

Szintetikus biológia és a társadalmi ellenőrzés hiánya

2010 májusában a *Science* amerikai tudományos folyóirat tudományos szenzációként közölte, hogy Craig Venter kutatócsoportjának sikerült egy számítógéppel előre megtervezett DNS-szekvenciát teljesen mesterségesen előállítania, majd élesztőben történő klónozás után baktériumsejtbe bevinnie, és hogy a mesterséges DNS a baktériumsejt osztódása után az utódsejtben is megtalálható volt. Tehát nem egy máshonnan kivágott, hanem teljesen mesterségesen tervezett DNS-t vittek át baktériumsejtbe. A kísérlet kétségtelenül új távlatokat nyithat a molekuláris biológiában, s elvileg lehetővé teszi eddig soha nem létezett fajok mesterséges előállítását, illetve – természetesen – ezek ipari felhasználását is, ami viszont a pénzügyi spekulációban nyithat új távlatokat – például a következő válságuborék felfújásában... Ezért a különböző internetes honlapokon gyorsan megérkeztek a vegyes reakciók is, a kritikátlan lelkesedéstől az egyelőre kezdeti stádiumban levő új eredmény potenciális veszélyeinek és nemkívánatos társadalmi-etikai következményeinek felvázolásáig. Összefoglalónk ezekből a francia nyelvű médiában megjelent cikkekből ad ízelítőt a *Vivagora* és a *Le Monde diplomatique* honlapján megjelent blogok alapján. A vita lényege a tudományos kutatás szabadsága és demokratikus társadalmi ellenőrzése közötti ellentmondás kérdése. (Forrási jegyzetek [] és további kiegészítések a négy dokumentum végén.)

Hrabák András

*

HERVÉ LE CROSNIER

A szintetikus biológia Pandora-szelencéje

A *Science* tudományos hetilap 2010. május 20-án a Craig Venter irányítása alatt álló csoport eredményéről közölt hírt, amely először hozott létre olyan sejtet, amelybe egy számítógép által tervezett DNS-molekulát építettek be.¹ Craig Venter számára ez „tudományos és filozófiai szempontból is fontos állomás”. Ha figyelmen kívül hagyjuk is a dicsekvő hangnemet, amellyel a bejelentést megtették a sajtóban, e tudományos közlemény és azok a kutatások, amelyek ehhez az eredményhez

vezettek, számos olyan kérdést vetnek fel, amelyek megérdemlik az állampolgárok, a politikai döntéshozók, a civil társadalom szervezeteinek és természetesen a tudományos szakemberek közösségének teljes figyelmét. A civil társadalom szervezetei, nevezetesen az ETC Group [1] moratóriumot követel az ún. „szintetikus biológia” által alkalmazott technikákra, és globális választ sürget a szélsőséges genetikai kutatásokkal szemben.

„A csütörtöki bejelentés az első olyan élő sejt létrehozásáról, amelybe egy szintetikus genomot építettek, előrelépést jelent az élet mechanizmusának megértésében, és megnyitja az utat mesterséges szervezetek előállításához, amelyek képesek például tiszta üzemanyagot termelni.”

E bevezetés áll az AFP tudósításának legelején, amely az első francia nyelvű híradás a felfedezésről, s egyben legkevésbé hatásvadász közlemény. De itt is megfigyelhetjük, hogy a laboratóriumi kísérletek szerepe átalakult; bolygónk és az egész emberiség szenvedéseire és bajaira onnan várjuk a csoda-válaszokat, és ennek megfelelően a tudományos kutatások eredményeinek bejelentése ebben a hangnemben születik meg. Ez a gyakorlat viszont csökkenti a tudományos munkák objektív elemzésének lehetőségét, s csökkenti az állampolgárok és képviselők lehetőségeit is, hogy kritikusan értékeljék azt, és levonják a politikai következtetéseket a tudomány fejlődésének következményeiből.

Valójában a kísérlet sokkal szerényebb, ám egyszersmind nyugtalanítóbb eredményre jutott. Arról van szó, hogy szintetizáltak egy kromoszómát, amelynek kódját számítógép tervezte, először mesterséges élesztő-kromoszóma segítségével génkonstrukciót hoztak létre [2], amelyet azután beépítettek egy baktériumsejtbe és ott megtalálták azt ennek a sejtnek az osztódása után is. Ennek igazolásául Craig Venter csapata „filigránokat” vitt be a kromoszóma kódjába.

DNS-t először az 1970-es évek elején Har Gobind Khorana szintetizált és az 207 bázispárt tartalmazott. 2002-ben Eckard Wimmer jelezte, hogy újra előállította a *polio*, a gyerekbénulás vírusát. Ezt követően pedig újra előállították az 1918-as spanyolnátha vírusának DNS-ét és tökéletesítették a DNS előállításakor használt technikákat. Azóta az ember megrendelhet bármely DNS-szálat, ha e-mailben elküldi a szekvenciáját. Közel negyven genom-szintézissel foglalkozó vállalkozás létezik, közülük kettő Franciaországban. Ami újat a J. Craig Venter Institute kísérlete hozott, az az, hogy tökéletesítették a kromoszóma-összerakás technikáját, és mivel sikerült a sejtosztódás után is megtalálni az új DNS-t a sejtben, ez azt jelenti, hogy a mesterséges DNS ellenőrzése alá vonta a sejtet. David Baltimore, a Caltech kiváló genetikusa számára, akit a *The New York Times* idéz, nem az *élet*, hanem egy új *másolat* előállításáról van szó. Egy olyan technikáról, amelynek egyébként ő elismeri minőségi jellegét, de ez számára távolról sem teszi indokolttá a Craig Venter teamje által használt szuperlatívuszokat, amellyel „el akarják adni” kísérletüket.

Márpedig az *eladás* igencsak a szintetikus biológiai kutatások céljai közé tartozik. Venter 2007 májusában előterjesztett egy amerikai (20070122826 sorszám alatt) és egy nemzetközi (PTO WO2007047148) szabadalmibejegyzés-kérelmet. Ennek értelmében tulajdonosa kíván lenni egy olyan „minimál”-DNS-konstrukciós technikának, amely élő szervezetek önreplikációjára alkalmazható. Magának követeli az olyan hidrogén- és etanoltermelő eljárások (szellemi) tulajdonjogát, amely hasonló technikák alkalmazásával történik. Igencsak távolra kerültünk attól a kutatástól, amely „meg akarja érteni a természetet” és magyarázni akarja a biológiai jelenségeket... Ez a fajta kutatás sokkal inkább olyan alkalmazásokat keres, amelyek a kockázati tőkebefektetők fantáziáját mozgatják meg.

Venterék hosszú távon ellenőrzésük alá szeretnék vonni a széndioxid-piaci spekulatív buborék pénzügyi és gazdasági eredményét. Ebben a zabolátlan versenyben a Synthetic Genomics Inc. vállalattal lépnek fel közösen, amelyet szintén Craig Venter irányít, és amelyet az Egyesült Államok kormánya támogat. (Az USA energiaügyi minisztere, a fizikai Nobel-díjas Steven Chu lelkes híve a szintetikus biológiának.) Egy olyan vállalatról van szó, amely az Exxon Mobil és a BP olajcégek partnere; az utóbbi „kockázatmentes műszaki képességeit” éppen a közelmúltban csodálhattuk meg a Mexikói Öbölben!

Prométheuszi ambíció

Hogy egy mesterséges DNS-sel módosított baktérium szénhidrogéneket termeljen, nem biztos, hogy a közeljövőben megvalósul. De maguk ezek a kísérletek, amelyeket közvetlenül pénzügyi célokból végeznek, és amelyek afféle médiaszórakozásként hatnak a Föld és az emberi társadalom aktuális problémáira, erősen megkérdőjelezhetőek.

