

# Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY

154. évf. 10. sz.

2023. OKTÓBER

ÁRA: 1450 Ft

Előfizetőknek: 1350 Ft



NASA ÉS A HAZAI BOLYGÓKUTATÁS  
HAGYOMÁNYOS ÁRUCSEREFORMÁK  
BIZONYTALAN FAGYTŰRÉSI ZÓNÁK  
FUNKCIONÁLIS MOZAIKOK  
FARKAS A VALÓSÁGBAN



Illusztrációk a *Hagyományos árucserreformák* című cikkhez

(Bartha Júlia felvételei)



A TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ  
TÁRSULAT FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben  
SZILY KÁLMÁN  
KIRÁLYI MAGYAR  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY  
154. ÉVFOLYAMA

2023. 10. Október  
Magyar Örökség-díjas és  
Millenniumi Díjas folyóirat



Nemzeti  
Kulturális  
Alap



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS  
MINISZTERIUM

EMBERI ERŐFORRÁS  
TÁMOGATÁSKELZŐ

Megjelenik a Nemzeti Kulturális Alap,  
a Kulturális és Innovációs Minisztérium,  
az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő  
támogatásával.

Főszerkesztő: GÓZON ÁKOS

Szerkesztőség:  
1088 Budapest, Bródy Sándor u. 16.  
Telefon: 06-30-755-5691  
E-mail-cím: info@termvil.hu  
Internet: termvil.hu

Felelős kiadó:  
PIRÓTH ESZTER  
a TIT Szövetségi Iroda igazgatója

Kiadja a Tudományos Ismeretterjesztő Társulat  
1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16.  
Telefon: 06-30-755-5702

Nyomás:  
PAUKER Nyomda

Felelős vezető:  
Vértes Dániel

INDEX25 807  
HU ISSN 0040-3717

Hirdetésfelvétel a szerkesztőségben

Korábbi számok megrendelhetők:  
Tudományos Ismeretterjesztő Társulat  
1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16.  
Telefon: 06-30-755-5691  
e-mail: info@termvil.hu

Előfizetés, reklamáció:  
Magyar Posta Zrt.  
Telefon: 06-1-767-8262  
E-mail: hirlapelofizetes@posta.hu  
Internet: eshop.posta.hu  
Postacím: MP Zrt., Budapest 1900.

Előfizetésben terjeszti: Magyar Posta Zrt.  
Árusításban megvásárolható a Lapker Zrt.  
árusítóhelyein.

Előfizetési díj:  
fél évre 8160 Ft, egy évre 16 200 Ft

<b>FUTÓ PÉTER:</b> A NASA és a magyar bolygókutatás – 65 éves az amerikai űrhivatal.....	434
<b>FARKAS CSABA:</b> Farkas a valóságban – Őrzökutyákkal és villanypásztorral védekezni.....	440
<b>BARTHA JÚLIA:</b> Hagyományos árucserereformák – A keleti kereskedelemről.....	444
<b>SZABAD JÁNOS:</b> Színes/szintelen mozaikosság – Funkcionális mozaikok (2. rész).....	451
<b>HÉRINCZ DÁVID:</b> Gyakori frontok és viharok – 2023 nyarának időjárása .....	459
<b>ZACHAR ISTVÁN:</b> A mitokondrium kora – Eukarióták eredete (2. rész).....	461
<b>P. B.:</b> Mire tanít a háború? – Hulladékhasznosítás a Természet tudományi Közönyben .....	469
<b>BEDE-FAZEKAS ÁKOS – SOMODI IMELDA:</b> Egy alkalmazott térkép tudományos alapjai – Bizonytalan fagyűrési zónák .....	472
<b>DIÁKMELLÉKLET (Kónya Máté Bertalan-Turjanicza Boldizsár:</b> Műanyagok biodegradációjának vizsgálata a közönséges lisztbogár segítségével) .....	477
<b>KOVÁCS GERGŐ:</b> Végzetes demagnetizáció – Megsemmisített meteoritemlékek.....	483
<b>FOLYÓIRATSZEMLE (Landy-Gyebnár Mónika).....</b>	485
<b>Mobiltelefonok újrahasznosítása – Egy fél évtizedes kampány eredményei.....</b>	488

