

VARGA MÁTÉ

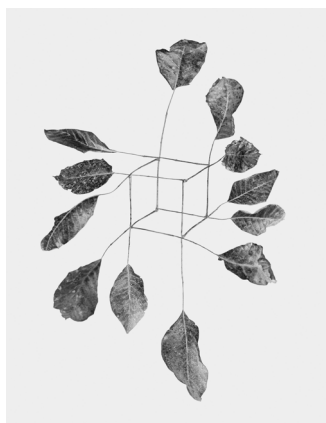
A GENETIKA (ŐS)TÖRTÉNETE A MUSLICKAKUTATÁS TÜKRÉBEN

■ 1938 októberében egy olvasmányos, de kirívónak aligha nevezhető úti beszámoló jelent meg a Franklin Társulat akkor harmadik évében járó ismeretterjesztő magazinjában, a *Búvárban*. A nevadai Death Valley történetét és földrajzát feldolgozó cikket Koller Pius jegyzi, és csak pár elejtett mondat utal arra, hogy a szerzőt nem pusztán az utazási vágy hajtotta a látogatás időszakában különösen mostoha és kietlen helyszínre:

„Kis expedíciónk — jómagam és egy másik biológus — ez év május 15-én vágott neki a kutatóútnak a Panamint és a Halál Völgy Canyonjaiban. [...] Június 23-áig keresztül-kasul kutattunk a kiszemelt területet és tudományos szempontból igen értékes anyagot szedtünk össze.”¹

Az egyszeri olvasó számára így valójában végig rejtve marad mind az út apropója, mind az útitárs személye, pedig – ennyi év távlatából megkockáztathatjuk – ezek talán még izgalmasabbak, mint az egyszerre könnyörtelen és lenyűgöző táj leírása.

Koller Pius pannonthalmi bencés szerzetesből lett korának egyik kiemelkedően sikeres magyar genetikusa,² és a nevadai kutatóúton a 20. század egyik legnagyobb hatású evolúcióbíológusát, az ukrán származású, de ekkor már az Amerikai Egyesült Államokba emigrált Theodosius Dobzhanskyt kísérte el. Kutatásuk célja pedig – látszólag – aligha lehetne triviáli-



Nem túlzás azt állítani, hogy muslicakutatások alapozták meg a modern öröklélméletet, evolúcióbíológiát, majd fejlődéstant. Aligha lehet túlbecsülni, hogy ezeknek a repkedő „legyecskéknek” mekkora hatása volt a bíológiára és orvostudományra.

sabb és unalmasabb, hiszen a kietlen és forró kanyonokban elvegetáló muslicákat kerestek.

Az erjedő gyümölcsökön vagy egyéb szerves anyagokon élő muslicák a mindennapok bosszantó velejárai, így bizarrnak tűnhet, hogy miért fordít bárki energiát a kutatásukra, már ha az a ráfordított energia nem azt célozza, hogy miképp szabadulhatunk meg tőlük. Amikor 2008-ban Sarah Palin akkori alaszakai kormányzó és amerikai alelnökjelölt rácsodálkozott, hogy muslicakutatásra költenek szövetségi dollárokat, valószínűleg nagyon sokak véleményét fogalmazta meg. Pedig ha van igazán alázatos, igénytelen és egyben hasznos alanya az emberi állattenyésztésnek, akkor a muslica az. Igénytelensége egyben azt is jelenti, hogy viszonylag könnyen fenntartható, ami gyors szaporodással karöltve oda vezetett, hogy több ezer (egyes becslések szerint akár millió) muslicageneráció nőtt már fel különböző laborokban az utóbbi bő száz évben, ami alatt ezek az állatok nemcsak tanúi voltak a genetika robbanásszerű fejlődésének, hanem néha szenvedő alanyai is. Nem túlzás azt állítani, hogy muslicakutatások alapozták meg a modern öröklélméletet, evolúciobiológiát, majd fejlődéstant. Aligha lehet túlbecsülni, hogy ezeknek a repkedő „legyecskéknek” mekkora hatása volt a biológiára és orvostudományra.

A fantasztikus munkakapcsolat kezdetei meglepően szerények voltak: nem kellett hozzá más, csak egy kis rothadó banánt tartalmazó tejesüveg a New York-i Columbia Egyetem egyik laborjának ablakában és néhány elszánt és szorgalmas fiatal genetikus.³

De miért éppen muslica?

■ Bár muslicákat, pontosabban a *Drosophilidae* családba tartozó rovarokat a világ legkülönbözőbb tájain fellelhetünk, a genetika (első) forradalmát egy konkrét faj, a szaknyelven csak „feketehasúnak” becézett *Drosophila melanogaster* hozta el. Bár ezek az állatok ma már világszerte megtalálhatóak, az eredetileg a szubszaharai Afrikából származó faj csak a 19. század végén jelent meg az Amerikai Egyesült Államokban, és a 20. század első évtizedeiben vált igazán elterjedté.⁴ Egyáltalán nem véletlenül ez elég pontosan egybeesik a banán berobbanásával az amerikai piacra – az erjedő gyümölcs a rovar egyik kedvenc eledele volt mindig is.

A banán háziasítása valahol Pápua Új-Guineában történhetett, és onnan indult világhódító körútjára. Afrikába és a Közel-Keletre arab kereskedők hozták be, erre utal mindmáig a gyümölcs neve is, amely a banánfűrt alakjára utaló, ujjat jelentő arab *banan* szóból származik. Az afrikai kontinensről az Atlanti-óceán túlsó partjára csak 1516-ban, Tomás de Berlanga Domonkos-rendi szerzetes közreműködésével jut el, aki Hispaniola szigetén (a mai Dominikai Köztársaság és Haiti területén) olcsó táplálékként termesztette a növényt a sziget egyre népesebb rabszolga-kolóniája számára. Az észak-amerikai piacra csak több mint három és fél évszázaddal később, az 1876-os philadelphiai centenáriumi kiállítással érkezett meg, ám azután hihetetlen gyorsan vált nagyon népszerű gyümölcsé. Ennek is köszönhető, hogy az 1899-ben alapított, Karib-szigetéről származó gyümölcsöt importáló United Fruit Company (amit ma Chiquitaként ismerünk, és szinte mindenki a banánnal azonosítja) az 1920-as évekre az USA legnagyobb vállalatává válhatott, amelynek gazdasági hatalma hamarosan akko-

ra lett, hogy teljes karibi szigetországok politikai elitjét volt képes korrumpálni és befektetői érdekében befolyásolni – innen ered a *banánköztársaság* kifejezés.⁵

A századelő a banánhoz hasonló materiális javak robbanásszerű elterjedése mellett korábban szinte soha nem látott tudományos fellendülést is okozott, amelynek része volt Gregor Mendel pár évtizeddel korábban leírt (majd szinte azonnal a feledés homályába merülő), az öröklődés szabályszerűségeit leíró törvényeinek „újrafelfedezése” is.

