mária* tartott izgalmas előadást. Az ekkori püspökkinevezések „monarchikus” és nemzetközi hátterére *Adriányi Gábor* villantott újabb fényeket, ehhez kapcsolódóan a főkegyúri jog és a felelős magyar minisztérium kapcsolatáról *Hegedűs András*, a bécsi Pázmáneum ez idejű történetéről *Beke Margit* szolgált sok újdonsággal, a századvégi Prohászka Ottokár politikai nézeteiről *Gergely Jenő* értekezett.

Takács Péter Deák Ferenc egyházpolitikai nézeteit mutatta be, a magyar nyelvű liturgia szentesítésének sorsát a makói görög katolikusok hitéletében *Janka György*.

A legterjedelmesebb tanulmány aligha csupán „egyház-történeti”. *Zakar Péter* az 1848/49-es magyar hadsereg tábori lelkészeit is érintő megtorlás folyamatát és eredményeit fejtegette és követte nyomon.

„...a hadsereg nem harcoló testületei közé tartozó tábori lelkészeket — írja — éppen úgy érintette a szabadságharc leverését követő felelősségre vonás, mint a harcoló testületek tagjait...”. Vizsgálati, majd várfogság, közben még súlyosabb ítéletek hosszú sora következett, egyházi büntetések egyidejűen és utóbb, elhallgattatás vagy éppen emigráció a korábbiakat elkerülők sorsában is. Felekezeti különbséget nem ismert a katonai hatalom, bár a megtorlások súlyossága eredeti célját, a nemzeti érzelmek eltírását nem érte el.



Könyvtárnyi könyv- és forrásjegyzék, jegyzetek bőséges sora minden tanulmány körül, képek és reprodukciók — a bizonyítás és minden további ismeretszerzés feltételei. Sokrétű és alapos dokumentációk, melyek sorából kitűnhet (amennyiben nem lenne nyilvánvaló), majd egy évszázadon át ugaron hagyott tematikába vágta új szántást a kutatók. Támogatóik is átérzik ezt, hasonlóképpen a gyűjtemények szerkesztői, akik a közlés feltételül szabták a gondos tudományos hátteret. Reménykedünk végül, hogy kitartóan következetes fázadozásaik nyomán az 1996-ban és 1997-ben tartott konferenciák hasonló gyűjteménye is az asztalunkra kerülhet hamarosan. (*Ministerio. Szerk. Bárdos István és Beke Margit. Esztergom, 1998. 358 o. — Egyház és politika a XIX. századi Magyarországon. Szerk. Hegedűs András és Bárdos István. Esztergom, 1999. 213 o.*)

Bodri Ferenc

KÖRNYEZETI ETIKA

A szerkesztő *környezeti etikai* tárgyú szöveggyűjteménye olyan témával foglalkozik, amely a Magyarországnál fejlettebb országok szellemi életében és politikai gyakorlatában minden bizonnyal növekvő súllyal van jelen, ugyanakkor kis hazánkban is egyre többek érdeklődését vonja magára. Mindazonáltal erre a kötetre találonak gondoljuk az „üttörő” jelzőt.

A kötet elején a szerző három olyan katasztrófát elemez, amelyek az elmúlt 20 évben elemi erővel vetették fel a veszélyes technológiák rizikói kapcsán a társadalom, a gazdaság, a politika és a technika közti viszonyok újragondolásának szükségességét. Az esettanulmányok abból a szempontból igen fontosak és érdekesek, hogy a hétköznapi tudat számára is felkavaró példákön bizonyítják: nem szűken vett technokrata feladat a kockázatos technológiák megoldása; ugyanakkor a mindennapi tudatnak, moralitásnak is olyan korlátjai vannak, amelyek a mindennapi élet folyamataiban megfelelő mércének tűnnek, de amelyek ilyen társadalmi jelenségek esetében nem alkalmazhatóak. Rá kell döbbernünk (*John Ladd* tanulmányát olvasva), hogy olyan technikai rendszereket hoztunk létre, amelyek alkalmazásakor a hagyományosan, a keresztény etikában központi jelentőségűvé vált szándékosság nem konstitutív a felelősség megállapításában (62.). *Charles Perrow*-nak a Three Mile Island-i (TMI) katasztrófát elemző tanulmánya arra mutat rá, hogy az ember által alkalmazott technológiáknak van olyan inherens sajátosságuk („sok folyamatot még nem értenek igazán” — 22., továbbá 28.), amely lényegében függetlenül a társadalmi, politikai, gazdasági környezettől katasztrófa bekövetkezéséhez vezethet.