Márpedig az aggályok jelentősek: biológiai fegyverek kifejlesztése; annak következményei, ha a laboratóriumi személyzet különösen patogén vírusokkal kerül érintkezésbe; valamint annak kockázata, hogy szintetikus szervezetek kerülhetnek ki véletlen baleset következtében a környezetbe.²

Az ipari verseny éppúgy, mint az érintett kutatók egójának háborúja egyaránt globális demokratikus válaszáért kiált, abból a célból, hogy háttárazzák meg az ilyen kutatások végzésének lehetőségét és feltételeit. Nem lehet a döntést csupán az adott tudományterület kutatóira hagyni. Azt sem, hogy mindezeket széles körben árusítsák ki, olyan, a médiában csillogtatott tulajdonságokkal, amelyek hiteltelenekek és nagyon is megkérdőjelezhetőek.

Egy ilyen reflexió során soha ne felejtkezzünk el a tudományos közösség egy részének prométheuszi vágyairól, különösen a genomikai kutatás megszállottjairól, akik a minapi közlemény szerzői között is ott

vannak. Azoknak az újságíróknak, akik megkérdezték a Nobel-díjas Hamilton O. Smith-t, a Synthetic Genomics Inc. részvényesét, és a Science cikkének egyik szerzőjét, vajon nem érzi-e úgy hogy Istent játszik, ő a kedvenc tréfájával válaszolt: „Mi nem játszunk.” A minap publikált kísérlethez használt genetikai kód magában hordozza – és arra kérnek bennünket, hogy ezt ne vegyük szó szerint – azokat a jeleket, amelyek lehetővé teszik a kromoszóma megtervezését. Felix Adler filozófust idézve, aki az atombomba kidolgozójáról, Oppenheimerről írt életrajzi könyvében, az *American Prometheus*-ban ezt írta: „*Ne azt nézzétek a dolgokban, amik, hanem azt, amivé válhatnak*”.

Márpedig alapjaiban egy ilyen prométheuszi logika terjedt el ma a tudósok körében: a „föld-gép megjavításának” akarata a geo-engineering révén, egészen a nano-anyagokig, és természetesen az élő anyag leigázásáig.³ A természet nem egy egyedi és különös modell többé, hanem egy egyszerű tárgy, amit a mérnököknek tökéletesíteniük kell... és ha ez lehetséges, mindez a „kutatói szabadság” nevében – vagyis anélkül, hogy az állampolgároknak hatalmukban állna a kutatói orientáció befolyásolása –, az élő anyag feletti hatalom iránti különleges vágy kergetésével kapcsolatos, a természeti vagy a társadalmi környezetre gyakorolt hatások értékelése nélkül, de még a filozófiai következtetések sincsenek végig gondolva erről az élővilág feletti teljes uralom szándékáról.

Ezeknek a duális tudományoknak a kutatói (akik hajlamosak óriási kockázatokat vállalni az ígéretesség előnyeiért) nagyon gyakran azt akarják, hogy ők maguk szabályozzák az etikai és biztonsági kérdéseket, kizárólag az ágazatban működő vállalatok bevonásával. Ez volt a vörös fonál a híres asilomari biotechnológiai konferencián 1975-ben, ahogyan a 2006-ban Berkeley-ben tartott „Synthetic Biology 2.0” konferencián, vagy most, 2010 áprilisában a geo-engineering-ről tartott Asilomar 2 konferencián is. Mindegyik esetben meghívtak filozófusokat, hogy beszéljenek etikai szabályokról, hitelesítendő az adott terület képviselőit [...] önszabályozást akarnak megvalósítani, a közvélemény kizárásával, kizárólag a „partnerek” közös feladataként, miközben ezek a partnerek ugyanannak a pénzügyi és hatalmi kapcsolatnak a részesei.

Ez az oka annak, hogy a civil társadalom számos szervezete, köztük a nagy befolyással rendelkező ETC Csoport, vagy Franciaországban a Fondation Sciences Citoyennes, globális vitát akar szervezni, hogy elkerülhető legyen Pandora szelencéjének megnyílása. A Tudomány és Demokrácia Világfórumának, melynek második ülését 2011 februárjában Dakarban tartják, foglalkoznia kell ezekkel a lényegi kérdésekkel. Az alkalmazott technológiák ugyanis különösen éles Damoklesz-kardokat jelentenek. Már 2004 októberében megjelent egy szerkesztéségi cikk a *Nature* tudományos folyóiratban: „*Ha a biológusok eljutnak arra a pontra, hogy képesek az élet új formáit létrehozni, a szándékosan vagy tévedésből kiprovokált balesetek valószínűsége óriási mértékben megnő.*”

- 1 Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome, (Egy kémiai úton szintetizált genom által irányított baktériumsejt előállítás.) *Science*, 2010. május 20. [3]
<http://www.sciencemag.org/content/vol328/issue5981/index.dtl>
<http://www.sciencemag.org/content/vol329/issue5987/index.dtl>
- 2 Lásd Mateo Cueva: Bits, atomes, neurones et gènes font BANG. (Bitek, atomok, neuronok és gének – avagy BANG.) *Le Monde diplomatique*, 2009 október – magyarul is elérhető:
http://www.magyardiplo.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=113:bitek-atomok-neuronok-es-genek&catid=38:2009-oktober&Itemid=85
- 3 Lásd Mona Chollet: Le ciel nous préserve des optimistes. (Az ég megőrzi nekünk az optimistákat.); és Philippe Rivière: Nous serons tous immortels en 2100. (2100-ban mindannyian halhatatlanok leszünk.) *Le Monde diplomatique*, 2009. szeptember illetve december, utóbbi magyarul is elérhető:
http://www.magyardiplo.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=139:mindannyian-halhatatlanok-leszuenk-2100-ban&catid=49:2009-december&Itemid=88

*

PHILIPPE MARLIÈRE

Prométheusz, Pandora és Petri

(Válasz Hervé de Crosnier cikkére)

Craig Venter kutatócsoportjának kísérleti sikere, egy szintetikus genom beépítése egy sejtbe jelentős médiafigyelem mellett került bejelentésre. A munkák közlésének napján Obama elnök előrejelzést kért a jövőbeni technológiai és erkölcsi következményekről, s ezzel politikai felhangot adott a születő technológiának. Könnyű alátámasztani, hogy a Venter-kutatócsoport által kidolgozott biológiai eljárás előzmény nélküli, és aközé a nagyon kevés eljárás közé tartozik, amelyeknek nincs megfelelőjük a természetben. Még Dolly bárány tizenöt évvel ezelőtti klónozása – amit Wilmut kutatócsoportja végzett el, és amely általános morális megrázkódtatást okozott – sem sorolható ebbe a kategóriába, mert a szomatikus sejtmagok transzplantálódása bizonyos gerincesek ivarsejtjeibe vélelmezhetően természetes körülmények között is megtörténhet. A nukleáris maghasadási reakció, amely révén Fermi 1942-ben bevezette az atommag meghódítását, szintén olyasmí, ami bizonyos természetes geológiai feltételek mellett évmilliárdokkal ezelőtt már megtörténhetett.

Venter és munkatársai tettének fontosságát nehéz eltúlozni, annak ellenére, hogy nagyhangú bejelentése szinte szándékosan sokkolni

akarja az ortodox gondolkodásúakat, míg az esetleg szintén nagyhangú versenytársai – kritikáik ellenére – nála kevésbé voltak képesek mozgóítani az egyéni merészséget, és az ilyen nagyszabású műveletekhez szükséges vállalkozás anyagi alapjait. A Manhattan Projecttel való összehasonlítás – amelyet hajdan Robert Oppenheimer irányított az első atombombák felrobbantására – jó analógiának látszik, még akkor is, ha a nukleáris energetikai és a szintetikus biológiai kutatás nem használhatja ugyanazokat az eszközöket (akár veszélyeseket akár nem veszélyeseket) civil vagy katonai alkalmazásokra.