Az utókor szemében a brünni „örökléstani iskola” leghíresebb képviselőjévé váló Ágoston-rendi szerzetes (későbbi apát) még 1865-ben publikálta borsófajták hibridizációján alapuló megfigyeléseit, amelyek – és ebben ma már nincs vita – igazi mérföldkőnek számítanak a genetika történetében. Mendel megfigyelései (amelyeket csak később kezdtek törvényekként aposztrofálni), amellet, hogy kvantitatív magyarázatot adtak bizonyos jellegek (pl. a borsószemek színe, alakja) különböző generációkban megfigyelt előfordulási gyakoriságára, nagyon világosan azt is megfogalmazták, hogy az egyes gének (mendeli megfogalmazásban *faktorok*) különböző variánsai diszkrét egységek kell legyenek, amelyek nem tudnak keveredni egymással.⁶

Az örökölt jellegek keveredése a következő generációban a kor egyik domináns elgondolása volt, amely sok fejtörést okozott Charles Darwinnak is. Az evolúcióelmélet atyja ugyanis folyamatosan kereste a megnyugtató magyarázatot arra, hogy ha meg is jelenik egy populáció egy egyedében az az új jelleg, amelyet később a természetes szelekció előnyben részesíthet, miképp lesz az képes fennmaradni, és miért nem „oldódik” bele a már meglévő jellegekbe a következő generációkban.

Ma már egyértelműnek tűnik, hogy a mendeli „faktorok” léte tökéletes mechanisztikus magyarázatot ad Darwin dilemmájára. A 20. század elején azonban ez nem tűnt kézenfekvőnek, sőt a két elméletet (a darwinizmust és a mendelizmust) a korabeli szakirodalomban egymással versengő, alternatív örökléstani magyarázatként találjuk meg, amelyek kapcsán késhegyre menő és általában személyeskedésbe torkolló viták színesítették a korabeli tudományos közéletet.⁷

A darwinizmusból kinövő, az egyes tulajdonságok variációját számszerűsíteni igyekvő biometrikus iskola képviselte az egyik oldalt, amelynek álláspontja röviden úgy foglalható össze, hogy a természetes szelekció apró változások folyamatos felhalmozása révén alakítja a fajokat, és teszi lehetővé végső soron új fajok kialakulását is. A ring másik sarkában a korabeli mutacionistákat találtuk, akik szerint a populáció normális változatosságára épülő, graduális változások nem eredményezhették új fajok létrejöttét, hanem ahhoz időről időre egy-egy nagy hatású mutációra volt szükség. Ez utóbbi táborba tartozott a Mendel újrafelfedezésében és népszerűsítésében oroszlan szerepet játszó holland Hugo de Vries, a német Carl Correns, az osztrák Erich von Tschermak és a brit William Bateson is. Számukra Mendel matematikai törvényként működő öröklődési szabályai egyértelműen bizonyították elméletük helyességét, így azok lelkes népszerűsítőivé váltak. Ez vezetett ahhoz, hogy az 1900-as évek végére a darwinizmus kicsit megszürkült, a mendelizmust pedig érezhető lelkesedés és pezsgés vette körül.⁸

A mendelizmus nem kevesebbel kecsegtetett, mint annak a pontos megértésével, hogy miként öröklődnek az egyes tulajdonságok, így aztán a kor számos kiváló zoológusa, köztük a Columbia Egyetem professzora, az embriológus képzettségű Thomas Hunt Morgan is adoptálta a saját kutatásaihoz. Igaz, Morgan,

az örök szkeptikus, akit csak a jól tervezett kísérletek adatai tudtak meggyőzni bármiről is, eleinte meglehetősen kritikusan viszonyult a számára túl ezoterikusnak tűnő elmélethez. Végül de Vries laboratóriumának meglátogatása sarkallta arra, hogy ő is elkezdjen a mendeli „faktorokkal” foglalkozni.

A szisztematikus kísérletezéshez azonban egy megfelelő kísérleti alanyra is szükség volt. Morgan laborja szűkén volt a helynek a már folyó kísérleti munkák miatt, ráadásul a professzor hírhedten szigorúan korlátozta csoportja kiadásait, így végül egy kis méretű és költséghatékonyan tartható élőlényre esett a választása, a „feketehasú” *Drosophila melanogaster*-re. A kiindulási példányok beszerzéséhez Morgan egyik doktoranduszhallgatója egyszerű módszerhez folyamodott: a város gyümölcsstandjai közt gyakran előforduló rovarok befogására egy banánt tartalmazó tejesüveget helyezett el a labor ablakában, nem sejtve, hogy később sokak szemében ez a mozzanat a modern genetika egyik mitikus pillanatává válik.⁹

A „légyszoba” és lakói

■ Csak utólag látjuk, hogy a doktorandusz ötlete mennyire szerencsés volt. A feketehasú muslicák állandó lakói lettek a Columbia Egyetem „légyszobájában” sorakozó üvegeknek, ahol szaporodtak és sokasodtak. Márpedig erre nagy szükség volt, hiszen azok az örökletes mutációk, amiket Morgan szeretett volna megfigyelni, ritkák voltak, ezért nagyon sok generációra és egyedre volt szükség ahhoz, hogy megjelenjenek. És valóban, a muslica-„tömegtermelés” mellett is több mint két évbe került, míg megjelentek az első olyan mutánsok, amelyeket a „légyszoba” emberi munkatársai szemmel is könnyen tudtak azonosítani. Az első vizsgált mutációk a rovarok testének színét és mintázatát változtatták meg, vagy az alapesetben vörös színű összetett szemek színét. Utóbbiak közé tartozott a később különösen híressé váló és a genetikusok által máig előszeretettel használt *white* mutáció is, amelynek következtében a szemekben egyáltalán nem termelődött vörös pigment, s hiányában a szemek fehérek maradtak.