A csernobili robbanás példáján a modern technikának a nyilvánossággal (51.), a demokratikus viszonyokkal és az ideológiával (túlzott, egyoldalú technokrata önbizalom, kombinálva a kommunista elhivatottság-tudat kritikájával) való szimbiozisanak szükségességére mutat rá Unger. A tanulmány felébreszti az olvasóban a ké-

telyt: valóban annyira „olcsó” az atomenergia, mint az azt támogató körök állítják. A becsült károk tízmilliárd dolláros nagyságrendűek. A veszélyes technológiák színrelépésével világossá válik kiáltó tudatlanságunk ténye; az, hogy a korábban objektívnek hitt tudományt a különböző érdekű lobbik törekvései szakítják székértáborokra. (*Shrader-Frechette* írása mutatja ezt be a radioaktivitás okozta egészségi károk példáján (96—114.).

A fent említett katasztrófákról szóló beszámolókat megismerve merül fel, hogy szükséges valamiféle mérték, egy új etika megtalálása a nem emberi környezetbe való beavatkozás orientálására. A kötet tanulmányai felvázolják a lehetséges alternatívákat, amelyek közül az egyik a humanista etikák átdolgozott változata, a másik sajátosan új etikai világlátás kidolgozása.

A kötet szerkesztője utal az utilitárius filozófia (amelyet teleologikus jellege miatt marasztalnak el a jogalapú iskola képviselői) környezetetikai felhasználhatóságára azon az alapon, hogy annak mértéke a szenvedésre/élvezetre való képesség. A környezetetikai szempontból szóba jöhető etikák közül ez, ill. az ehhez közel álló, kibővített antropocentrikus felfogás lehet az egyik alternatíva (14., 17.). *Christopher Stone* tanulmánya (194—200.) azt mutatja meg, hogy a jogalanyiség kiterjesztésének azon folyamata, amelynek eredményeként a feketék, gyengeelméjűek, nők, szervezettek stb. jogképesé válnak, előbb-utóbb a környezeti objektumokra (pl. fákra, folyókra) is ki kell, hogy terjedjen. *Stone* írását olvasva derül ki, hogy *gyakorlati* jelentősége van a természeti jogok bevezetésének. Egy adott szennyezés esetében: ilyen jogok hiányában a szennyezés által negatívan érintett természetes vagy jogi személy kárának bizonyítására van szükség a szennyező perléséhez, ami vagy lehetséges, vagy nem.

A környezeti etika egyes áramlatai beilleszthetők a meghatározó morálfilozófiai iskolák elméleti rendszerébe, ugyanakkor egy másik, alapvető tekintetben újat is hoz.

Ugyanis — legalábbis egyes áramlatokban — megkérdőjeleződik a modernitás humanista beállítottságának evidenciája. *Robert Spaemann* szerint a humanista felfogáshoz tartva magát, az ember „mindig csak annyit fog meghagyni a természetnek, amennyivel a mérlegelésnél pillanatnyilag még ép bőrrel megússza” (89.). Szerinte a természethez való viszonyuknak egyfajta vallási viszonyra kell válnia (90.).

William F. Baxter a környezeti etikát megpróbálja szigorúan az antropocentrizmus talapzatán megtartani. Baxternél fogalmazódik meg az az enyhén szolipszista, és vitára ingerlő gondolat, hogy a „pingvinek azért fontosak, mert az emberek szeretik őket nézni”, illetve hogy a növényi- és állatvilágot „annyira kell ... megőrizni, amennyire az emberek függnek tőlük”.

Holmes Rolston tanulmányát tartjuk a leginkább figyelemreméltónak etikai szempontból. Szerinte az antropocentrikus irányzatokban az a közös, hogy mikor a környezetről beszélnek, akkor csak az etikai cselekvés korlátját látják benne; nem olyan valamit, ami magával az etikai cselekvés lényegével függ össze.

A *Holmes Rolston* által képviselt felfogás „nem az emberi érték alapjának megőrzésére” szólít fel, hanem arra, hogy „meg kell őriznünk az ökoszisztémát”. Az emberről áttevődik a hangsúly a környezetben élő emberre! (162.) Az alapvető fontosságú paradigmaváltás éppen arra reflektál, hogy az „ember” nem az evidenciát jelentő biztos instancia, amiről egyrészt tudjuk hogy mi, illetve tudjuk, *mivé kell legyenek*. Az ilyen nem antropocentrikus etikák megfogalmazta normák vonatkoztatási pontja nem az ember „mint olyan”, függetlenül a Természettől, sem a Természet, függetlenül az „embertől”. Nem az ember számára való értékükből vezeti le az állatok, fajok elpusztításának tilalmát, de nem is a Természetre hivatkozva, hiszen az „ökoszisztémák is rendszeresen pusztítanak el fajokat” (165., 170—1.). Egy sajátos, „etikailag zavaros, de termékeny” pozíció elfoglalásáról van szó „az ember és a világ közti merev választóvonal felbomlása” után, melynek egyik következménye pl. a bőr státusára való rákérdés (167.). (Milyen hétköznapi, és mégis milyen bonyolult dolog is a hatá-