Venter és munkatársai sikerének jelképe egy egyszerű petricsésze, nem egy halált hozó gombafelhő. A Venter Intézet arzenáljában nem találunk egyetlen olyan eszközt, molekulát, vagy sejtet, amelyet a szokásos biotechnológiai gyakorlat kárhóznatna, vagy amelyet drákói módon kellene ellenőrizni. Minden műveletet, amelyet a csoport és annak beszállítói végrehajtanak, külön-külön laboratóriumok ezreiben végeznek el, különösen a DNS kémiai szintézisét, és a PCR-t [4], a mesterséges élesztőkromoszómák klónozását. Az ACGT bázisok rendezett láncának automatizált megvalósítása, amely követi az ember által diktált parancsokat, de nem avatkozik bele a szintézis folyamatába, hogy ezzel valamivel több mint egymillió bázispár végső összerakása megtörténjék, ez az, amit Venter hangsúlyozott, mint ami a *Mycoplasma mycoides* (egy kérődzők számára patogén baktérium) szintetikus genomjának eredetét alkotta. Minden más élőlénynél – kivétel nélkül – az előzőleg már létező genetikai üzenet örökösége volt a parancs, amely legalábbis részben irányította felépülésüket, proliferációjukat és szabályozta evolúciójukat. Ez a tény alapvetően fontos és tagadhatatlan – ebben rejlik prométheuszi jelentősége.

Kényszerhelyzetben a politika

A politikai hatalmasságoknak mostantól tudatában kell lenniük annak a rendkívüli beavatkozási képességnek, amelyet az örökítő anyag, a DNS kémiai szintézise hordoz magában, és annak a lehetőségnek, hogy olyan mértékben formálja át a világot, ami összehasonlítható a nukleáris energiáéval, bár utóbbinak hatását ma is korlátozza az a tény, hogy még mindig nem vagyunk képesek megoldani a magfúziós folyamat ellenőrzött előállítását.

Az analitikus biológia szakértőit és méltóságait ez megfosztja attól, hogy megbízható előrejelzést adjanak a genetikai teremtőképesség következő lépéseire vonatkozóan. Egyébként úgy látszik, nem is mérésznének ezt megkockáztatni. Legalábbis nem kell attól tartani, hogy valamiféle GIEC-et [5] hoznának létre a szintetikus biológiában; hiszen ez egyértelműen inkompetens lenne. Pontosan ez teszi a szintetikus biológiát tudománnyá, annak minden morális következményével és jelentős intellektuális kockázatával. Senki sem lehet próféta, hogy megmondja, mi

következik be a jövőben a biotudományokban és a biotechnológiában, még maga Craig Venter sem.

Nincs semmi meglepő azokban a mitológiai utalásokban, amelyek néhány – hivatalosan kevésbé kompetens – kommentátortól erednek, és valamilyen túlkapásként ítélik meg az új technológiát. Pandora szelencéjének képét általában sokféle önostorozó flagelláns idézi fel, hogy kiűzze az ördögöt a nyitott petricsészékből, mintha a genomika eddig elért eredményeit vissza lehetne fordítani és a technológia a jövőben feledésbe mehetne. Azt a tényt, hogy 40 millió dolláros magánbefektetés segítségével érték el a kísérleti célokat és a ezzel járó szabadalmakat, súlyosbító körülményként értékelik, és annak kézzelfogható jeleként lepezik le, hogy kereskedők szentségtelenítik meg a természet szent templomát. Ezt a reflexszerű mitológiát követve térnek mindig vissza a befektetésekre, a profithajhászás szellemére, amely tönkretétellel fenyegeti a természeti környezetet, a mezőgazdaságot és az egészségügyet – közömbösségből, vagy vigyázatlanságból. Így a józan ész nevében a flagellánsok igazolják annak a felhívásnak a jogosságát, hogy szülessen moratórium a szintetikus biológiában, arra várva, hogy a kipróbált módszerek követésével ki tudják elemezni, hogy az új lehetőségek előnyösek-e vagy szerencsétlenségek forrásai lesznek.

Márpedig pontosan az analitikus megközelítés válsága az, amely létrehozza a genomikai teremtést egy olyan történelmi kontextusban, ahol a válságok a technika, a környezet és a gazdaság minden területén sokasodnak. Az ismeretelméleti törés annak következménye, hogy a rendszerint gyors és beszédes „bárdjaink” és felkent papjaink a bioetika és a szakmai erkölcsök nevében – de közhelyekre hagyatkozva – szólítják meg országunk falvainak kollektív értelmét a klónozásról, a béranyákról vagy a klímaváltozásról. Az az analitikai, hipotetikus-deduktív elemzés, amely képes a GMO-pollenek szétszóródását vagy a CO₂-vel feldúsult légkört modellezni, egyáltalán nem alkalmas a genetikai teremtés következményeinek előrejelzésére. Valóban, a világ összes szakértőjének plenáris ülése – a saját őszinte vallomásuk szerint – képtelen lenne előre megjósolni, milyen életképes genomikai szöveg garantálná egy környezet betelepítését egy szaporodó organizmus által, vagy vonná magával annak kihalását. A szintetikus biológia egy radikálisan más megközelítést alkalmaz: hogy megértse, hogyan áll össze az élő anyag: következtet, összerak és beavatkozik. Ez teljes szakítás a deduktív állásponttal, amely alapvetően felülről indulás, szemben az alkalmazott alulról indulással, akadémizmus szemben a műhellyel, babérkoszorú szemben a kocsikenőccsel.

Ez a megközelítés idáig nem volt jelen a biológiai gyakorlatban, ami magyarázza, hogy a molekuláris biológusok elképedve állnak az esemény előtt. A konstruktivista módszer azonban a szerves kémiában már több mint egy évszázada használatban van. Sajnos, akárcsak a GMO-knál, a közvélemény nem szereti a kémiát, amelyet természetelle-

nesnek tekint, holott termékeinek előnyét élvezzi és nagy mennyiségben fogyasztja. A szintetikus biológia eljövetelel a kémia konstruktivista megközelítései hatalmukba kerítik a deduktivista biológiát, hogy egy eddig soha nem látott fejlődési ritmust és irányt diktáljanak. A DNS szintézisétől kiindulva, a technológiai vonal Bruce Merrifield és Gobind Khorana kémikusok akarata szerint kezdődött el, majd folytatta egy szervezet teljes genetikai parancsának megvalósításával Craig Venter akaratából.

Mesterséges biodiverzitás felé

Az előny, amit a genom szintézisétől és más szerkezetek kidolgozásától várhatunk, hogy olyan genetikailag módosított szervezeteket állítsunk elő, amelyeknek alkalmazási biztonsága nagyobb, mint amit a huszadik században előállított GMO-knál nem voltunk képesek elérni. Alapelvében azok a tényezők, amelyek limitálják a szintetikus fajok proliferációját és szétterjedését, magában a genomban multiplikálódnak, ezzel csökkentik az alkalmazkodási lehetőségeket arra, hogy kicsússzanak a kísérletező, vagy az ipari termelő ellenőrzése alól és ez az az alacsony küszöb, amit elvárhatunk. Ezzel mód nyílik arra, hogy az óvatosság elvét alkalmazzuk a tiltás, belenyugvás vagy elszegényítés doktrínájával való fenyegetés helyett. A Venter által a *Mycoplasma mycoides* mesterséges genomjának szekvenciájába beépített filigránok a kezdetleges módját jelentik azoknak a biztonsági szerkezeteknek, amelyeket a jövőben a szintetikus fajok magukkal fognak hozni.