A sikerhez azonban nemcsak a megfelelő modellorganizmus kiválasztása volt fontos, hanem legalább ennyire lényeges volt megtalálni azokat az embereket, akik kellő kreativitással és kitartással rendelkeztek, hogy a néha monoton munkát végezzék. Utólag nehéz nem szerencsés véletlenek összjátékának látni, hogy pont Morgan pont ebben az időszakban, 1909-ben tartotta élete első (és egyetlen) bevezető genetika előadás-sorozatát a Columbia Egyetem hallgatóinak. S bár közeli ismerősei egyáltalán nem tartották hatásos és jó előadónak, a padokban ülő fiatal diákok közül legalább kettőben, Alfred Henry Sturtevantban és Calvin Blackman Bridgesben felkeltette az érdeklődést, olyannyira, hogy azok szinte azonnal csatlakoztak a csoportjához, és hamarosan mindenki csak Morgan „fiaiként” ismerte őket.

Sturtevant egy alabamai farmról származott, ahol apja lovakat tenyésztett, és Morgan figyelmét a lovak pigmentációjának öröklődését boncolgató dolgozatával keltette fel. A pár évvel idősebb Bridges egy New York állambeli kisvárosból származott. Korán elárvult, és ezért szerény körülmények között élő nagymamája nevelte. Ismerően Bridges anyagi helyzetét, Morgan eredetileg a labor egyik (fizetett) mosogatói pozíciójára vette fel. Eltérő társadalmi hátterük ellenére remekül kiegészítették egymást a kutatói munkában. A színvak Sturtevant inkább a kísérleti eredmények összegzésében és szintézisében vált nagyon fontossá,

Bridges pedig éles szemű megfigyelőként és a labor felszerelésének fő innovátoraként tűnt ki. Az egyik legendás sztori szerint mosogatás közben, több száz más muslica között szúrta ki az egyik üvegben azt a mutánst, amelynek pár árnyalattal különbözött a szemszíne a többiekétől (ezt később *vermilion*ként ismerték meg a szakirodalom), de ő volt az is, aki kifejlesztette, hogy miképp lehet a repkedő rovarokat étterrel rövid időre elaltatni, ami sokkal tüzetesebb vizsgálatakat is lehetővé tette a mikroszkópok alatt. A csoport harmadik fontos – de sokáig csak informális szerepet betöltő – tagja egy tősgyökeres New York-i fiatal, Hermann Joseph Muller lett, aki szintén a Columbia diákjaként, a biológusklub szervezőjeként került először kapcsolatba Sturtevanttal és Bridgessel. Muller érdeklődését azonnal felkeltették a „légyszoba” kísérletei, de helyhiány miatt csak évekkel később tudott bekapcsolódni az ott zajló munkába. Addig meg kellett elégednie azzal, hogy Morgan csoportjának informálisabb (labor)megbeszéléseinek állandó résztvevője lett.¹⁰

A *white* és egyéb korai mutánsok megjelenése alaposan felkavarta a csoport életét. Egyrészt a saját maguk izolálta mutációk egyenként maguk is a mendeli szegregáció törvényeit követték (azaz az egyik nagyszülőben jelen lévő mutáns jelleg a szülők generációjában eltűnt, de azok utódainak már a negyede mutáns lett). De ennél is érdekesebb volt az a megfigyelés, hogy a fehér szemszín szinte kizárólag csak hímegekben volt jelen. Más szavakkal, a két jelleg, a szemszín és a nem egymással *kapcsolt* volt.

Ugyan ebben az időszakban még többé-kevésbé rejtély volt, hogy a nemek öröklődése miképpen történik, de arról nem volt vita, hogy muslicák esetében (is) genetikai okok határozták meg, hogy egy egyedből hím vagy nőstény legyen. Morganék eredményei azt mutatták, hogy a nemmeghatározásban fontos gén(ek) és a szemszínért felelős egyik kulcsgén *kapcsolt*, együtt öröklődik, ami felvetette, hogy egyéb gének is létezhetnek, amelyek vagy ehhez a „kapcsoltsági csoporthoz” tartoznak, vagy maguk más kapcsoltsági csoportokat hoznak létre.

Ahogy egyre több mutánst fedeztek fel a „légyszobában”, arra is fény derült, hogy a muslicagének összesen három nagyobb és egy kicsi kapcsoltsági csoportba sorolhatók. És ezen a ponton már Morgan figyelmét is megragadta, hogy ez pontosan megegyezik a *Drosophila melanogaster* esetében korábban leírt kromoszómakészlettel (három nagyobb és egy kisebb kromoszómapár van jelen).

A kromoszómákat már a 19. század végén azonosították, de pontos funkciójuk sokáig rejtélyes volt. Ugyan maga de Vries már 1889-ben felvetette, hogy a rejtélyes sejtalkotók az örökítőanyagot hordozhatják, a felvetést – különösen az USA-ban – sokáig szkepticizmus övezte. Az öröklődés konkrét fizikai elemekhez való kötése ugyanis sokakban az ekkorra már diszkreditált ún. „homunkulusz”-elméletet idézte fel, amely értelmében a férfiak spermiumában már ott van leendő gyerejük miniatűr alakban, és később az anya méhében csak ez a preformált kis lény fog egyre nagyobbra nőni. 1905-ös cikkei és levelei alapján Morgan maga is teljes mértékben elutasította, hogy a kromoszómáknak bármi köze lenne az öröklődéshez és a nemek kialakulásához. Szkepticizmusa azért is különösen figyelemreméltó, mert pontosan ezekben az években saját egyetemi kollégája és barátja, Edmund Beecher Wilson és annak diákjai bizonyították be, hogy rovarokban a nemek öröklődése kromoszómákhoz köthető, és Morgan minden bizonytalanságot elvetve tisztában volt az ő eredményeikkel.¹¹

De saját szemének mégis hinnie kellett, így mindössze öt év leforgása alatt a „kromoszómaelmélet” egyik lehangosabb kritikusából annak óvatos támogató-

jává vált. Újabb öt évvel később pedig „fiai” közreműködésével megírta *A mendeli öröklődés mechanizmusa* című munkáját, amely a század első felének egyik legfontosabb tudományos szellemi alkotása lett, és örökre összekapcsolta Morgan nevét a kromoszómákkal.¹² A könyv és Morgan munkássága még a kromoszómaelmélet olyan kitartó kritikusa is megingatta, mint William Bateson, és végső soron kulcsfontosságú volt a *Drosophila*-genetika futótűzszerű elterjedésében, valamint Morgan 1933-as orvosi Nobel-díjában is.