rosság eme egyszerű képződménye!) Az emberre ebben a felfogásban nem a megérkezetttség állapotában tekintünk, hanem — kicsit Heideggert, az ő „úton levését” idézi *Holmes Rolston* példája — „folytatja a megérkezést”. *Rolston* tanulmányának alap gondolatához hasonlólt képvisel *P.W. Taylor* is. Az ő érvelésében érdekesnek találjuk az élőknél tulajdonított inherens érték és az adott létező jóságának különválasztását (180—1.). Az egyedi organizmust „teleologikus középpontként” kell felfognunk; ez nem antropomorfizálás — írja a szerző —, mivel a teleológia magának az élőlénynek a perspektíváját jelenti, amivel azonosulni tudunk (187—8.).



Új elem a környezeti etikában a korábbi mikroszintű, érületi etikákkal szemben a globális, makro jelleg. Cselekvésünk, döntéseink olyan dimenziói tárulnak fel, amelyek abból fakadnak, hogy azok lényeges mértékben érintik, korlátozzák — ráadásul a mindennapi tudat, a „közös érzék” (common sense) számára nem adott módon — a közvetlen cselekvési mezőben jelen nem levő, térben és időben akár igen távol levő személyek, csoportok érdekeit (71.). Szembekerülünk azzal a problémával, hogy saját aktivitásunkat kell korlátoznunk, azaz nem várhatjuk a külvilágtól, hogy a korlátozás műveletét megtegye helyettünk, s annak *spontán* kiindulópontjául szolgáljon. Immár a „dolgok összességére” vált az

ember veszélyessé (mondja Hans Jonas), és most már nem az a gondunk, hogyan legyünk úrrá a természet (külső) erőin, hanem hogy saját (belső) erőinkkel mit kezdjünk. Korábban a Természet mint átfogó fogalom igazodási pont volt az etika számára (l. Spaemann 85.). Ma ez a mércénk elveszett: a környezeti etika számára — bár paradox módon a természetre hivatkozik — nem kinálkozik egyértelműen ilyen fogalom. Hagyományaink most már nem a múlt visszahúzó erejét jelentik, hanem — hasonló kényszerességet kifejezve — előrehajtó erőt (75.).

Fontosnak tartjuk, hogy a kiemelten műszaki értelmiségieknek szánt szöveggyűjtemény hangsúlyosan felhívja a figyelmet a technokratikus mentalitás korlátjaira. A demokrácia és a technokrácia (elit) elvei közti ellentmondás sokáig meghatározó szerkezeti eleme volt a modern társadalmak irányításáról folyó vitának. A környezeti problémák esetében mindkét elv korlátjai megmutatkoznak. A technokratikus megoldások a tervezett beavatkozások kibővítésével kísérik meg a mellékhatások kezelését — amelyek nélkül sosincs „főhatás” —, ami még nehezebben kezelhető megoldásokat eredményezett a múltban, és vélhetően a jövőben is (87.). A demokrácia elve, a konszenzus-elv hiányosságai is megmutatkoznak azonban. A konszenzusképzés folyamatából nyilvánvalóan kimaradnak a még meg nem született generációk (utal erre Robert Spaemann írása, akiknek életét akár a legdemokratikusabban meghozott döntéseink is megterhelik. Ez a szempont is felveti egy, a modern társadalmi alrendszerek logikájába nem szerveült szempont, értelem igényét, amelyet az etika diszciplinája próbál megfogalmazni (83.).

A kötet külön érdeme — ha már az általános társadalomelméleti dimenzióra utalunk — az, hogy a főáramú társadalomtudományos elméletek deficitjét kompenzálандó, konkrét esettanulmányokkal szolgál arra, hogy egyes szakszempontok

milyen formában kerülnek a kérdéses területre. Itt a földtudományoknak a radioaktív hulladékokról folyó vitába való bevonásának példáján (*W. Kasig* tanulmánya 115—136.) gondolkodhatunk el azon, vajon a szakszempontok körül csoportosuló alrendszerek önaktivitása révén kerül bele a diskurzusba az adott szempont, vagy pedig van egy alrendszerhez nem rendelhető mozgás („polgári kezdeményezés”, l. 127.) is a modern társadalmakban, amely adott esetben — tulajdonképpen persze csak az alrendszerek „hozott anyagá”-ból — „bekapcsolja” az új szempontokat.