Meg kell barátkoznunk azzal a gondolattal, hogy a bioszférában mostantól egy mesterséges biodiverzitás jelenik meg. Ez a folyamat nem tegnap, hanem már a neolitikumban elkezdődött a növények, állatok és az élesztők domesztikálásával. Ha hagyományosnak és ártalmatlannak tekintjük is a domesztikációt, az is magával hozta a mesterséges és más biológiai tárgyak proliferációját és jólétünk veszélyeztetését. A Craig Venter és csapata által elért áttörés felerősíti a domesztikációs folyamatot az információs felszabadulás fokának és sebességének megfelelően. Annál biztosabban közelebb fog vinni bennünket ahhoz, hogy tartósan megőrizzük a természetes élőhelyeket és az emberi egészséget. Csak egy látszólagos paradoxon az az előrejelzés, hogy a genom első teljes életre keltésének sikerét később úgy fogják emlegetni, mint egy váratlan szerencsét a környezet számára, mint a természetes biodiverzitás emancipációját és nem a természet leigázását.

A szélsőséges genetika prédikátorai

„A szintetikus biológia Pandora-szelencéje” c. írásunk kiváltotta Philippe Marlière genetikus éles hangú válaszát. Szerinte kívánatos hogy a biológia ma igénybe vegye az élet új formáinak létrehozására irányuló félistennek járó utat. Ennek a profetikus állításnak az elemzése, amely visszakézből elhárítja a bíráló véleményeket, azt sugallja a politikai döntéshozók számára, hogy nem létezik más út, mint ennek a szélsőséges kutatásnak a támogatása.

- Teljes sebességgel a „különösség” felé.
- Az új Galileik... – mondják ők.

A geo-mérnökség, a szélsőséges genetika, az anyag nanometrikus szinten történő manipulációja, az informatikai és kognitivisták technológiák különböző mértékben veszik ki részüket a tudományos kutatás egy új modelljének robbanásszerű kialakításában. Az ilyen megközelítések forrása általában az a gondolkodásmód, amely a társadalmat és főleg a politikát képtelennek tartja az előttünk álló fő kérdések megválaszolására. Ennélfogva számukra a jólét, a biztonság, egy hosszú, nyugodt, bőségben töltött élet igényeinek teljesítésére a választ nem egy demokratikus döntéseken alapuló világ megszervezése adja – amely egyben a természet kirablásának elítélését is jelenti –, hanem a félistenek által használt technológiák alkalmazása, az ő „B-tervük”. Soha nem tesznek fel kérdéseket az általuk meghatározott vágyak valós lehetőségeiről, amelyek alapján véve nem tükröznek mást, mint egy gazdag és mindenben uralkodó emberiség önző vízióját. Soha nem gondolkodnak el azon, hogy technikai kudarcuk következményeiért valamennyiünknek fizetni kell. A mi fehér köpenyes Prométheuszunk számára csak a ragyogó sikerek léteznek. Egyébként pedig a termékeiket még azelőtt eladják, hogy tökéletesen kidolgoznák őket; a technológiát kidolgozás előtt szabadalmaztatják, és működésük fő hajtóerejét a szabadalmaztatott technológiák és az új spekulatív piacok – mint például a széndioxid-piac – jelentik.

Ami a jelenlegi helyzetben érdekessé válik, ahogyan ezek az ideológiai művészek, ezek a vásári kikiáltók és a televíziós filozófia ezen hősködő figurái előjönnek az őserdőből. Itt vannak, és erejüket abból merítik, hogy a nemzetközi szabályozás túl lassú – mint azt a koppenhágai csúcson megtapasztaltuk –, másrészt abból, hogy a „tudománytól” a közvélemény még mindig csak valami üdvöztető eredményt vár, a „tudomány” nimbusza szinte érintetlen az átlagember szemében. A válságok idején a közvélemény hajlik a leegyszerűsítő, radikális megoldások elfogadására és a döntéshozók is gyakran ezekhez biztosítanak anyagi forrásokat. Ennek

egyik következménye, hogy a tisztán médiaközpontú kutatási stratégiák rendkívül eredményesnek látszanak.

Philippe Marlière, az evry-i Génoscope-ban létrehozott Isthmus társaság igazgatója, a szintetikus biológia kutatója és tanácsadója papírt és tollat ragadott, hogy feketén-fehéren leírja ennek az ideológiai választásnak a breviáriumát. Miközben megpróbál válaszolni egy általam büszkén vállalt közösség azon bírálataira, amelyek Craig Venter kísérleteire vonatkoznak, Philippe Marlière leleplezi az extremista genetikusok érvelésének valóságos struktúráját. Ajánlom, hogy olvassák el teljes egészében a „Prométheusz, Pandora és Petri” című cikkét, amelyet a *VivAgora* honlapon közölt. Számos idézetet fogok említeni a cikkből ebben a rövid írásban. Kezdem mindjárt azzal, ahogyan prófétai hangon bevezeti, ami aztán szövege egészét jellemzi: „*A politikai hatalmasságoknak mostantól tudatában kell lenniük annak a rendkívüli beavatkozási képességnek, amelyet az öröklődő anyag, a DNS kémiai szintézise hordoz magában, és annak a lehetőségnek,*” hogy ezáltal képesek vagyunk átalakítani a világot. Nem a magával egyenrangúakhoz fordul, hanem a döntéshozókhoz, akik ezentúl kész helyzet elé lesznek állítva: „mintha a genomikai teremtés megfordítható lenne, és annak megvalósítási folyamatát szabadon el lehetne felejtteni a jövőben”.

Teljes sebességgel a „különösség” felé

Nincs már idő kérdezősködni, a „különösség” megérkezett. Hallelujá! Egyébként is, aki ki meri fejezni kétségeit, azonnal besorolják a „flagellánsok” táborába, ami érdekes kép, és ennek a csoportnak a mitológiájában kettős ítéletnek is számít: középkori gyakorlatot idéz fel, és ha valaki nem hisz a „különösség” ígéreteinek, akkor azt elmaradott feudális úrnak akarják beállítani. Ez gyakran sikerrel jár. „*Az ismeretelméleti törés annak következménye, hogy a rendszerint gyorsan reagáló és beszédes „bárdjaink” és felkent papjaink, a bioetika és a szakmai erkölcsök illetve az orvosok hippokratészi esküje nevében, de közhelyekre hagyatkozva szólítják meg országunk falvainak kollektív értelmét a klónozásról, a béranyákról vagy a klímaváltozásról.*” Minden módon azt sugallják, hogy ha valaki szabályozást és a kérdések nyilvános megbeszélését akarja, akkor az maga a tisztán és egyszerűen idejétmúlt folklór. Egyébként is José Bové [6] nincs messze: „*A konstruktivista módszer azonban a szerves kémiában már több, mint egy évszázada használatban van. Sajnos, akárcsak a GMO-k esetében, a közvélemény nem szereti a kémiát, amelyet természetellenesnek tekint, holott termékeinek előnyét élvezi és nagy mennyiségben fogyasztja. A szintetikus biológia eljövetelevel a kémia konstruktivista megközelítései hatalmukba kerítik a deduktivista biológiát, hogy egy eddig soha nem látott fejlődési ritmust és irányt diktáljanak.*” A nagylelkű állítás a kémia „jótetteiről” elbogatellizálja a

környezetkárosítás által okozott daganatos megbetegedések számának robbanásszerű növekedését, a termékenységi képesség csökkenését, a méhek fenyegetettségét... , ez bizony túl kevés ahhoz, hogy a vegyipar gazdasági nyereségével összehasonlítsuk.