A kromoszómák fontosságának felismerése egy különös jelenség, a kapcsoltság időről időre való megszűnésének tisztázását is sokkal könnyebbé tette. (Megj.: ezután még évtizedeket kellett várni annak a megértésére, hogy igazából a kromoszómák DNS-komponense és nem a bennük található fehérjék töltik be az örökítőanyag szerepét, de ez egy másik történet.)

A biológiai jelenségek komplexitásának köszönhetően egyszerűnek tűnő szabályok esetén szinte azonnal kivételekkel is találkozhat a kísérletező. A kapcsoltság felismerése és a kapcsoltsági csoportok leírása sem volt ez alól kivétel. Morgan csoportja azzal szembesült, hogy bár a kapcsolt tulajdonságok az esetek elsősorú többségében együtt öröklődnek, időről időre megjelennek olyan egyedek, amelyekben ez a kapcsoltság megszakad, és a két tulajdonság külön öröklődik tovább. Ezek az esetek nem voltak nagyon gyakoriak, de ahhoz kellően gyakran előfordultak, hogy ne lehessen egy legyintéssel elintézni őket.

A kromoszómák iránt egyre jobban érdeklődő Morgan 1909-ben egy belga jezsuita pap, a Leuvenben dolgozó Frans Alfons Janssens cikkeire figyelt fel, aki a siklósalamandrák ivarszerveiben írta le a kromoszómák furcsa viselkedését. Az ivarsejtek kialakulása genetikai szempontból is különleges pillanata az egyes fajok életciklusának, hiszen ilyenkor az állat normálisan diploid sejtjeiből (amelyek egyaránt tartalmazzák az élőlény apjának és anyjának egy-egy kromoszómaszettjét) olyan ivarsejtek jönnek létre, amelyek már csak egyetlen kromoszómaszettet tartalmaznak, ezért haploidnak nevezzük őket. A leuveni kutató azt fedezte fel, hogy a haploid sejteket létrehozó számfelező osztódásnak, a meiózisonak a korai szakaszában az apai és anyai kromoszómák egymás mellé simulnak, egymás közt darabokat cserélnek ki, ezáltal „kromoszómaszegmensek új kombinációját” hozva létre.¹³

Morganék rádöbbentek, hogy az átkereszteződés (*crossing over*) jelensége magyarázatot adhat arra, hogy miképp szűnhet meg a kapcsoltság azonos kromoszómán levő génvariánsok között. Sőt, ha a kromoszómán levő géneket úgy képzeljük el, mint egy lánc egymást követő gyöngyeit, akkor az is látható lesz, hogy minél távolabb van két gyöngy egymástól, annál nagyobb lesz az esélye, hogy köztük egy átkereszteződés bekövetkezzen. Vagyis két gén kromoszómán elfoglalt helye nagyjából arányos azzal, hogy milyen gyakran tűnik el a kapcsoltságuk. A felismerésben kulcsszerepet játszott Sturtevant, aki aztán 1911 telének egyik estéjén több hónap megfigyeléseinek adatsorát hazavitte, és másnap reggelre létrehozta a történelem első genetikai térképét. Ez a térkép az egyes kromoszómákon levő gének egymástól való távolságát írta le, annak függvényében, hogy hány megszületett muslicára jutott egy-egy átkereszteződés, vagyis a két gén mutáns variánsai (alléljai) közti kapcsolat felbomlása. A dolog tudományos értékét, ha csak áttételesen is, de jól mutatja, hogy amikor Sturtevant felfedte a térképet a csoport következő összejövételén, Muller nem tudott úrrá lenni izgatótságán, és szabályosan felugrott a székéről. A jelenlévők érezték, hogy a genetika egy új korszakába lépett.¹⁴

A következő évtizedekben kutatók százai készítették genetikai térképeket a legkülönbözőbb állat-, növény- vagy épp gombafajokra, ahol az egyes gének közti távolságot, Morgan tiszteletére, rendre „centimorgan”-ben adták meg. A „légyszoba” kutatói egy fontos módszertani kérdésben standardizálták a genetikai kutatásokat. A standardizálás egyébként is nagyon fontos céljuk volt, és kísérleti modelljük kiválóan alkalmas volt erre.

Bár a standardizálási törekvéseket a történelem folyamán általában a kereskedelem hajtotta, a folyamat olyan nyilvánvaló előnyei, mint a konzisztencia és a hatékonyság, az élet más területein is vonzóvá tették. Sokkal többen láthatnak egy filmet, ha a filmek és az azokat lejátszó szerkezetek mindenütt ugyanazoknak a szabványoknak felelnek meg, illetve sokkal hasznosabb egy elektromos készülék, ha a világ bármely pontján be lehet dugni egy konnektorba, amely szabványos váltóáramot biztosít.

Morgan csoportja hamar belátta, hogy ahhoz, hogy sokan dolgozzanak az általuk kitaposott új kutatási területen, szükségük lesz rá, hogy „standardizálják” a muslicákat, vagyis biztosítsák, hogy minden kísérleti állat genetikai összetétele pontosan ismert legyen. Csak így lehetett elérni, hogy New Yorkban egy adott mutáns pontosan ugyanúgy nézzen ki, mint Cambridge-ben, Berlinben vagy épp Moszkvában, s így a világ különböző tájain dolgozó *Drosophila*-genetikusok eredményei összevethetőek és bárki által megismételhetőek legyenek.