A magunk részéről a kötet nagy érdemének tartjuk, hogy olyan technikai, természettudományos vonatkozásokat hoz be, amelyek a kissé belterjessé váló társadalomelméletet, társadalomfilozófiát mozgásba hozzák. A TMI-baleset leírásának (21—38.) követése egy filozófus, közgazdász, politológus számára minden bizonnyal nem egyszerű feladat, de véleményünk szerint ilyen jellegű kitekintések révén válhat világossá minden specializálódott szakma képviselője számára nézőpontjának korlátozottsága, és az újabb kitekintési módok keresésének igénye.

Egy környezeti etikai szöveggyűjtemény elkészítése felveti azt a kérdést, az olvasó miképpen tudja mindennapi életébe átültetni a benne megfogalmazott üzenetet. A környezetbarát építésről szóló írás (*Andrea Berndgen—Maria Feldhaus*, 135—141.) olyan lehetőséget kínál, amelyet az olvasó hétköznapi életében mint fogyasztó érvényesíthet: saját lakásunk kialakítása mindannyiunk számára viszonylag nagy jelentőségű döntési alternatívát kínál, hogy tegyünk valamit a „Gondolkodj globálisan, cselekedj lokálisan!” jelszó jegyében. (*Molnár László (szerk.): Legyenek-e a fáknak jogai? Typotex, Budapest 1999.*)

Ohnsorge-Szabó László

EÖTVÖS LORÁND, A TURISTA

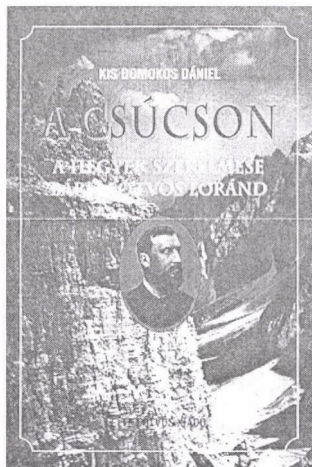
Múlt századi nagyjaink közül kevesen vannak, akiknek az életében olyan fontos szerepet töltött volna be a család, mint a jelen kötet főhősének édesapja, Eötvös József életében. Családjá körében talált megnyugvást közéleti megpróbáltatásai után, legbensőbb gondolatait családtagjaival osztotta meg, és a házi élet mindennapjai, mindennapos konfliktusai regényei motívumaivá, reflexióinak kiváló élményévé váltak. Az Eötvösök családi élete ideáltipikus jellege miatt is érdeklődésre tarthat számot: jól dokumentált képviselője annak a nukleárisnak nevezett, de legalábbis csak a legszűkebb rokonságot magában foglaló családmodellnek, amely éppen Eötvös József nemzedékének idején, a modern ipari társadalom megváltozó elvárásainak következtében alakult ki.

Az Eötvös-család privátszférájának kétértelmű legfontosabb szabadiós tevékenysége, közös érdeklődési köre volt a kirándulás, a hegymászás. Maga Eötvös József huszonevésen, nyugat-európai útja során vált szenvedélyes turistává. Életének ezen élményei nem merültek nyomtalanul feledésbe: elszórt adalékokból, visszaemlékezésekből, levelekből jöszerevel összeállítható volna a barangolások útvonala. A Mont Blanc lejtőin átélt kalandokról *A karthauzi* számol be; az 1843/44-es pozsonyi országgyűlés idején tett kirándulásokról, piknikekről (melyeken már felesége, Rosty Ágnes is részt vett) Lónyay Menyhért levelei őriznek pillanatsfelvételeket. Eötvös 1848 utáni emigrációja idején (a sors- és turistatárs Trefort Ágostontól tudjuk) a Stahrenbergi-tó környékét, Salzburg és Berchtesgaden vidékét járta be. Az ötvenes évek alföldi visszavonultságában az Oroszáza környéki tanyavilággal ismerkedett, s még élete utolsó éveiben is, ha tehetné, németországi gyógyfürdő-kurát mindíg gyalogtúrákkal, a régi kedves helyek ismételt bejárásával kötötte össze.

Loránd fia vajon hány éves korától vett részt e kirándulásokon, nem tudjuk. *Kis Domokos Dániel* kötetéből mindenesetre kiviláglik, hogy az atyai példa nyomán e téren is tartós ösztönzést kapott, s nem-

csak hasonlóképpen szenvedélyes természetjáróvá, hanem egyben a magyarországi intézményes turizmus egyik megalapítójává és jelentős előmozdítójává is vált.