Mert alapjában véve ennek a mérnökcsoporthoz a médiaszereplése csak egyetlen célt szolgál: kész tények elé állítani a társadalmat, hogy könnyen elutasíthassanak minden szabályozást, arra a fenséges üzenetre rájátszva, hogy bármilyen „reguláció” erősen „retrográd” lenne és megtörmé azokat a „reményeket”, amelyeket félistent játszó módszereik ajánlanak. *„Pontosan ez teszi a szintetikus biológiát tudománnyá, annak minden morális következményével és jelentős intellektuális kockázatával. Senki sem lehet próféta, hogy megmondja, mi következik be a jövőben a biotudományokban és a biotechnológiában, még maga Craig Venter sem.”*

Nem csupán arról van tehát szó, hogy „ez már egy lefutott játszma”, de főleg arról, hogy szerinte a tudomány mai módszerei képtelenek alkalmazkodni ehhez az új világhoz: *„Márpedig pontosan az analitikus megközelítés válsága az, amely létrehozta a genomikai teremtést”.* Mert ha az „előnyök” minden bizonnyal az út végén vannak, akkor az út nem látható be előre. *„Valóban, a világ összes szakértőjének plenáris ülése – a saját őszinte vallomásuk szerint – képtelen lenne előre megjósolni, milyen életképes genomikai szöveg garantálná egy környezet betelepítését egy szaporodó organizmussal, vagy vonná magával annak kihalását. A szintetikus biológia radikálisan más megközelítést alkalmaz: ahhoz, hogy megértse, hogyan áll össze az élő anyag: következtet, összerak és tökéletesít.”* Ha az út nem látható előre, attól még folytatnunk kell utunkat, menni kell előre és ezt kell elfogadni – mint azt minden karizmatikus beszédben hirdetik: *„Meg kell barátkoznunk azzal a gondolattal, hogy a bioszférában mostantól egy mesterséges biodiverzitás jelenik meg.”*

Philippe Marière nem az egyedüli, aki ilyen zavarosan fejezi ki magát. A szintetikus biológia védelmezői annyira bíznak félisteni helyzetükben, hogy teljes nyíltsággal magyarázzák meg céljaikat, amitől semmi sem ijeszti el őket. Így Markus Schmidt, a Synbiosafe (*Safety and Ethical Aspects of Synthetic Biology, A szintetikus biológia biztonsági és etikai aspektusai*) európai kutatási programjának koordinátora ugyanúgy vélekedik, mint Philippe Marière. *„Xenobiológia: az élet új formája, mint a végső biológiai biztonsági eszköz”* című cikke bevezetőjének végén, amelyben számba veszi azokat a különlegességeket, amelyek a „nem konvencionális” élet formáiban érdekesek – mint az élet eredetének kutatása, az asztrobiológia, a szintetikus biológiai rendszerek kémiaja –, pontosítja is azokat: *„Mindazonáltal, ezek között a specialitások között a fő különbség abban van, hogy az élet eredetével és az asztrobiológiával foglalkozó kutatók az élet fejlődési jelenségeinek megértésére koncentrálnak, míg a szintetikus biológia védelmezőinek nagy része „alkalmazni” akarja a genetikai mérnökség alapelveit, hogy létrehozza az élet nem*

szokványos formáit, melyeknek érdekes felhasználási lehetőségei vannak.” Meg kell jegyeznünk, hogy a cikk kezdete azzal adja meg az alaphangot, hogy idézi Peter Drucker-nek, a menedzselés fő amerikai teoretikusának egyik jelszavát: „A jövő megjósolásának legjobb formája, ha megteremtjük azt.”

Az új Galileik... – mondják ők

Miután úgy határozta meg az ortogonalitást [7], mint a technikai gondolkodás lényegi összetevőjét, amely lehetővé teszi egy komplex rendszer egy elemének módosítását, anélkül, hogy ennek következményei lennének a többi komponensre, Markus Schmidt ezt választja a szintetikus biológia központi tengelyéül. Holott bárki láthatja – főleg az informatikai rendszerek bonyolultabbá válása óta –, hogy a rendszer egy részének előre nem várt módosításakor fellépő előre nem látható következmények elkerülhetetlen kapcsolatban állnak maguknak a komplex rendszereknek a működésével; ennek ellenére az ortogonalitás fogalmának hirdetői szerint a természetesen önreproduktív biológiai rendszerekben az ortogonalitás alkalmazható és ezért elfogadható elvi alapot jelent leleményes biomérnökeink számára!

És mindezt hogyan? Reális elképzelés – hála a DNS-szintetizátoroknak, mint amelyeket Craig Venter is használ – egy XNS (*Xenonukleinsav*) léte, amely más bázisokat használna és „elméletben” nem lépne kölcsönhatásba a biológiai DNS-sel. Ez egy olyan megközelítés, amelynek számára a szintetikus biológia lenne az utolsó „biológiai tűzfal”, biztosítva a szélsőséges genetikai kísérleteinek biológiai biztonságát. Ez egy meglepő, váratlan vélemény, ami nem támaszkodik semmilyen gyakorlati tapasztalatra, ahogy ez ma már szokásossá vált az új „ígéret-tudományokban”. Majd felállít tíz szabályt egy teljesen biztonságos szintetikus biológia számára; mindegyik szabály „*should*”-okkal (kellene) és „*must*”-okkal (kell) van teletűzdelve... E szabályok paragrafusai tehát maguk is kételkedést fejeznek ki és ráadásul a cikk végén a szerző felveti azt a lehetőséget is, hogy a xenobiológia szabályait nem alkalmazzák majd korrekt módon, vagy hogy valaki új fegyverek létrehozására használja az „új tudományt”. De semmi sem képes kikezdeni az új hívők vallásos optimizmusát. Még egy, a laboratóriumi kísérleteihez biológiai elemeket felhasználó biohacker hálózat esetleges elindítása sem, ha az természetesen felesküzik az etikus és társadalmilag fontos biológiai biztonság betartására.

Érdekes egyébként szemrevételezni a Philippe Marlière és Markus Schmidt közötti kapcsolatot a *Synbiosafe* programban, ami az „*első európai kutatási program lenne a szintetikus biológia etikai aspektusairól és biztonságáról*”. Egyik állandóan gúnyolódik az etikai elvárásokon, a másik viszont a „társadalmi” vagy „etikai” meghatározásokat használja

minden cikke címében. Egyértelmű hogy szövetségük azért szükséges a média-hadműveletekben, hogy kifejleszthessék csodálatos technológiai tervüket és folytathassák a félisteni teremtéstörténetet: el kell altatni a döntéshozókat, hogy szabad maradjon a terep. A módszerek egyszerűek és ismertek: „Bad Cop” (a „rossz rendőr”) a döntéshozó jobbán van, akit okosan a kihallgató iroda médiájának lámpafényébe helyeztek. Elmagyarázza nekünk, hogy túl késő reagálni, nem lehet tenni semmit, a játszmát már lejátszották. Egyébként is: *„A Venter Intézet arzenáljában nem találunk egyetlen olyan eszközt, molekulát, vagy sejtet, amelyet a szokásos biotechnológiai gyakorlat kárhóznatna, vagy amelyet drákói módon kellene ellenőrizni. Minden műveletet, amelyet a csoport és annak beszállítói alkalmaznak, külön-külön laboratóriumok ezreiben is elvégeznek, különösen a DNS kémiai szintézisét, a PCR-t, a mesterséges élesztőkromoszómák klónozását.”* (Philippe Marlière cikke). Ha nincs bűnös fegyver, nincs mi után nyomozni. Azután közbelép „Good Cop” (a „jó rendőr”), aki az érzéseinél fogva vezeti a döntéshozót, előhúzza tarisznyájából a „biológiai biztonságot”, ami nem csupán azt fogja garantálni, hogy ne következhesen be semmiféle kölcsönhatás a xenobiológia és a valódi biológiai világ között, hanem becsukja a kaput a szabadföldi genetikai módosítások ellenzői előtt is. Mert „Good Cop” a szabályozás mézesmadzagját is elhúzza a döntéshozó orra előtt: *„A xenobiológia elindítja az új paradigmát és megváltoztatja annak módját, ahogyan az élet természetét felfogjuk [...] Mindez olyan, mint amikor a Föld elvesztette helyét az univerzum középpontjában.”* (Markus Schmidt cikke). Jól ismert marketing-módszer, a történelem mindenki által ismert eseményeire hivatkozni – és nem számít, ha semmi köze sincs a most folyó vitához. Bár egyértelműen „public relation” típusú manipulációs technika, de Philippe Marlière is használja, amikor például azt mondja, hogy a szintetikus biológia első lépéseit a Földön már a „neolitikumban” megtette. Ami Önöket, döntéshozókat, újságírókat, felelősöket, állampolgárokat illeti, Önök mégsem foglalkozhatnak azzal, hogy szabályozni akarják ezt a már jelenlévő új paradigmát. A történelem ferdén fog nézni Önökre, és nem égethetik meg Galileit még egyszer. Nemde?