**Címlapképünk:** A NASA Space Launch System rakétájának indítása  
(Művészi koncepció, NASA)

**Borítólaponk második oldalán:** Illusztrációk a *Hagyományos árucserereformák*  
című cikkhez (Bartha Júlia felvételei)

**Borítólaponk harmadik oldalán:** Illusztrációk a  
*Gyakori frontok és viharok* című cikkhez (Hérincz Dávid felvételei)

#### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Elnök: VIZI E. SZILVESZTER

Tagok: BACSÁRDI LÁSZLÓ, BOTH ELŐD, HORVÁTH GÁBOR,  
KECSKEMÉTI TIBOR, KORDOS LÁSZLÓ, LOVÁSZ LÁSZLÓ, NYIKOS LAJOS,  
PAP LÁSZLÓ, PATKÓS ANDRÁS, RESZLER ÁKOS, SCHILLER RÓBERT, CHARLES SIMONYI,  
SÓTONYI PÉTER, SZATHMÁRY EÖRS, SZERÉNYI GÁBOR, VIDA GÁBOR

Főszerkesztő-helyettes:

PÁSZTOR BALÁZS (pasztor.balazs@eletestudomany.hu)

Szerkesztők:

TEGZES MÁRIA (tegzes.maria@termvil.hu)

LŐRINCZ HENRIK (lorincz.henrik@termvil.hu)

SZOUCEK ÁDÁM (szoucek.adam@termvil.hu)

Tervezőszerkesztő: LÉVÁRT TAMÁS

Gazdasági ügyintéző: FARKAS VIKTÓRIA

Partnerkapcsolati ügyintéző: SZALAI ZSUZSANNA (info@termvil.hu; 06-30-755-5691)



65 ÉVES AZ AMERIKAI ŰRHIVATAL

## A NASA és a magyar bolygó kutatás

A NASA-t (az Egyesült Államok Nemzeti Légiügyi és Űrhajózási Hivatalát) egy Eisenhower elnök által 1958. július 29-én meghirdetett törvény alapján hozták létre és idén október 1-jén ünnepli hivatalos működése kezdetének 65. évfordulóját. A világ legnagyobb űrügynökségének napjainkban mintegy húsz ezer alkalmazottja van és a 2023-as évre elfogadott költségvetése alapján 25,4 milliárd dollárból gazdálkodhat. Az űrkutatási szervezet az 1960-as évektől kezdődően az emberes űrrepülések mellett csodálatos eredményeket ért el a Naprendszer bolygótestjeinek űrszondás vizsgálata terén éppúgy, mint a Nap és a bolygóközi tér kutatásában. Több űrprogram során valósult meg az emberes űrutazások sora, melynek történelmi jelentőségű eredményei között eddig a legfontosabbak azok voltak, amikor az ember 1969-1972 között hat alkalommal is eljutott a Hold felszínére az Apollo holdexpedíciókkal. A folytatás is nagyon izgalmasnak ígérkezik: A NASA 2025-ben tervezi amerikai űrhajósok holdraszállását, a következő nagy célkitűzés keretében pedig a remények szerint már akár 2040 körül eljuthat az ember a Marsra is.

Kezdetben csupán néhány laboratórium és rakétakisérleteti telep tartozott az amerikai űrhivatal hatáskörébe, később azonban nagyobb telephelyeket olvasztva magába intézményrendszere napjainkra egy 20 létesítményt, köztük hat jelentős űrközpontot magába foglaló hálózattá fejlődött.

A NASA működését 10 űr- és kutatóközpont, valamint 10 egyéb létesítmény és intézmény szolgálja. A Maryland államban található Robert H. Goddard rakétatudósról elnevezett, 1959-ben alapított Goddard

Űrrepülési Központ volt a NASA elsőként létrehozott űrközpontja. A Nap és a Naprendszer, valamint az Univerzum tanulmányozására tervezett űrszondák és műszerek fejlesztése mellett a központ kutatói bolygók vizsgálatával is foglalkoznak. Megjegyzendő, hogy itt fejlesztették a 2021-ben a világűrbe felbocsátott James Webb űrtávcsövet is.