A gazdag levél- és naplóforrásanyagot közlő, tényfeltáró filológiai tanulmányokat és életrajzi esszét tartalmazó, továbbá rajzokat, térképeket és fényképeket közlő könyv Eötvös Loránd életformává váló hobbijának számos vetületét ábrázolni kívánja. Egyfelől újabb adalékokkal gazdagítja az Eötvös-család életéről rendelkezésünkre álló ismereteket, új dolgokat tudhatunk meg apa és fiú szinte barátságga nemesedő viszonyáról, s az itt közlített források egyes adatai (az irodalomtörténetek szeme észre fogja venni ezeket) nagymértékben hozzájárulnak majd az Eötvös-regények és novellák egyes jeleneteinek földrajzi betájolásához.



Másrészt a könyv — hiszen ez egyik vállalt fő feladata — részletes eseménytörténetét nyújtja Eötvös Loránd hegyvidéki túrainak. Azon jelenségek közé, melyek a Habsburg-birodalom közös kulturális-civilizációs tradícióját alkotják — mint például a zenei örökség, az építészet vagy a konyhaművészet — az ehhez hasonló leírások alapján bizvást odailleszthetjük a turizmust is: Eötvös, a „magyar báró”, ahogy

a turistatársak emlegették, akár az Alpok, akár a Tátra, akár a Dolomitok egyik-másik hegyének az oldalában kapaszkodott fölfelé, mindvégig Ferenc József birodalmának országában, „otthon” maradt.

Tiszteletre méltó, dicséretes ügyszere-tettel, nagy filológiai alázattal és imponáló turisztikai tájékozottsággal megírt könyv Kis Domokos Dániel. A szerző minden bizonnyal maga is profi hegymászó: köte-tének célja nem utolsósorban bizonyára e sportág népszerűsítése volt — egyik alapí-tójának életpályáján keresztül. Ha van a könyvében olyasvalami, amivel a recenzens nem egészen elégedett, úgy ez alighanem törvényszerűen ered a többszörös szerzői elvárások szövevényéből. A recenzens (otthonülő Eötvös-kutató) kötetel szemben

támasztott igényeinek jobban megfelelt volna források, tanulmányok, jegyzet- és képanyag esetenként kevésbé érdekfeszítő narrációt eredményező, ám mindenképpen következetesebb elválasztása. Tipográfiai-lag is, és annak eldöntésével is, hogy hol találják meg az egyes adatok végleges és legmegfelelőbb helyüket.

Mindez azonban nem változtat a lényegen: nemcsak a magyar turisztika történe-tével foglalkozóknak, hanem az Eötvös-család kutatóinak is hasznos és nagy szol-gálatot tett Kis Domokos Dániel a turista Eötvös Loránd alakjának megrajzolásával. (*Kis Domokos Dániel: A csúcson. A hegyek szerelmese — Báró Eötvös Loránd. ELTE Eötvös Kiadó, 1998. 225 o.*)

Gámgó Gábor

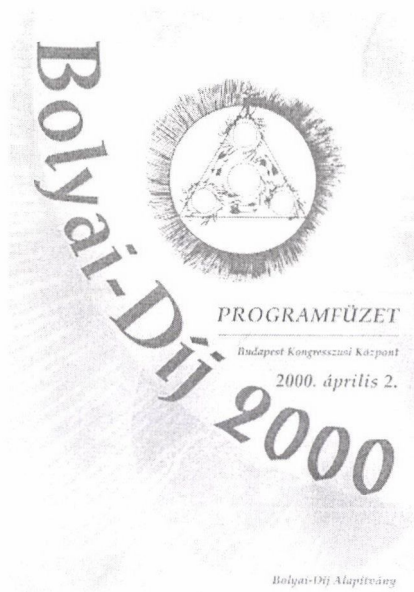
Beérkezett könyvek

Btró Yvette: PROFÁN MITOLÓGIA. Osiris Kiadó, Budapest, 1999. 222 o. Ára 1180 Ft.

A jelenleg New York-ban élő szerző mű-ve először angolul jelent meg 1982-ben. A polemikus tanulmány a mágikus gondol-kodással rokonítja a filmgondolkodás és -kifejezés lehetőségeit. Úgy véli, a film több is, kevesebb is a művészetnél. Mindenna-pibb és oldottabb kifejezési forma, ennél-fogva nagyobb hatókörű. A vizuális érzé-kelés és cselekvés megismerés elemzésé-vel indítja gondolatmenetét, majd a mo-dern filmírás két nagy áramlatát szemügy-re véve feltárja a mindennapi élet és a tudat tartományának új mitológiáit. A filmművészet nagyjainak példáira támasz-kodva vallja, hogy a kamera nemcsak rögzíti az emberi öntudat működését, ha-nem a maga sajátos látása segítségével újfajta gondolkodásra is tanít.