Ha ma itt az ideje hangsúlyozni a prométheuszi tudományokról szóló gondolatokat, ez sokkal többet jelent a biológiai és környezeti kockázatoknál, amelyek pedig igen nagyok. De meg kell őrizni a tudomány és az ésszerűség, illetve a bizonyítás és a cáfolás közötti közvetlen szövetséget, vagyis minden olyan már kialakult kritériumot, amelyek megakadályozzák, hogy elszállt agyú kutatók szabadon dicsekedhessenek a közvélemény előtt és függetlenül munkájuk valóságos értékétől, társadalmi hasznosságától, pénzügyi támogatáshoz, bátorításhoz, felmentéshez és dicsőséghez jussanak. A szintetikus biológia intellektuális játék, mint a múlttal való szakítás más technikái is, bizonyára vonzó. Talán még lehet, hogy meg is sejtí a biológiai gépezet ismeretlen funkcióit. De az a mód, ahogyan ezt a paradigmát előtérbe nyomják – kész helyzeteket teremtve

–, a mód, ahogyan megcsapolják a forrásokat, megkímélve magukat a bírálat minden lehetőségétől, a szabályozástól és az újratárgyalástól, a mód, ahogyan munkájukat a legrosszabb pozitívista diskurzusokhoz kapcsolják, célszerűsége mellett, mindenekelőtt egy tisztán politikai kérdést vet fel. Vonjuk ki a spekulatív piacok hajtóerőit (szabadalmak, széndioxid-piac, ígéretes finanszírozása), és újítsuk meg a tudományos vitát, az ítélőképesség által támogatott párbeszédet. Akkor fogjuk látni, hogy kijön-e belőle valami hasznos dolog.

Van időnk együttesen gondolkodni. Ez az a demokrácia, ami nem igazán tetszik a mi új vallást hirdető félisteneinknek.

*

SERGE SEBESTYÉN

Elvárható-e a tudománytól, hogy megvédje az emberiséget?

Tegnap a nanotechnológiának kellett megoldania minden problémát. Ma a szintetikus biológián van a sor. Megszabadít minket Claude Bernard-tól és a hipotetikus-deduktív módszertől, hogy lehetővé tegye számunkra, hogy mindent megértsünk és megvalósítsunk. Legalábbis ez derül ki abból a válaszból, amit Philippe Marlière írt Hervé Le Crosnier közleményére.

Úgy tűnik számomra, hogy ez a két szöveg nem csupán a szintetikus biológia ellentmondását jellemzi, de sokkal általánosabban azt a hozzáállást, amely megjelent az újonnan kifejlődő technológiák ígéreteivel kapcsolatban, és amely független a szűk értelemben vett technikai fejlődéstől ódzkodó, technofób nézetektől. Hervé Le Crosnier az egyik oldalról és Philippe Marlière a másiktól. Az első számára: *„A tudománypolitika, a kutatási döntések, a laboratóriumi és vállalati gyakorlat ellenőrzése, és végül az ismeretek szabadalmak révén történő eltulajdonításának elutasítása olyan valódi stratégia, amely lehetővé teszi az igazi függetlenséget egy olyan tudomány számára, amely érzékeny arra, hogy tanulmányozza a társadalom és annak minden tagja valós problémáit, és amely kérdéseknek hamarosan napirendre kellene kerülnie az állampolgárok és a politikai döntéshozók gondolataiban és vitáiban.”*

A másik számára: *„A Craig Venter és csapata által elért áttörés felerősíti a domesztikációs folyamatot az információs felszabadulás fokának és sebességének megfelelően. Annál biztosabban közelebb fog vinni bennünket ahhoz, hogy tartósan megőrizzük a természetes élőhelyeket és az emberi egészséget. Csak egy látszólagos paradoxon az az előrejelzés, hogy a genom első teljes életre keltésének sikerét később úgy fogják*

emlegetni, mint egy váratlan szerencsét a környezet számára, mint a természetes biodiverzitás emancipációját, és nem a természet leigázását.”

Az egyik oldalról az az akarat, hogy a technikai haladást rendeljék alá a közös érdekeknek, a társadalom jogává téve a választást, és behatárolva a haladásnak a magánérdekek által történő kisajátítását, míg a másik oldalról ugyancsak a közérdek akarata, de hangsúlyozva a technopiacbba integrált kutatás hatékonyságát és felsőbbrendűségét, „haladó” jellegét, ami felhatalmaz arra, hogy minden vizsgálatot és alkalmazást kipróbáljanak, amitől valamilyen tökéletesítés várható.

A történelem azt mutatja, hogy attól a pillanattól kezdve, hogy a tudomány megnyitott egy utat, a műszaki emberek megpróbálták azt alkalmazni. Észre kell vennünk azonban, hogy bizonyos megvalósításokért az emberek súlyos árat fizettek.

Csak három példát idéznék két évszázad különbséggel.

- A vérkeringés felfedezése a XVI. században arra indított „orvosokat”, hogy kipróbálják az első vérátömlesztéseket úgy, hogy disznóvért adtak embereknek. Meg kellett volna várni a tudomány újabb felfedezéseit ahhoz, hogy megőrizték ezek életét, mielőtt ezt megteszik.
- Ugyanígy, a XVIII. század vége felé párizsi szülészek „divatba hozták” a császármetszést. Egy orvos, aki kételkedett a technikában, meglátogatta azokat a házakat, ahol sikerrel alkalmazták ezt az úgymond új szülészeti eljárást. Egy hónappal később a családok gyászoltak. Hiányoztak ugyanis még bizonyos élettani ismeretek.
- És végül emlékezzünk a második világháború végére, amikor kiderült, hogy a plutónium világít a sötétben. Ezernyi munkásnőt toboroztak egy lényeges feladatra a háborús erőfeszítések során: ecsettel rajzolják meg az órák számlapját, hogy az éjszakai pilóták hordhassák és láthassák. Az ecseteket a nyelvükkel nedvesítették meg. A rák pusztító hatása csak évekkel később jelentkezett.

Ami általában jellemzi ezeket a magatartásokat, az a bizonyosság abban, hogy a tudomány egy új utat nyitott meg. Márpedig ezekben a helyzetekben az ismeretek kezdetben még csak részlegesek, amit a kutatók nem tudnak (vagy legalábbis nem akarnak tudomásul venni), és ennél fogva az alkalmazásokról nem lehet tudni, mit fognak hozni. A gyakorlat emberei biztosak magukban és a tragikus következmények csak jóval később jelentkeznek.