Az űrkikötő a floridai Kennedy Űrközpont (Kennedy Space Center, KSC), amely a hivatal egyik legfontosabb bázisa. Ez az űrközpont távol esik a lakott területektől

és a helyszín kiválasztásánál még alapvetően fontos szerepet játszott az Atlanti-óceán közelsége, amely lehetővé teszi az egyes újrafelhasználható rakétafokozatok viszonylagos épségben landolását és begyűjtését. Az űrsikló (Space Shuttle, a programok során használatos néven STS, Space Transportation System) rendszerének egyes részei szintén újrafelhasználhatók voltak, így például a szilárd hajtóanyagú tartályok is. Az 1981 és 2010 között szolgálatban lévő űrrepülőgép flotta többször felbocsátható modulokból állt, amelynek a költségkímélés szempontjából jutott fontos szerep, hiszen sorozatosan jóval olcsóbban lehetett embert és űreszközt feljuttatni a világűrbe, mint korábban.

A legtöbb indítás az Űrközpont Meritt Islanden lévő 39. számú indítóhelyének két padjáról történt, amelyek körülbelül 3 kilométerre vannak a hozzájuk tartozó szerelőcsarnoktól. A legendás 39-es számú szerelőtorony gyakran volt látható a tévé képernyőkön, mivel innét indították a történelmi holdutazások szereplőit, az Apollo űrhajókat is. Az űrrepülőgépek leszállóhelyét a kaliforniai Edwards Légibázison hozták létre, azonban a Kennedy Űrközpont-hoz tartozó területen is alakítottak ki egy leszállóhelyet, melyet megfelelő meteorológiai viszonyok teljesülése esetén rendszeresen használtak. Ha az űrrepülő az Edwards-bázison szállt le, idővel vissza kellett azt szállítani a floridai indítóhelyhez. A szállítás költsége elérte az egymillió dollárt.

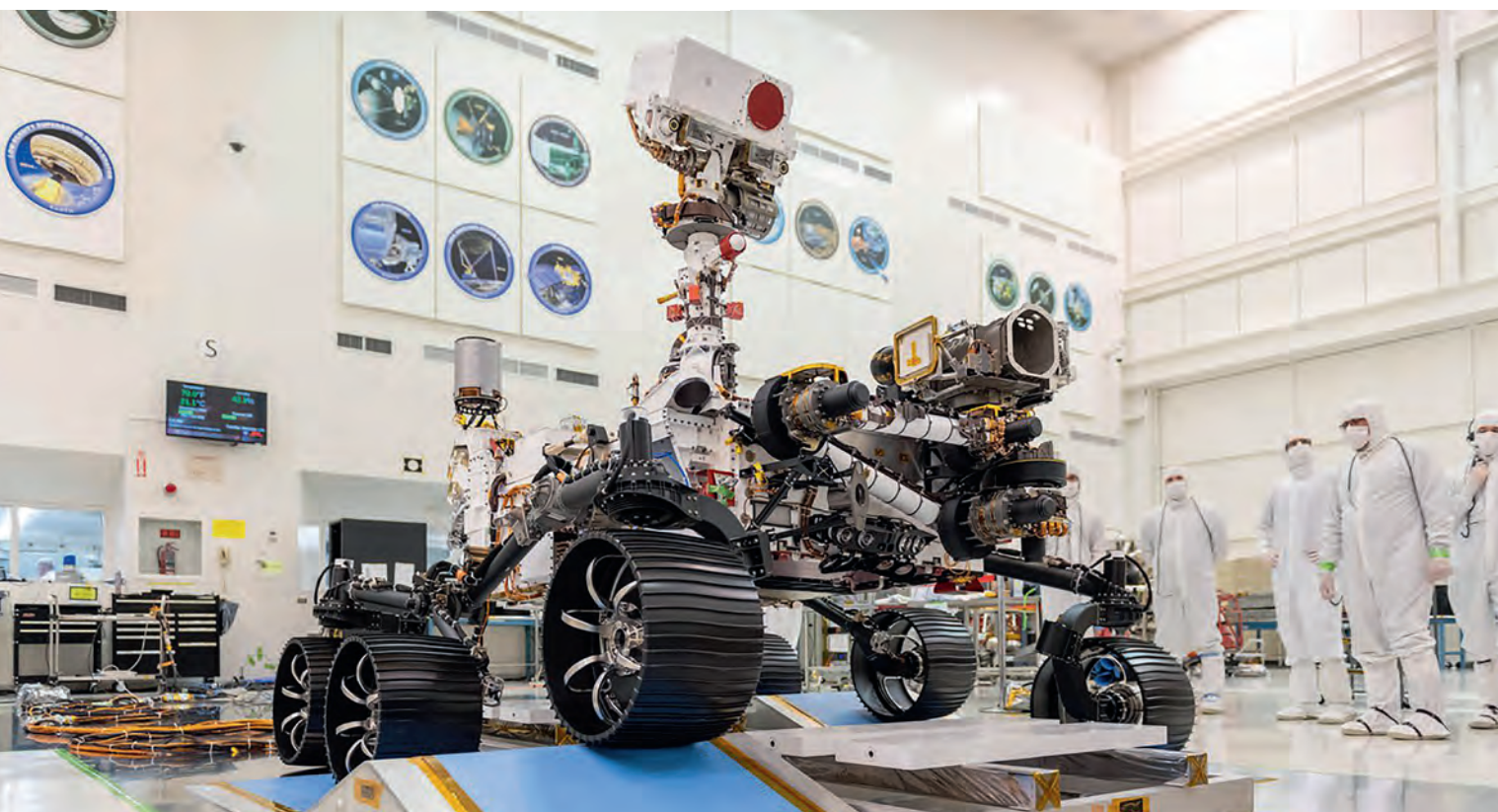
A texasi Houstonban található Johnson Űrközpont szintén fontos létesítmény a NASA kötelékében. Irányító központ, részben itt végzik az űrhajósok felkészítését