Csáktornyai Mátyás: GRÓBIÁN. Régi Ma-gyar Könyvtár, Források 9. A szöve-get gondozta, a jegyzeteket és az utószót írta Kőszeghy Péter. Balassi Kiadó, 1999. 114 o. Ára 800 Ft.

„Gróbián verseinek magyar énekbe való fordítása, melyekben az jó tisztességes erkölcsnek regulái vissza való értelemmel vannak megíratván” — ez a teljes címe annak az 1592-ben, Csáktornyai Mátyás által írt versezetnek, amely Kolozsvárott, talán szintén ugyanebben az évben jelent meg. A kötetből egyetlen példány maradt meg, jelenleg az Országos Széchényi Könyvtár őrzi. A mű stílusát, műfaját tekintve vitatható: hegedűsének, kocsmai mulattatás céljára összeállított malacko-dás, vagy a bemutatott durva viselkedési formáktól elrettenteni akaró nevelő szán-dékkal íródott. A kötetet Csáktornyai Mátyás fordította, előzménye a német nyelvte-rületen a 16. században, és azt követően elterjedt Gróbián-irodalom, mely a kor egyik legnépszerűbb műve. Gróbián törté-nete világirodalmi vándorútján Magyaror-szágra érkezett meg elsőnek Csáktornyai Mátyásnak köszönhetően, akinek szemé-lyéről, munkásságáról keveset tudunk. Erről is kapunk azonban némi tájékozta-tást Kőszeghy Péter a mű eredetét és civi-lizációtörténeti jelentőségét méltató utósza-vából.



Freund Tamás Bolyai díja*

A biológiának számos olyan területe van, amelyen világhírű magyar biológusok dolgoznak. Ezek egyike az idegrendszer biológiája, a neurobiológia, amelyet Szentágothai János iskolája tett ismertté. Freund Tamás ennek az iskolának kiemelkedő képviselője, Szentágothai legfiatalabb tanítványainak egyike. Freund Tamás az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett biológusi diplomát 1983-ban. Tudományos diákköri munkát már másodéves hallgató korától végzett, 1986-ban a biológiai tudományok kandidátusa, 1992-ben a doktora lett. 1998-ban, igen fiatalon, harminckilenc évesen az MTA levelező tagjává választották, ritkán előforduló száz százalékos szavazataránnyal. A világ számos helyén, neves kutatóintézetekben végzett kutatómunkát. Összesen négy évet töltött az Oxfordi Egyetemen, itthon 1990-től a Magyar Tudományos Akadémia Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézetének osztályvezetője, 1994-től igazgatóhelyettese. Jelentős külföldi tudományos pályázatok elnyerésével és külföldi kutatócsoportokkal végzett közös munkákkal az anatómia, az idegélet és a molekuláris biológia módszereit együttesen alkalmazó neurobiológiai kutatócsoportot szervezett, amelyet az agykutatások területén a világ legrangosabbjai között tartanak számon. 1992 óta külföldi kutatási pályázatokon több mint hétszáz ezer amerikai dollárt nyert saját laboratóriuma fejlesztésére. Freund Tamás öt neves nemzetközi tudományos folyóirat szerkesztője, az Idegtudományi Világszövetség vezetőségi tagja, Közép- és Kelet-európai Bizottságának elnöke. Tevékeny résztvevője a hazai tudományos életnek is, elnöke a Magyar Tudományos Akadémia Neurobiológiai Bizottságának, a Felsőoktatási Kutatási Pályázatok Biológiai Zsűrijének, és tagja számos más tudományos döntéshozó testületnek. Kutatómunkájának középpontjában az agy összetett, gondolkodást szervező központjainak, különösen az agykéregnek a tanulmányozása áll. Kutatási eredményei közül csak a legfontosabbakat említem. A tanulási és gondolkodási folyamatokat az agykéregben az idegsejtek ritmikus működése teszi lehetővé. Ennek a ritmikus összehangolódásnak a mechanizmusát fejtegette meg