Visszatérve Philippe Marlière szövegére: azt állítja, hogy a szintetikus biológia elhagyja „az analitikus, hipotetikus-deduktív eljárást” egy másik javára: *következtet, összerak és tökéletesít. „Összerakás közben megérteni, levonni a következtetést, hogy tökéletesíthessük és azért tökéletesíteni, hogy megértsük”* – írja, de közben elhallgatja azt a tényt, hogy ha elhatározzuk, hogy létrehozunk valamit, amiről csak annyit tudunk, hogy megalkotható (vagyis mindegy-hogy-mit), akkor előbb-utóbb kiderül, hogy

ez csak valami akármilyen, és később gyakran ez lesz a legszebb példája annak, hogy mit nem kellett volna tenni!

Nincs szó sem Pandoráról, sem Prométheuszról. Mindenki a saját véleménye szerint forgathatja ezeket a mitológiai szereplőket. Ellenkezőleg, ha Görögországra akarunk hivatkozni, akkor a hübrisz (az elbizakodott gőg) az, amiről beszélni kell azt a magatartást illetően, amikor különbséget akarunk tenni a néha vakmerő tudományos kísérlet (ez az, ami szükséges) és annak olyan alkalmazásai között, amelyek a „mindegy-mi, csak megcsinálható legyen” körébe tartoznak – azzal a elgondolással, hogy „ha meg tudom tenni, miért ne tenném”? Így, amikor Philippe Marlière emlékeztet arra „az alapelvekre, hogy az ember mindig megváltoztatta az életét” és pontosítja, hogy mindez már a neolitikumban kezdődött, illene pontosítania, hogy miről beszél. Biztos, hogy az ember átélt néhány ezer évet, amíg a farkasból olyan különböző kutyákat formált, mint a chiwawa és a dobermann, és kétségtelenül több évtizednek kellett eltelnie, hogy keresztezze a narancsot és a citromot... És nyilvánvaló, hogy az egész világ örömmel látná, hogy hála a génmódosításoknak, sokkal gyorsabban megy a kukorica vagy minden más növény termelése, kevesebb vízigénnyel. De nem erről van szó akkor, amikor rovarölő géneket vagy olyan elemeket építenek be, amelyek a növényvédő-szerek elleni rezisztenciáért felelősek. Mert, túl azon, hogy „mindegy-mi”, arról is szó van, amit Philippe Marlière foggalkörömmel védelmez, amikor támad: „Ezt a reflexszerű mitológiát követve térnek mindig vissza a befektetésekre, a profithajhászás szellemére, amely tönkretétellel fenyegeti a természeti környezetet, a mezőgazdaságot és az egészségügyet, közömbösségből, vagy vigyázatlanságból.” Hát igen, gyártsunk és adjunk el egy gyomirtó szert, olyat, hogy emiatt a mezőgazdászok kénytelenek legyenek megvenni a mi vetőmagjainkat, amelyeknek a genomja védelmet nyújt ez ellen a gyomirtó ellen. Nem fontos a vetőmagok diverzitásának eltűnése, nem fontos egy „genetikai Csernobil” kockázata a mexikói kukorica számára, miután nem tudom, vajon egyes gének bevitelére fogékonyra tesz-e fontos biológiai visszahatásokra a kukorica helyi változatainak genetikai diverzitására vonatkozóan. Nem fontos tehát számukra a mezőgazdaság világának szerencsétlensége.

Végül, essen szó az „ígéretekről” való vitáról. Így: „a genom első teljes életre keltésének sikerét később úgy fogják emlegetni, mint egy váratlan szerencsét a környezet számára, mint a természetes biodiverzitás emancipációját és nem a természet leigázását”.

Több, mint hatvan éve, mindenki úgy gondolta, hogy a 2000. év előtt a „magfúzió” megoldja az emberiség összes energetikai problémáját. Tehát aggodalom nélkül fogyaszthatjuk az energiát!

Ennek az okoskodásnak a lényege a következő: „A haladás elhozta az élettartam meghosszabbítását és a fogyasztás növekedését. A tudomány meg fog tudni oldani minden nehézséget is, ami a haladás következménye.” A szakadék szélén állunk és a következő lépés átvisz bennünket a szakadék másik oldalára.

Döntsenek az állampolgárok a saját jövőjükéről!

- [1] ETC Group: *Action Group on Erosion, Technology and Concentration* – nemzetközi szervezet a kultúra, környezet és emberi jogok fenntartására.
- [2] Mesterséges élesztő-kromoszóma (YAC, Yeast Artificial Chromosome), az egyik olyan génátvitelre alkalmas vektor, ami nagy DNS-szakaszokat (kb. 1000 kilobázis, vagyis 1 millió nukleotid méretig) képes más sejtekbe bevinni.
- [3] A *Science*-ből hivatkozott írás tényleges címe: Elizabeth Pennisi: Synthetic Genome Brings New Life to Bacterium. *Science*, 328 (2010), 958–959. A cikk egy összefoglaló beszámoló, médiaismertető. (Az írás szerzője valószínűleg már ismerte a másfél hónappal későbbi számba kerülő közlemény tartalmát a *Nucl. Acid. Res.* cikke alapján.) Online olvasható a *Science*-t előfizető illetve a *Science Direct* hálózatába bekapcsolt intézményekben: <http://www.sciencemag.org/content/vol328/issue5981/index.dtl>
- [4] PCR: polymerase chain reaction (polimeráz láncreakció). A molekuláris genetika egyik rutinmódszere, amelyet a vizsgálni kívánt DNS mennyiségének olyan mértékű megnövelésére használnak, hogy az aktuális analitikai módszerek érzékenységének határát elérje.
- [5] GIEC – Groupe International d'Experts sur le Climat (Nemzetközi Klímaszakértői Csoport). Az adott kontextusban a szintetikus biológiai kutatás valamilyen nemzetközi intézményes ellenőrzésére céloz.
- [6] José Bové európai parlamenti zöld képviselő, militáns ökológiai aktivista.
- [7] Az ortogonalitás eredetileg „derékszögűséget” jelent. Számos átvitt értelmű használata ismert, ezek egyike a fent kifejtett értelmezés, nevezetesen, hogy belenyúlhatunk egy rendszerbe egy adott ponton úgy, hogy ennek semmilyen következménye sincs a rendszer más összetevőire.

További kiegészítések:

1. Az eredeti tudományos közlemény: Benders, G. A. – Noskov, V. N. – Denisova, E. A. – Lartigue, C. – Gibson, D. G. – Assad-Garcia, N. – Chuang, R. Y. – Carrera, W. – Moodie, M. – Algire, M. A. – Phan, Q. – Alperovich, N. – Vashee, S. – Merryman, C. – Venter, J. C. – Smith, H. O. – Glass, J. I. – Hutchison, C. A.: 3rd. Cloning whole bacterial genomes in yeast. *Nucleic Acids Research*, 38 (8) (2010), 2558–2569 – online még nem olvasható, a kiadó 12 hónap késleltetéssel teszi lehetővé az ingyenes hozzáférést.
2. A tényleges tudományos közlemény *Science*-ben közölt változata a fenti cikkek fordításával egyidejűleg jelent meg: Gibson et al.: Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome, *Science*, 329 (2010), 52–56. – online elérhető a fentebb említett intézmények könyvtáraiban: <http://www.sciencemag.org/content/vol329/issue5987/index.dtl>
3. Craig Venter személye a molekuláris genetikában nagyjából olyan megosztó, mint Bill Gates-é az informatikában. A Humán Genom Projektben játszott, enyhén szólva is ellentmondásos szerepét röviden jellemzi a következő, magyarul is megjelent cikk: John Sulston: Az emberi genom megmentése a spekulációtól. Egy tudományos és politikai kaland története. *Eszmélet*, 57. (2003), 164–171., a *Le Monde diplomatique* 2002. decemberi számában megjelent cikket fordította: Lugosi Győző.