A Perseverance marsjáró fejlesztése a NASA JPL űrközpontjában, melynek egyik alapítója és az első igazgatója Kármán Tódor volt  
(Forrás: NASA)

az űrrepülésekre, emellett sokrétű kutatómunka és fejlesztő tevékenység is folyik a területén. Leghíresebb épülete a Mission Control Center, innen irányították az űrrepüléseket a Gemini-programtól kezdve. Az amerikaiak büszkék erre a történelmi jelentőségű központra, mivel a holdraszállásokat is innen irányították. Megjegyzendő, hogy a Johnson Űrközpont szerepelt az *Armageddon*, valamint az *Apollo-13* című filmek forgatási helyszínei között is.

A NASA Kaliforniában található Ames Kutatóközpontjának vezető szerepe van a szélcsatornás kísérletekben, a különféle asztrobiológiai, űrtudományi kutatásokban és az ezekhez kapcsolódó informatikai és technológiai fejlesztésekben. Itt készültek többek között a Pioneer-10 és a Pioneer-11 űrszondák, melyek elsőként hagyták el a Naprendszeret, de az űrközpont részt vett például a távoli, Földhöz hasonló méretű bolygókat kereső Kepler-űrtávcső kifejlesztésében is.

A kaliforniai Pasadenában lévő Jet Propulsion Laboratory (JPL, Sugárhajtási Laboratórium) kezdetben rakétafejlesztő laboratórium volt, később a NASA kötelékében tevékenységköre kiterjedt. A magyar származású áramlástannal foglalkozó mérnök, Kármán Tódor aktív szorgalmazója volt a megalapításának és 1938-1944 között ő töltötte be az igazgatói posztját elsőként. Az intézmény egyik fő profilja a bolygókutatási programok eszközeinek tervezése, építése. Az Explorer programtól a Voyager űrszondákon át a Szaturnusz és holdjait meglátogató Cassini-Huygens programig sokféle fejlesztés folyt a létesítményben. A JPL vezető szerepet játszott a NASA marsjáróinak, a Spirit, az Opportunity, a Curiosity, valamint a Perseverance



kifejlesztésében és tesztelésében. Több éves terepbejárás programjuk igazi mérföldkövet jelentett a marskutatóban, a marsfelszín részletesebb megismerésében.

### Nemzetközi kapcsolatok

A NASA több programban is együttműködött más országok űrkutatási szervezeteivel. A bolygókat, vagy földmegfigyelési célú együttműködések közül sorolunk fel most néhányat.