Freund Tamás és kutatócsoportja a különböző idegsejt-típusok és ingerületátvivő vegyületek egymásra hatásának vizsgálata során. Eredményeik rávilágítottak az idegsejtek működésbeli összehangolódásának, szinkronizációjának fontos szerepére. Szinkronizációs folyamatok segítik a különböző érzékszervekből jövő idegi információk összehangolását, integrációját, és a szelektív figyelmet. Ugyancsak fontos a szinkronizáció szerepe az információátvitelt kísérő zajszűrésben. Megfigyelései tisztázták, hogy a tudatos érzékelés a tanulás és az emlékezési folyamatok során az agykéreg régiói, mely idegsejthálózatok aktiválódnak, miközben az agy két eltérő frekvenciájú elektromos hullámtípust gerjeszt. Valószínűsítette, hogy a lassú théta hullámok a zajszűrést, a gyors gamma hullámok pedig az idegi információ komplex érzékletté alakítását, tudatosulását szolgálgják. Csoportja összetett módszerekkel, szinte sejtről-sejtre felderítette fontos ideghálózatok pontos térképét. Azonosították a tanulási és memóriafolyamatok érzelmi és motivációs szabályozásáért felelős idegpályák működési módjait. Kiderítve azt is, hogy az ideghálózat kémiai érzékenysége miként járul hozzá az emlékezés, a tanulás és az érzelmek kialakulásának folyamataihoz. Foglalkoztak egyes idegrendszeri megbetegedésekkel is. Így az epilepszia keletkezésének, az oxigénhiányos agykárosodás és a Parkinson-kór idegbiológiai folyamataival. Kísérleteik alapján új gyógyító eljárások születhetnek a gyógyszerkutatásban e betegségek gyógyítására. Tudományos eredményeit a világ idegtudósai igen nagyra értékelik, közleményeit évente több mint 700-szor idézik a nemzetközi szakirodalomban. Freund Tamás saját tudományos iskolát épített ki. Lebilincselő előadásokat tart az ország négy egyetemén. Számos amerikai és európai egyetemről hívták meg előadás tartására. A nemzetközi tudományos élet számos megtisztelő díjal jutalmazta munkásságát. Így 1991-ben a Swiss Medical Foundation Demuth-díját nyerte el és az Amerikai Anatómusok Cajal Társaságának „Cortical Explorer” díját, majd ugyanennek a díjnak az „életmű” kategóriáját, a „Cajal Medál”-t. 1998-ban a „Cortical Discoverer” díjat, még ugyanebben az évben az Európai Idegtudományi Konferencián vette át a „Dargut és Milena Kemali Díj”-at. Idehaza 1997-ben a Magyar Tudományos Akadémia akadémiai díját, 1999-ben a Szegedi Tudományegyetem „Ábrahám Ambrus Díj”-át, valamint az Oktatási Minisztérium, az Országos Tudományos Diákköri Tanács, és az Magyar Tudományos Akadémia „Mestertanári” kitüntetését kapta meg. Még hosszasan sorolhatnám Freund Tamás tudományos pályafutásának szakmai részleteit, de már csak annyit jegyzek meg, hogy Freund Tamást világsikerei nem szédítették meg, rendkívül szerény, kiengesúlyozott személyiség, példás családi életet él, vonzó, példamutató és határozott vezető. Eddigi életútja kitűnő példa a feltörekvő nemzedék számára.

Csányi Vilmos

JEGYZET

* A köztársasági elnök által 2000. április 2-án átadott, magánalapítású díj laudációja.

Közelgő nyolcvanadik születésnapján szerkesztőségünk tisztelettel és a legjobb kívánságokkal üdvözlöi a Nobel-díjas *Harsányi János*-t!

CONTENTS

Genetic Technology

Curse or Blessing? (<i>Dénes Dudits — Zsuzsa Szentgyörgyi</i>).....	529
<i>Pál Venetianer</i> : The Two Wars of Genetic Technology	530
<i>Dénes Dudits</i> : Plant Biology's New Age	537
<i>Zsuzsanna Bósze</i> : Transgenic Animals	555
<i>Gyula Hadlaczky</i> : The History of the Chromosome.....	567
<i>Ervin Balázs</i> : Another "Green Revolution"	573
<i>István Raskó</i> : Molecular Genetics in the Service of Health.....	579
<i>Béla Somfai</i> : Ethical Issues in Genetics.....	586

Look Afield

The Road We Have Covered

Gábor Bálint's letter from Kazan, 1871, introduced by <i>Ágnes Birtalan</i>	608
---	-----

From the History of Science

<i>Gábor Bolvári-Takács</i> : Academicians Recruited from Sárospatak	612
--	-----

Interview

Mathematician Péter Frankl interviewed by <i>Gyula Staar</i>	621
--	-----

Book Reviews

Tamás Freund Honored (*Vilmos Csányi*)