(Fordította: Hrabák András)

A cseresznyetorta receptje

Azoknak a kémiai anyagoknak a listája, amelyeket egy, a szupermarketekben kapható cseresznyetortához használnak, a búzamezőtől az agrárüzemig

Jó étvágyat!

A tészta története

Hogy liszthez jussunk, a búzaszemeket először egy gombaölővel kezelik vetés előtt. Az érés során a búza 2-6 gyomirtós kezelést kap aszerint, hány éves, hormonkezelést hogy megrövidítsék a szárát, elkerülendő a megdőlést, valamint egy nagy adag műtrágyát: 240 kg nitrogént, 100 kg foszfort és 100 kg káliumot hektáronként !

A learatott búzát a silóban széntetrakloriddal és széndiszulfiddal fertőtlenítik, azután klór-pirifoszettillel öntik le. Az őrlésnél a lisztet nitrozil-kloriddal, majd aszkorbinsavval, babliszttal, gluténnal és amilázsal keverik.

Ezután keleszteni kell a tésztát. A tésztaport közben kalciumszilikáttal kezelik és a keményítőt káliumpermanganáttal fehérik. Nincs tészta zsírtetek nélkül. Ezekhez antioxidánsot kell adni (hogy elkerüljék az avasodást), például butilhidroxitoluolt és egy lecitin-típusú emulgeátort.

A (k)rémm története

A krém, amelyre a cseresznyét tesszük, tojással, tejjel és olajjal készül.

A tojások egy ipari tenyészetből jönnek, ahol a csirkéket egy olyan granulátummal táplálják, ami az alábbiakat tartalmazza:

- antioxidánsok (E300 és E311),
- aromák,
- emulgeátorok: kalciumalginát,
- konzerválók: hangyasav,
- színezékek: kapszantein (egy karotinoid),
- kötő ágensek: lignoszulfát
- és végül ízesítők: nátriumglutamát, hogy mindezt lenyelessék a tyúkokkal...
- Kellenek még hozzá antibiotikumok, és főleg, nem tévedés (!) anticoccidiák*.
- A tojásokat kiszáritás után emulgeátorokkal, felületaktív anyagokkal keverik, mint például kólsavval és egy enzimmal, hogy kivonják a cukrot a fehérjéből.
- A tej szintén egy ipari üzemből jön, ahol a tehének egy vegyi termékekben gazdag táplálékot kapnak:
- antibiotikumok: flavofoszfolipol (F712) vagy monenzin-nátrium (F714),
- antioxidánsok: nátrium-aszkorbát (F301), szintetikus α -tokoferol** (F307), butil-hidroxitoluol (F321) vagy etoxikvin (E324),

- emulgeátorok: propilén-glikol-alginát (F405) vagy polietilén-glicol (F496),
- konzerválók: ecetsav, borkősav (E334), propionsav (F280) és származékaik (F281 à E284),
- nitrogénvegyületek: urea (F801) vagy diureido-izobután (F803),
- kötőanyagok: nátrium-sztearát,
- színezékek: F131 vagy F142
- és végül az ízesítők, hogy a tehen mindezt hajlandó legyen megenni, mint pl. nátrium-glutamát.
- Ami az olajat illeti:
 - szerves oldószerekkel vonják ki, pl acetonnal,
 - utána kénsavas kezeléssel finomítják,
 - utána melegen mossák,
 - lúgos szódával semlegesítik,
 - klórdioxiddal vagy káliumbikromáttal színtelenítik és 160°C-on cink-kloriddal szagtalanítják.
 - Végül, újra színesítik kurkuminnal.
- A krémet, amikor elkészült, aromákkal és stabilizátorokkal, például alginsavval (E400) kezelik.

A cseresznye története

A cseresznyét a szezon során 10-40 alkalommal kezelik peszticidekkel.

Szüretelés után:

- kéndioxiddal színtelenítik
- és újra színezik karminsavval vagy eritrozinnal, hogy a szemek egyformák legyenek.
- Utána egy alumínium-szulfátot tartalmazó sós pácba mártják,
- majd konzerválószerrel, például kálium-szorbátot adnak hozzá (E202).
- Végül pedig bekenik répacukorral, amely akár csak a búza, egy jó nagy adag műtrágyát és peszticidet kapott. Ezt a cukrot úgy extrahálják, hogy
 - mésszel és kéndioxiddal derítik,
 - utána nátrium-szulfoxiláttal színtelenítik,
 - majd norittal (aktív szén) és izopropil-alkohollal finomítják,
 - végül antrakinon-kékkel kékre színezik.

Ezekkel a kezelésekkkel a cseresznye tehát minden saját ízét elveszti, ezért egy mesterséges élelmiszer-illatosítót kell hozzáadni. Ez a „parfüm” szintetikusan helyreállítja az ízt és az illatot, olyan mesterséges elemekből kiindulva, amelyeket a petrokémiai ipar állít elő igen alacsony önköltségi áron – gazdaságossági szempontból – összehasonlítva a gyümölcs eredeti illatával. Az aktuális példa itt a cseresznye, de ugyanilyen keverékek szolgálnak az eper, ananász, málna, méz, karamell, gyöngyvirág és más mesterséges illatok előállítására. A cseresznye mesterséges illatanyaga tehát a következő szintetikus molekulákból áll (amelyek inverz térszerkezetűek)***:

- etilacetát
- acetyl metilkarbinol
- izoamil-butirát
- etil-kaproát

- izoamil-kaprilát
- terpenil-butirát
- geraniol
- geranil-butirát
- etil-acetilacetát
- etil-heptanoát
- benzaldehid
- para-metil-benzaldehid
- vanillin
- keserúmandula mesterséges esszencia
- Bourbon szegfűszeg mesterséges esszencia
- ceyloni fahéj mesterséges esszencia
- borseprő esszencia

Ezt a szöveget, amelyet a „szupermarket-cseresznyetortának” szenteltünk, Claude Bourguignon agrármérnök állította össze, aki az INRA****-nál dolgozott, mielőtt otthagyta a tiszteletreméltó céget valamilyen nézeteltérés miatt. Talajmikrobiológiai szakértőként ő mutatta ki első ízben, hogy a nagy mennyiségű műtrágyával és növényvédőszerrel kezelt termőföldek biológiailag... halottak. Minden, ami élővé teszi és meghatározza a föld minőségét, tudniillik a mikrobák és gombák populációi, tönkremennek a vegyi kezeléstől, ami tápanyag-vesztéshez és a talaj eróziójához vezet.

(Fordította: Hrabák András)

* Coccidiák – a baromfi, sertés, szarvasmarha bélcsatornájában élősködő eukarióta egysejtűek összefoglaló neve (a kór neve: coccidiózis), itt az ellenük használt szerekéről van szó (<http://hu.wikipedia.org/wiki/Coccidi%C3%B3zis>)

** Az α -tokoferol az E-vitamin kémiai neve (<http://hu.wikipedia.org/wiki/Tokoferol>)

*** A királis (optikailag aktív) vegyületek közül nem csak a természetes izomerek, hanem azok tükörképei (enantiomerjei) is jelen vannak (ilyen pl. az izoamil-kaprilát); a legtöbb itt felsorolt vegyület kis szénatomszámú alkoholok és karbonsavak észtere, amelyeket jellegzetes illatuk miatt gyümölcsésztereknek is neveznek (<http://hu.wikipedia.org/wiki/Karbonsav%C3%A9shter>).

**** INRA, Institut National de la Recherche Agronomique: a francia Országos Mezőgazdasági Kutatóintézet rövidítése