Ez eleinte nem ment könnyen, mert a kezdetben nagyon ritkán megjelenő mutánsok fenntartásához folyamatos beltenyésztésre volt szükség, ami sokszor a fenntartani kívánt szemszínmutáció mellett más, a beltenyésztés mellékhatásaként fellépő furcsa rendellenességek megjelenését is okozta, amelyek miatt a muslicák sokszor már báb állapotban elpusztultak. Bridges vezetésével azonban a Morgan-csoport tagjai olyan keresztezési protokollokat hoztak létre, amelyek segítségével a nem kívánt mutációktól meg tudtak szabadulni, a tanulmányozni kívántakat pedig fenn tudták tartani. Mindebben ismét nagy előnyt jelentett a muslica szaporasága, mert a nagyszámú utód közt könnyebb volt a kívánt mutációkat hordozó egyedekre rálelni. Az így létrehozott háttérmutációktól (jobbára) mentes (a szakzsargonban izogenikusnak nevezett) törzsek a laboratóriumi körülmények között élő „feketehasú” *Drosophilák* egyfajta (genetikai) plátói ideálját képezték, és ideális követői lettek a gyorsan világhírre szert tevő „morgan genetikának”.

Senki sem sejtette, hogy a biológia következő nagy forradalmát pont az olyan idegesítő háttérvariánsok tanulmányozása és megértése hozza majd el, amelyeket eleinte nagy gonddal kiszűrtek. Igaz, ehhez egy olyan új dolgozónak kellett érkeznie a „légyszobába”, aki radikálisan új szemléletet tudott ott meghonosítani.

Varietas delectat

■ *A mendeli öröklődés mechanizmusa* európai fogadtatását némileg elhomályosította, hogy a kontinensen eközben javában dúlt a nagy háború, ami természetesen nemcsak a térség geopolitikáját forgatta fel alaposan, de a tudományos életét is. Különösen igaz volt ez Oroszországra, amely a világháborúból egyből polgárháborúba sodródott, így igazából csak 1920-ra normalizálódott annyira az élet az egykori cári birodalom területén, hogy újra be tudtak kapcsolódni a világ tudományos vérkeringésébe. Ekkortájt határozza el az akkor még ígéretes fiatal

rovartanásként számontartott Theodosius Dobzhansky is, hogy szeretne belekóstolni a *Drosophila*-genetikába.

A háború és az azt követő éhínség során a szüleit elvesztő fiatal ukrán kutató figyelmét először Jurij Filipczenko 1919-es cikke kelti fel, amely a kor vezető orosz természettudományos folyóiratában, a *Prirodában* jelent meg, és a morgani iskola eredményeit foglalta röviden össze. A Kijevi Politechnikai Intézetben dolgozó Dobzhansky ezután kereste a lehetőséget, hogy maga is belekóstolhasson az új tudományterületbe, és végül 1922-ben és 1923-ban több rövidebb ösztöndíj segítségével heteket tölthetett Pétervár és Moszkva vezető genetikusainak csoportjaiban. Az ezalatt végzett megfigyelései végül felkeltették magának Filipczenkónak a figyelmét is, aki 1924-ben meghívta, hogy csatlakozzon pétervári csoportjához.¹⁵

Dobzhansky Lenin halálának napján érkezett meg a hamarosan már csak Leningrádként ismert városba, és tehetségének köszönhetően szerencsecsillaga hamarosan meredeken emelkedni kezdett. Pár év alatt Filipczenko jobbkeze lett, olyannyira, hogy amikor felmerült, hogy a labor egy ösztöndíjast küldhet Morgan saját csoportjába egy Rockefeller-ösztöndíj segítségével, senkit nem ért meglepetésként, hogy Filipczenko Dobzhanskyt jelölte, azzal a nem titkolt céllal, hogy egy „csodálatos morganista” váljon belőle, aki visszatérése után egy új Sturtevantként válhat az orosz *Drosophila*-kutatások vezető alakjává.¹⁶

Így érkezett meg Dobzhansky 1927-ben New Yorkba, és csak elképzelni lehet az izgatottságát, amikor első nap felkereste Morgan laborját: bejárást nyert a „légyszobába”, a korabeli genetika Mekkájába, és találkozhatott saját szakmai hőseivel. A porosz-oszros hierarchikus rendszerhez szokott, akkor az angolt még csak törve beszélő fiatal kutató egyből lelkesen jelentkezett is Morgannél, hogy megkapja a rá kirótt kísérleti feladatot, és értetlenséggel vette tudomásul, hogy igazából nincs ilyen. Morgan nagy fokú szabadságot biztosított csoportja tagjainak, kvázi mindenkinek ki kellett találnia, hogy mivel is akar foglalkozni, mi az, ami érdekli. Amíg ez ki nem kristályosodott, a csoport új tagjait általában vagy Sturtevant, vagy Bridges vette rövidebb időre a pártfogásába, kisebb keresztes feladatokon keresztül vezette be őket a kromoszómaanalízis rejtelmeibe.¹⁷

Dobzhansky kezdetben a hőmérséklet nemi arányokra kifejtett hatását kezdte vizsgálni, illetve rovtartász-ismereteit kamatoztatva segítette Bridgesnek jellemezni olyan mutánsokat, amelyeknek a szájszervei alakultak furcsán. De igazából nem ez izgatta. Vérbeli zoológusként, aki már 16 évesen saját maga rögtönözte minixpedícióra szökött el a Kaukázusba egy barátjával, természetes volt számára az élővilág változatossága: tudta, hogy ugyanannak a fajnak a különböző egyedei sosem tökéletesen egyformák. Minden korábbi mentora ugyanezt a mentalitást táplálta belé, ami talán nem véletlen, hiszen az orosz genetikusok első generációjának tagjai mind rovarászok voltak.¹⁸

Az 1860-ban alapított Orosz Rovartani Társaság igazi lelkes, alulról építkező közösség volt. Az első világháború idejére már sok száz tagot számlált, akik újsághirdetéseken keresztül is folyamatosan adták-vették a birodalom különböző szögleteiből származó rovarpéldányokat. (A korabeli orosz magángyűjtemények méretét talán jól érzékelteti, hogy Dobzhansky saját fiatalkori katicakollekciója közel 13 ezer (!) példányt tartalmazott.) A különböző földrajzi területekről származó egyedek között pedig természetes volt a változatosság, amit mindenki az evolúció és szelekció egyik jeleként értelmezett. Ez persze felvetette azt a kér-

dést is, hogy hol ér véget az egyik faj, és hol „kezdődik” egy újabb. Míg a világ vezető egyetemi és akadémiai kutatóhelyein alig-alig volt kutató, aki ilyen kérdésekkel már ekkor foglalkozott volna, a Moszkvai Rovartani Társaság gyűlésein rendszeresen napirenden volt a fajfogalmak és -definíciók megvitatása.¹⁹ Nem véletlen, hogy számos olyan fogalom, amelyet később maga Dobzhansky honosított meg az angolszász szaknyelvben, tulajdonképpen a századelő orosz genetikai iskolájához köthető. Filipcsenko használta először a „mikroevolúció” kifejezést a fajon belüli változatosság leírásakor, a fajra jellemző génkészlet fogalmát pedig Alekszander Szerobovszkij alkotta meg (eredetileg „*genofond*”, de Dobzhansky később „*gene pool*”-ként használta). Szerobovszkij már az 1920-as években megfogalmazta azt a nézetet, amit közel két évtizeddel később a mendelizmust és darwinizmust összebékítő „modern szintézis” jegyében végül kanonizáltak is: „*Az evolúció lényegében [...] a génkészlet evolúciója*”.²⁰