A kiadásért felelős az Akaprint Kft. ügyvezetője
Nyomdai munkák: Akaprint Kft. 24229
Felelős vezető: Freier László
Szerkesztőségvezető: Hernádi Miklós
Megjelent: 11.2 (A/5) ív terjedelemben
HU ISSN 0025-0325

Ára: 295 Ft

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Herman József</i> : Nyelvi tudat, nyelvi változás, nyelvi politika	385
<i>Csányi Vilmos</i> : Humánétológia	397
<i>Romány Pál</i> : Az agrárpolitika és a tanyák a mai Magyarországon	417
<i>Póczik Szilveszter</i> : Magyar és cigány bűnelkövetők a börtönben	426
<i>Vicssek Tamás</i> : Leírható-e egyetlenekkel az embertömegek viselkedése?	436
A tudományos műhely problémái	
<i>Császár Ákos</i> : Matematikai kutatások hazánkban	448
Technológiapolitika	
50 éves a DUNAFERR Dunai Vasmű (<i>Horváth István, Sziklavári János, Zsámbok Elemér, Zsámbók Dénes, Grega Oszkár</i>)	458
Interjú	
„A lényeg, hogy érdekes matematikával tudjam tölteni az időmet”. Beszélgetés Bollobás Bélával, az MTA külső tagjával (<i>Strehó Mária</i>)	478
Tudománytörténet	
Százötven éve született Alexander Bernát (<i>Perecz László</i>)	483
Pályánk emlékezete	
Xántus János levele Mexikóból – 1896 (<i>Bevezeti Matskási István</i>)	494
Viták—vélemények	
Homo delectans – avagy a szaktudomány előtti tudós (<i>Zemplén Gábor</i>)	497
Fontosak az új matematikai módszerek (<i>Bárdossy György</i>)	502
Nemprovokatív védelmi rendszerek: a béke meghosszabbítása (<i>Tóth József</i>)	503
Etikus-e? (<i>Keszthelyi Lajos</i>)	505
Jedlik Ányos-díjak	507
Könyvszemle	
A magyar szociáldemokrácia kézikönyve (<i>Litván György</i>)	508
A cigányok Magyarországon (<i>Noszkai Gábor</i>)	512
Vitályos László–Orosz László: Ady-bibliográfia 1896—1970, 1896—1977; Stauder Mária–Varga Katalin: Babits Mihály bibliográfia (<i>Buda Attila</i>)	514
Tóth Pál Péter: Szórványban (<i>Niederhauser Emil</i>)	518
A. Etkind: A lehetetlen Erőszja; U. Eco: Kant és a kacsacsőrű emlős (<i>Pléh Csaba</i>)	521
A kolozsvári Bolyai Egyetem 1945—1959 (<i>Köpeczi Béla</i>)	525
Kelemen János: A Szentlélek poétája (<i>Rathmann János</i>)	526
Contents	528

Magyar Tudomány

A szám szerzői:

Bárdossy György, az MTA r. tagja

Buda Attila könyvtáros (ELTE)

Csányi Vilmos, az MTA lev. tagja, tszv. egy. tanár (ELTE)

Császár Ákos, az MTA r. tagja, prof. emeritus (ELTE)

Grega Oszkár PhD, műszaki fejlesztési igazgató (DUNAFERR)

Herman József, az MTA r. tagja, egy. tanár (Univers. degli Studi di Venezia, Olaszország)

Horváth István elnök-vezérigazgató (DUNAFERR)

Keszthelyi Lajos, az MTA r. tagja, kutatóprof. (MTA SZBK)

Köpeczi Béla, az MTA r. tagja, egy. tanár (ELTE)

Litván György, a törttud. dokt., tud. tanácsadó (1956-os Intézet)

Matskási István főigazgató (Magyar Természettudományi Múzeum)

Niederhauser Emil, az MTA r. tagja, egy. tanár (ELTE)

Noszkai Gábor jogász

Perecz László PhD, egyetemi docens (BME)

Pléh Csaba, az MTA lev. tagja, egy. tanár (JATE)

Póczik Szilveszter, a közgazd.-tud. kand., egy. docens (BKE)

Rathmann János, a filozófiai tud. dokt., egy. tanár (ELTE)

Romány Pál, a mezőgazd. tud. doktora

Strehó Mária egyetemi adj. (BKE)

Sziklavári János, a műszaki tud. doktora (DUNAFERR)

Tóth József, a műszaki tud. kand., szaktanácsadó

Vicssek Tamás, az MTA lev. tagja, tszv. egy. tanár (ELTE)

Zemplén Gábor PhD hallgató (BME)

Zsámbók Dénes, a fiz.tud. kand., intézetigazgató (DUNAFERR)

Zsámbok Elemér gyártörténész (DUNAFERR)