1998-ban kezdődött meg a Nemzetközi Űrállomás (International Space Station, ISS) építése, mely az országok közötti űrkutatási együttműködés egyik legszebb példája. Az űrállomáson számos különböző tudományos kísérletet végeznek napjainkban is. A fizikai, kémiai kísérletek mellett az élőlények – köztük az ember – életműködéseiben bekövetkező változásokat is vizsgálják a földközeli pályán megnyilvánuló mikrogravitációs környezetben.

Az amerikai-európai űrkutatási együttműködés máig az egyik legsikeresebb fejezete a Cassini-Huygens bolygókat kutató küldetés volt. Az amerikai Cassini űrszondával jutott el a Szaturnusz rendszerébe az ESA által épített Huygens szonda, mely az első ember építette űrszondaként szállt le a Titán hold felszínére. További érdekesség, hogy a több ország között hazánk is részt vett a Cassini programban, a KFKI-RMKI munkatársai műszerek megépítésével járultak hozzá a program sikeréhez.

A NASA, az ESA és a Kanadai Űrügynökségek (Canadian Space Agency) közös együttműködés keretében fejlesztették és működtetik az amerikai űrhivatal második igazgatójáról, James Webb-ről elnevezett infravörös űrteleszkópot. A JWST az eddig megépített legjobb űrtávcső a világon, tudományos programjának legfőbb céljai az első csillagok és galaxisok kialakulásának, a csillagok és a bolygórendszerek keletkezésének jobb megértése, valamint az élet lehetőségeinek kutatása. Bolygótranszit során a csillagfény áthalad a bolygó légkörén, a két színkép összeadódik, amiáltal meghatározható a bolygó légkör összetétele is. Az űrtávcsővel fel lehet venni egy csillaga előtt átvonuló, Földhöz hasonló bolygó légkörének spektrumát. Az igazán izgalmas eredmény pedig az volna, ha sok oxigént találnánk egy ilyen típusú planéta légkörében. Mivel a földi légkör magas oxigéntartalma is a növényi fotoszintézis terméke, a nagy mennyiségű oxigén egy exo-közetbolygó légkörében az élet jelenlétére utalhat.

A nemzetközi űrkutatásban való magyar részvétel elismeréseként az űrkutatás legkülönbözőbb területein dolgozó magyar szakemberek közössége Magyar Örökség Díjban részesült, melynek kiemeltjei: Kármán Tódor, Pavlics Ferenc, Bejczy Antal, Izsák Imre, Tófalvi Gyula, Almár Iván, Ferencz Csaba, Gschwindt András, Farkas Bertalan, Magyarai Béla és Charles Simonyi.

A planetológiához szorosan köthető több évtizedes kutatásban és ismeretterjesztésben, valamint a nemzetközi tudományos együttműködésekben ki kell emelni a SETI-hez kapcsolódó csillagászati, asztrobiológiai tárgyú kutatások témájában Almár Iván, valamint a Naprendszer bolygótestjeinek vizsgálata terén Illés Erzsébet munkásságát. 2008-ban az amerikai SETI League Almár Ivánnak ítélte oda a Giordano Bruno emlékdíjat, amely az idegen civilizációk tudományos kutatásáért adható legnagyobb elismerés.



Bérczi Szaniszló előadást tart az ELTE-én  
(Forrás: Bérczi Szaniszló)

Bár nem közvetlenül a bolygókat kutatás témájához köthető, de a nemzetközi kapcsolatok tárgyalásánál mindenképp meg kell említeni, a magyar szakemberek által megalkotott műszerek közül az űrhajósok sugárterhelésének mérése céljából fejlesztett Pille dózismérőt, valamint az első magyar műholdat, a Masat-1-et. Mindamellet, hogy a Pillét Farkas Bertalan használta az 1980-as repülése idején, a műszer továbbfejlesztett változatával dolgozott például Sally Ride, az első amerikai űrhajós is a Challenger űrsikló hatodik repülése során 1984 októberében. A dózismérő sikeréhez hozzátartozik az is, hogy legújabb változatát a Nemzetközi Űrállomáson is használják a sugárterhelés mérésére.