Ez a szemlélet nagyon távol állt a Morgan-csoport világképétől, amikor Dobzhansky megérkezett. A „légyszoba” dolgozói legalábbis távolságtartással kezelték a terepen gyűjtő zoológusok leíró munkáját. Morgan egyszerűen bélyeggyűjtéshez hasonlította az ilyen tevékenységet, amit a metodológiailag igényes labormunka antitézisének tekintett, és alig titkoltan lenézett.²¹ Ehhez képest amikor 1940-ben Morgan nyugdíjba vonult, a csoportban már senki sem a standardizált „feketehasú” *Drosophilákkal* foglalkozott (az „utolsó mohikán” a tragikusán korán, 1938-ban elhunyt Bridges volt), hanem mindenféle más muslica-fajokon tanulmányozta az élővilág genetikai sokszínűségét.

A változást részben Dobzhansky személyisége és hihetetlen munkabírása hozta el, részben az a körülmény, hogy a „nagy kérdések” tisztázása után és újabb *Drosophila*-kutató csoportok megjelenésével (amelyek nagy részét a „légyszobában” korábban vendégeskedő vagy ott végzett kutatók alapították) a Morgan-csoport dominanciája már kevésbé volt egyértelmű. A csoport ekkor már a kontinens másik végén, a kaliforniai Pasadenában, a California Institute of Technology (Caltech) falai között működött, és a közben a csoport teljes jogú tagjává avanszált Dobzhansky továbbra is kereste azt a témát, amivel igazán foglalkozni szeretett volna.

A csoport egy másik „második generációs” tagjával, Jack Schultzczal a muslicákban a nemmeghatározás genetikai alapjait igyekeztek feltárni. Ehhez két rokon faj keresztezéséből származó, hibrid állatokat használtak, amelyek ugyan normálisan fejlődtek, de ők maguk sterilek voltak. Az amerikai kontinensen nem őshonos *Drosophila melanogaster* esetében nem nagyon ismertek ilyen hibrid fajt, így került a képbe a kontinensen őshonos másik muslica, a *Drosophila pseudoobscura*, amelynek viszont léteztek olyan populációi, amelyeket egymással keresztezve ilyen hibrid steril állatok jöttek létre. És a *D. pseudoobscura* legyek tényleg mindenütt jelen voltak a labor falain kívül, így Dobzhansky viszonylag egyszerű gyűjtőutakon be tudta gyűjteni őket.

Sok szempontból ezek a természetes körülmények között élő muslicák az ellentétei voltak az akkorra már standardizált „feketehasú” laborpopulációknak. Genetikai anyaguk rendkívüli variabilitást mutatott, ami megnehezítette a laborban korábban bevezetett klasszikus genetikai protokollok használatát. Így az eredeti kísérlet ugyan elakadt, viszont Dobzhansky fejében megszületett a felismerés: a hatalmas földrajzi elterjedést mutató fajon pont a természetes genetikai variabilitás kérdését lehetne jól tanulmányozni.

A következő években Brazíliától Alaszkáig végigjárta a kontinenst, és a saját maga által kifejlesztett viszonylag gyors kromoszómavizsgálatokkal igyekezett felmérni, hogy mekkora is az egyes muslicaközösségekben a genetikai variabilitás, illetve bizonyos helyekről egymást követő években többször is gyűjtve azt is követni tudta, hogy ez a kromoszómaszintű sokféleség hogyan változik idővel. Ebbe a kutatási programba illeszkedett a Kollerrel való közös útjuk a Death Valley hegyei között.

Az ifjú Koller Pius frissen szerzett doktorival került az 1928-ban, gróf Klebelsberg Kunó vallás- és közoktatásügyi miniszter bábáskodása mellett frissen megnyílt tihanyi Magyar Biológiai Kutatóintézetbe. A világháborús összeomlást követő újjáépítés egyik kiemelt projektjeként létrehozott intézetbe a miniszter a kor legjobb magyar kutatóit igyekezett összegyűjteni. Fontos célkitűzés volt, hogy külföldi ösztöndíjak felhasználásával képezzenek ki fiatal kutatókat olyan ismeretekre, amelyeknek itthon még nem lehetett a szakembereit megtalálni. A genetika iránt érdeklődő Pius így került előbb Cambridge-be, majd Edinburghbe, ahol aztán a Morgan-labor egyik korábbi végzettjének, Donald Lancefieldnek a segítségével megtanulhatta a *Drosophila*-genetika alapjait is, és megismerkedhetett a *Drosophila pseudoobscurával*.²²

1933-ban a Nobel-díj-átadóra utazó Morgan maga is megállt Edinburghben, és meghívta Kollert a pasadenai laborba. A meghívásnak végül egy 1936-ban elnyert Rockefeller-ösztöndíj segítségével tett eleget, amelynek elnyerésében kulcsszerepe lehetett a fiatal bencés kutató hazatérésében még mindig bízó Kelemen Krizosztom pannonhalmi főapátnak, illetve Szily Kálmán közoktatásért felelős államtitkárnak. (A remélt hazatérés aztán sosem következett be – Koller csak látogatóban járt sokkal később Magyarországon, az Egyesült Királyságban telepedett le, és a bencés rendből is kilépett.)²³