Közvetlenül a bolygótudományhoz kapcsolhatóak már az 1980-as években a Halley-üstököszt vizsgáló Vega űrszondák, valamint az ESA Rosetta névre keresztelt üstökös-kutató űrszondájának egyes magyarok által elkészített műszerei. Nemzetközi konzorciumi együttműködés

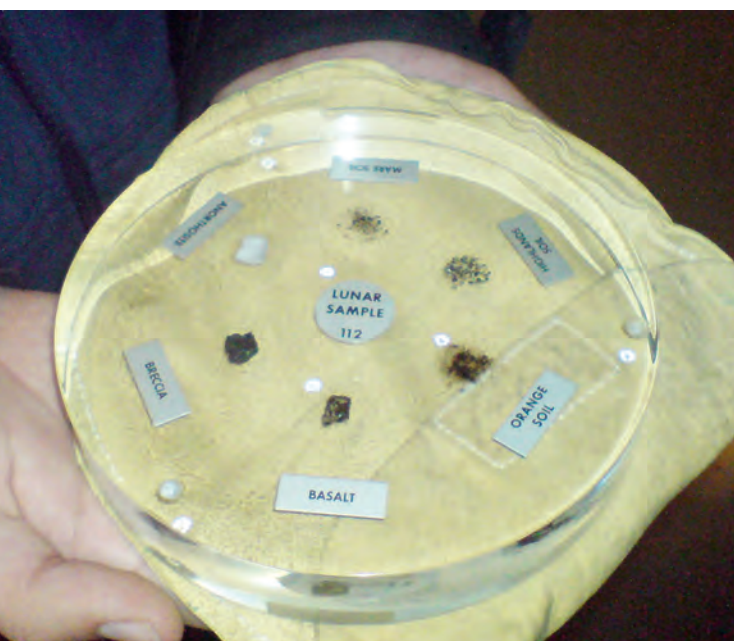
keretein belül magyar csillagászok is részt vettek a NASA Kepler és TESS exobolygókutató űrtávcsövek méréseihöz kapcsolódó kutatási programokban.

Az űrkutatási hivatal sokszínű tevékenysége a kutatás mellett az oktatás-ismeretterjesztés területén is megmutatkozik, így például az ilyen jellegű, sokrétű nemzetközi kapcsolatokban is jól tükröződik. Az évente megrendezett amerikai nemzetközi űrtáborban a MANT (Magyar Asztronautikai Társaság) szervezésében nyertes pályázatok útján magyar tanárok és diákok is több alkalommal részt vehettek. A nyaranta megrendezett űrtábornak az Alabama állambeli Huntsvilleben található Űr és Rakéta Központ (U.S. Space and Rocket Center) ad otthont, amely a NASA Marshall Űrrepülési Központjának hivatalos látogatóközpontja is egyben. Az intézmény a NASA elsőként, 1970-ben megnyitott látogatóközpontja, Alabama állam legkedveltebb látványosságai közé tartozik. A Marshall űrközpont pedig az amerikai űrkutatási hivatal egyik legrégebbi űrközpontja, itt fejlesztették többek között a Redstone, az Atlas, valamint a holdexpedíciókban szereplő Saturn V rakétákat.

### A bolygótudományi konferencia

A Johnson űrközponthoz csatlakozó Hold- és Bolygótudományi Intézet (LPI) a főszervezője az évente márciusban megrendezett Hold- és Bolygótudományi Konferenciának (LPSC), ahol elsősorban a planetológia különböző területein dolgozó kutatók tudományos előadások és poszter szekciók keretében ismerethetnek az új kutatási eredményeket. A konferencia a holdkutatás eredményeinek bemutatásával indult, az első fórumot 1970 januárjában Apollo-11 Holdtudományi Konferencia (Lunar Science Conference) néven szervezték meg. Az első találkozók a holdi kőzet és talajminták vizsgálatára összpontosítottak, majd

Az Apollo-expedíciókon a holdfelszínről begyűjtött NASA holdkőzetminta-gyűjtemény egyik darabja  
(Forrás: Schinágel András, Bérczi Szaniszló)



1978-ban változott a kongresszus neve Hold- és Bolygótudományi Konferenciára. Az LPSC az utóbbi években a világ legnagyobb, elsősorban planetológiai témájú konferenciájává vált, melyen évente több, mint 2000 bolygótudománnyal foglalkozó szakember és diák vesz részt a világ minden tájáról. Történetének több mint fél évszázada alatt a konferenciákon neves hold- és marskutatók vettek részt, de folyamatosan bemutatják eredményeiket a Merkúr, a Jupiter és a Szaturnusz, illetve holdjaik vizsgálatában, valamint a meteoritikában és a kisbolygó kutatásban kiemelkedő szerepet játszó szakemberek is. Az öt napig tartó találkozón elhangzó előadások a bolygótudomány területeinek széles skáláját lefedik.