Röviddel Kaliforniába érkezése után Koller élete végéig tartó barátságot kötött Dobzhanskyval. Minden valószínűség szerint ez vezetett ahhoz is, hogy elkísérte utóbbi nevadai gyűjtőútjára. Dobzhansky ekkor már egyértelműen a Morgan-csoport új sztárja volt, életének talán szakmai szempontból legtermékenyebb periódusában. Nemrég kapta meg a professzori kinevezést a Caltechen, sorra kapta az állásajánlatokat a fontos egyetemekről, és előző évben jelent meg *Genetika és a fajok eredete* című könyve, amelyet sokan a már említett modern szintézist előkészítő első igazán fontos műnek tartanak.²⁴ Minél többet és minél jobban tanulmányozta a természetes populációkat, annál inkább azt látta, hogy a változatosság, a genetikai variabilitás normális jelenség, és – számos korabeli elgondolással ellentétben – a variabilitás egyáltalán nem csökkent a természetes populációkban. A genetikai sokszínűség a Halál völgyében is folyamatosan jelen volt az ott élő *Drosophila pseudoobscura*-populációkban, és semmi sem utalt arra, hogy a mutációk többsége káros lett volna. Sőt, az évek során Dobzhansky egyre inkább arra a meggyőződésre jutott, hogy a sokszínűség egy előny, amit fel tud használni a közösség, amikor hirtelen változik a környezet: a nyáron előnyös tulajdonságok nem biztos, hogy télen is előnyösek, de ha a mindkét évszakban előnyös tulajdonságot biztosító genetikai változatosság folyamatosan jelen van, akkor a populáció túlélése minden évszakban biztosított. Ez a nézet vezetett a későbbiekben egyre sűrűbb összetűzéseikhez Mullerrel is.

Az ekkor már rég saját csoportot irányító Hermann Joseph Muller különösen színes figurája a 20. századi genetika történetének. A gyakran kisebbségi komplexusban szenvedő, nehéz természetű Muller mindig is nehezen illeszke-

dett be a Morgan-csoportba, és 1920-ban el is váltak útjaik, mert egy bőkezű ajánlatnak köszönhetően saját csoportot tudott létrehozni a University of Texas falai között. Legfontosabb felfedezése itt az volt, hogy a röntgensugárzással sokszorosára lehet növelni a mutációk megjelenési gyakoriságát, amivel hihetetlenül meggyorsította a genetikai kutatásokat. Míg korábban évekig kellett várni egy-egy mutáció megjelenésére, 1926 után már rövid ideig szándékosan felturbózott mutagenezissel lehetett létrehozni új mutációkat, felfedezni új mutáns fenotípusokat. Ezek az új mutánsok felfoghatatlanul sok ismeretet biztosítottak aztán a későbbiekben az élő szervezetek működésével kapcsolatban, de a legtöbb egyértelműen káros volt. Ezek az eredmények radikálisan befolyásolták Muller nézeteit: úgy vélte, hogy a mutációk szinte mindig károsak, így ha meg is jelennek, a természetes szelekció folyamatosan abba az irányba fog hatni, hogy eltűnjenek a génállományból. Kivéve, ha mesterségesen meggátoljuk – mint például emberben az orvostudomány fejlődésével és a jóléti társadalom kialakulásával. Muller hangos és befolyásos hirdetője lett az eugenikának, és folyamatosan aggodalmát fejezte ki, hogy az emberiség önmaga állandó mérgezésével a genetikai armageddon felé menetel.

Muller egyébként nem volt teljesen tipikus „eugenista”: fiatal éveiben meggyőződéses kommunista volt, és amikor emiatt már kezdett elfogyni körülötte a levegő Texasban is, előbb Németországba, majd a nácizmus térnyerése után az orosz genetikai doyenjének, Nyikolaj Vavilovnak személyes meghívására a Szovjetunióba költözött. Időzítése finoman szólva sem volt szerencsés, hiszen egybeesett Trofim Liszenko és a nevével jelzett áltudományos, radikálisan genetikaellenes liszenkóizmus felemelkedésével. Liszenko és Muller többször nyíltan is összezsaptak, végül 1936-ban Muller jobbnak látta elhagyni az országot. Egyenesen Madridba sietett, hogy a Nemzetközi Brigád tagjaként kivegye a részét a spanyol polgárháborúból. Innen Edinburghbe került, ahol aztán Kollerral egy irodán osztozva évekig kellett várnia a lehetőségre, hogy álláshoz juthasson ismét az Egyesült Államokban. Végül egy massachusettsi kitérőt követően az indianai Bloomingtonba került, ahol aztán élete végéig maradt. Itt dolgozott, amikor 1946-ban korábbi munkájáért ő is megkapta a Nobel-díjat, és amikor 1949-ben az Amerikai Humán-genetikai Társaság kongresszusának díszvendégeként megtartotta eugenikai nézeteit kifejtő, *Mutációs terhelésünk* című előadását.

Dobzhansky számára egyértelmű volt, hogy a Mullerhez hasonló „eugenikus Jeremiások” hamis próféciákat fogalmaztak meg. Különösen taszította a Muller által erőltetett pozitív eugenika, amely értelmében ha évi pár tízezer nőt termékenyítenének meg „felsőbbrendű intellektusú” férfiak ivarsejtjeivel, akkor pár generáció alatt ez az „ideális genotípus” elterjedhetne, és még több még zseniálisabb ember születhetne szerte a világon.²⁵

Mindez teljesen szembement azzal, amit Dobzhansky gondolt a genetikai változatosság fontos szerepéről és potenciális evolúciós előnyéről, különösen egy gyorsan változó világban. A sok, apró hatású génvariáns szerinte nem nyűg volt, vagy genetikai szemét, amitől meg kell szabadulni, hanem érték, amit őrizni kell, amire a modern világban a pszichológiai jellegek, így például a taníthatóság (*educability*) nagyon fontos fejlődési plaszticitása támaszkodhat.