### Magyar származású mérnökök és tudósok Amerikában

Az űrkorszak kezdeteinek bemutatásánál meg kell említeni Hermann Oberth, Magyarországon született erdélyi szász származású fizikust is, aki Werner von Braun meghívására 1955-1958 között aktívan részt vett az Egyesült Államok rakétafejlesztésében. Ez a program volt az előkészülete többek között a történelmi Apollo holdutazásoknak. Gera József, az 1956-ban Amerikába emigrált repülőtervező és fejlesztőmérnök vitathatatlán érdemeket szerzett az Apollo expedícióknál használt holdkomp fejlesztésében, melyet először 1969-ben, az első holdraszálláskor alkalmaztak. Egy háromtagú bizottság tagjaként feladata volt az Apollo-11 holdkompja vezérlésének elemzése közvetlenül a holdraszállás előtti fázisban. A repülőgépek repülésellenőrző rendszereinek, valamint a Gruman F-14 vadászrepülőgép kifejlesztéséhez is hozzájáruló Gera József 1962-ben került a NASA virginiai Langley Kutatóközpontjába, majd később a NASA kaliforniai Dryden Repüléskutató központjának munkatársa lett.

Kármán Tódor és mások mellett jelentős mértékben gazdagította a magyarok hírnevét Pavlics Ferenc az Apollo holdprogramokban használt holdautó főkonstruktor. Az általa vezetett mérnökcsoport által tervezett és kivitelezett holdjárművet első alkalommal az Apollo-15 küldetés során használták a holdfelszínen 1971-ben, és még ugyanezen évben Pavlics Ferenc egy NASA díjat vehetett át az Apollo program sikeréhez való hozzájárulásáért. Nyugdíjba vonulása után még évekig dolgozott tanácsadóként az amerikai űrkutatási hivatalnak.

Bejczy Antal robotikával foglalkozó magyar származású mérnök, fizikus, aki a NASA Mars Pathfinder küldetéshez a Sojourner marsjáró távirányítási technológiáját alkotta meg, mindemellett a kaliforniai NASA Jet Propulsion Laboratory-ban a több mint három évtizedes pályája során működött tanácsadóként

a marsjárók következő generációinak fejlesztésében. Munkássága során a houstoni Johnson Űrközpontból is kapott megbízást az űrrepülőgépeken használt robotkar-technológia kidolgozására.

### A NASA és a hazánkban élő magyar bolygókutatók

A következőkben néhány olyan magyar szakember pályáját mutatjuk be röviden, akik az utóbbi évtizedek során munkájuk révén rendszeresen kapcsolatban álltak a NASA-val, s több alkalommal személyesen is bemutatták kutatási eredményeiket a Hold- és Bolygótudományi konferencián.

A NASA az 1970-es években oktatási célból készített 20 példány, 12 vékonycsiszolatot tartalmazó holdkőzetminta-készletet. Bérczi Szaniszló érdeme, hogy ezekből a készletekből az Eötvös Lóránd Tudományegyetem is kapott kölcsönzésben, melyet oktatási és kutatási célokra használnak fel a felsőoktatásban. Az első kölcsönzési egyezmény 30 évvel ezelőtt született meg. A készletben megtalálhatók holdi felföldi kőzetek, mare bazaltok, breccsák, valamint talajminták is. A minták vizsgálati eredményeiről a magyar kutatók rendszeresen beszámoltak konferenciákon. Bérczi tanár úr a Magyarországon élő bolygó- és holdkutatókkal foglalkozó szakemberek közül az első volt, aki kapcsolatba került a NASA-val a Kádár-rendszer idején.

A NASA fotóanyagok és a vékonycsiszolat minták felhasználása és tanulmányozása többek között olyan, a hazai bolygókutatásban és a hozzá kapcsolódó oktatásban, ismeretterjesztésben alapműnek, illetve forrásműnek számító kiadványok megszületésében is fontos szerepet játszott, mint a *Planetológia* egyetemi jegyzet (Bérczi Szaniszló, ELTE, 1978), valamint a *Kristályoktól bolygótetekig* (Bérczi Szaniszló, Akadémiai kiadó, 1991) című kötetek.