A két Morgan-tanítvány közti különbség, persze, részben abból adódott, hogy Muller munkája során súlyos, gyakran letális mutációkat állított elő és izolált, míg Dobzhansky pont a környezetfüggő hatással bíró, kis hatású genetikai variánsokat vizsgálta. De a nézetkülönbséghez valószínűleg hozzátartozik az is,

hogy a századforduló Oroszországában a darwini evolúciós elmélet nemcsak tudományos téma volt, hanem filozófiai is. Így abban a közegben, ahol Dobzhansky fiatal, formatív éveit töltötte, folyamatosan téma volt, hogy milyen filozófiai és szociológiai vonzatai vannak az evolúciós elméletnek. Ennek az iskolának volt egy erős, az eugenikával antitetikus, antimalthusianus jellegű hagyománya is. Követői között sokan, Dobzhanskyhoz hasonlóan, humanisták voltak, akik hittek abban, hogy a sokféleség a természetes, és az ideális politikai rendszer az esélyegyenlőség megteremtésével ezt a sokféleséget tudja majd a meritokratikus elvek szerint kiaknázni.²⁶

Élete második felében Dobzhansky számos műben boncolgatta ezeket a kérdéseket. Kifejezetten feladatának tekintette, hogy saját eredményeit és tapasztalatait megossza másokkal, és ezáltal alakítsa, hogy mit gondolnak az emberek ezekről a társadalmilag is fontos dolgokról. Ahogy az 1973-ban megjelent *Örökletes változottság és emberi egyenlőség* című könyvének előszavában fogalmazott:

„A biológusnak – végezze bár kutatásait fehér egereken, ecetmuslicákon, növényeken, vagy baktériumokon – végeredményben az kell legyen a végső célja, hogy hozzájáruljon az ember megértéséhez és a világegyetemben elfoglalt helyének meghatározásához. A biológia – és általában a tudomány – emberközpontú kell legyen, azaz legyen lényeges és hasznos az ember számára. [...] Az elméleti vagy alap kutatás humanista vállalkozás. [John] Dewey, helyesen, »szellemi becsületsértés«-nek tartotta a tudomány elkülönítését az erkőlctől és az értékektől.”²⁷

A Thomas Hunt Morgan nevével fémjelzett tudományos iskola, illetve az abból induló Muller és Dobzhansky munkássága minden szempontból meghatározó volt a modern genetika alakulása szempontjából. Felfedezéseik általános érvényű (így ránk is érvényes) szabályokra derítették fényt a gének és kromoszómák természetével kapcsolatban, nézeteltéréseik pedig megelőlegezték azokat az etikai kérdéseket, amelyekkel a mai napig szembe kell néznünk. Hiszen a génszerkesztés és a mesterséges megtermékenyítést követő (preimplantációs) géndiagnosztika korában megint gyakran előkerülő kérdés, hogy mely génvariánsok a „jók”, melyek a „rosszak”, melyektől kell megszabadulni, és melyeket megőrizni. Így Muller és Dobzhansky egykori vitái máig mérvadóak, pedig „csak” muslicákkal foglalkoztak.

■ JEGYZETEK

1. Koller Pius: *Expedíció a Halál Völgyébe*. Búvár 1938. 4. 725–730.
2. Varga Máté: *Kromoszómák és gének – Koller Pius Károly útja Pannonhalmától a Fulham Roadig*. Magyar Tudomány 2020. 9. 1174–1185. DOI: 10.1556/2065.181.2020.9.4 (A továbbiakban Varga 2020.)
3. Jim Endersby: *A Guinea Pig's History of Biology*. Arrow Books, London, 2008. 170–208. (A továbbiakban Endersby 2008.)
4. Jeanne R. David – Pierre Capy P.: *Genetic variation of Drosophila melanogaster natural populations*. Trends in Genetics 1988. 4. 106–111. DOI: 10.1016/0168-9525(88)90098-4.
5. Endersby 2008.
6. Péter Pocza: *Heredity Before Mendel*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2022.
7. William B. Provine: *The Origins of Theoretical Population Genetics*. The University of Chicago Press, Chicago, IL, 2001.
8. Endersby 2008.
9. Elof Axel Carlson: *The Drosophila Group: The Transition from the Mendelian Unit to the Individual Gene*. Journal of the History of Biology 1974. 1. 31–48. (A továbbiakban Carlson 1974.)
10. Uo.

11. Keith R. Benson: *T. H. Morgan's resistance to the chromosome theory*. *Nature Reviews Genetics* 2001. 6. 469–74.
12. Thomas Hunt Morgan: *The Mechanism of Mendelian Heredity*. Henry Holt and Company, New York, NY, 1915.
13. Romain Koszul és mtsai.: *The centenary of Janssens's chiasmotype theory*. *Genetics* 2012. 2. 309–317. DOI: 10.1534/genetics.112.139733
14. Carlson 1974.
15. Mikhail B. Konashev: *From the Archives: Dobzhansky in Kiev and Leningrad*. In: Mark B. Adams (ed.): *The Evolution of Theodosius Dobzhansky: Essays on His Life and Thought in Russia and America*. Princeton University Press, Princeton, 1994. 63–84.
16. Uo.
17. Garland E. Allen: *Theodosius Dobzhansky, the Morgan Lab, and the Breakdown of the Naturalist/Experimentalist Dichotomy, 1927–1947*. In: Mark B. Adams (ed.): *The Evolution of Theodosius Dobzhansky: Essays on His Life and Thought in Russia and America*. Princeton University Press, Princeton, 1994. 87–98. (A továbbiakban Garland 1994.)
18. Nikolai L. Kremensov: *Dobzhansky and Russian Entomology: The Origin of His Ideas on Species and Speciation*. In: Mark B. Adams (ed.): *The Evolution of Theodosius Dobzhansky: Essays on His Life and Thought in Russia and America*. Princeton University Press, Princeton, 1994. 31–48.
19. Uo.
20. Richard M. Burian: *Dobzhansky on Evolutionary Dynamics: Some Questions about His Russian Background*. In: Mark B. Adams (ed.): *The Evolution of Theodosius Dobzhansky: Essays on His Life and Thought in Russia and America*. Princeton University Press, Princeton, 1994. 129–140.
21. Garland 1994.
22. Varga 2020.
23. Uo.
24. William B. Provine: *The Origin of Dobzhansky's Genetics and the Origin of Species*. In: Mark B. Adams (ed.): *The Evolution of Theodosius Dobzhansky: Essays on His Life and Thought in Russia and America*. Princeton University Press, Princeton, 1994. 99–114.
25. John Beatty: *Dobzhansky and the Biology of Democracy: The Moral and Political Significance of Genetic Variation*. In: Mark B. Adams (ed.): *The Evolution of Theodosius Dobzhansky: Essays on His Life and Thought in Russia and America*. Princeton University Press, Princeton, 1994. 195–218.
26. Beatty 1994.
27. Theodosius Dobzhansky: *Örökletes változatosság és emberi egyenlőség*. (Ford. Szabó Attila) Kriterion Könyvkiadó, Buk., 1985.