A hazai bolygókutatás történetében fontos szerepet betöltő szakemberek között van Gucsik Arnold asztroásványtannal foglalkozó kutató, aki már több alkalommal is kivívta a NASA megbecsülését. Közülük is kiemelendő az az elismerés, melynek keretében az űrkutatási szervezet a kutatót a nemzetközileg elismert bolygókutatók (Distinguished Researcher) közé sorolta. Gucsik professzor az egyetlen magyar tudós, aki részesülhetett e rangos elismerésben. A Magyarországon élő kutatók közül ő volt az első, akit felkértek a Hold- és Bolygótudományi Konferencia egyik szekciója elnöki posztjára (2007).

Legtöbb esetben a Földön kívülről származó anyagminták spektroszkópiai vizsgálatával foglalkozó szakember kutatási „alanyai” között a bolygónk legkülönbözőbb területein hullott meteoritok mellett olyan

kisbolygóról (Itokawa) származó minták is megtalálhatók, melyeket japán űrszonda (Hayabusha-1) gyűjtött be. Az elmúlt három évtizedben a kutatóprofesszorként is dolgozó Gucsik Arnold azon kevés kutató egyike, aki többször is együttműködésben dolgozott a világ legnagyobb űrkutatási szervezeteivel: NASA, JAXA (Japán Űrügynökség), ESA (Európai Űrügynökség), és eddig egy alkalommal az Indiai Űrügynökséggel (ISRO) is.

A Magyarországon élő bolygótudományi szakemberek között sokrétű és kiemelkedő tudományos és ismeretterjesztő munkát végzett Keresztruri Ákos az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontja Asztrofizikai és Geokémiai Laboratóriumának vezetője. A planetáris geomorfológiával és kartográfiával foglalkozó Hargitai Henrik a NASA Ames Kutatóközpontjának munkatársaként 2015–2017 között a marsi Hellas medence keleti részének geológiai térképét készítette el.

A planetológiával és a vele szoros összefüggésben álló különféle kutatási területekkel foglalkozó magyar kutatócsoportok az utóbbi három évtizedben több alkalommal vettek részt az LPSC-n. Az elmúlt másfél évtizedben a cikk szerzője is rendszeresen bemutatta a planetológiához kapcsolódó kozmokémiai, asztroásványtani kutatási eredményeit a konferencián, és felszólalt a bolygók és a kozmikus anyagok kémiájához és ásványtanához kapcsolódó előadásokon. A több tízezer külföldi és az eddig már megjelent több tucat magyar közlemény a konferencia és az LPI (Lunar and Planetary Institute) honlapján érhető el.

Gucsik Arnold a NASA-JAXA közös programján Uchinoura-ban (Kyushu, Japán) (Forrás: Gucsik Arnold)





A NASA történelmi 39A indítóállása

A cikk szerzője a Johnson Űrközpontban  
(Forrás: Futó Péter)

## Új kutatási irányok

A planetológiával szoros összefüggésben lévő kutatók új irányai egyrészt a Naprendszer objektumainak alaposabb vizsgálatához és bolygórendszerünk fejlődésének jobb megértéséhez, másrészt pedig a más csillagok körül keringő bolygók tanulmányozásához kapcsolódnak. Ez utóbbiak közé tartoznak például a felfedezett bolygórendszerekben a bolygópályák konfigurációjának, a bolygótetek kémiai, ásványtani összetételének vagy a naprendszerbeli és az exobolygórendszerekben található planetáris testek összehasonlító planetológiai vizsgálata. Komparatív vizsgálatok végezhetők az egyes bolygórendszerek szerkezeti sajátosságai, valamint a bolygók és a Naprendszer bolygóinak legfontosabb jellemzői között például a Kepler és a TESS űrtávcsövek adatainak felhasználásával. Nagyon ígéretesnek mutatkoznak a James Webb űrtávcső képességei is az exobolygók légköri spektrumainak vizsgálatában.

A Naprendszer égitestjeinek alaposabb vizsgálata mellett a XXI. század következő évtizedeiben az élet utáni kutatás nagy valószínűséggel intenzívebbé válik majd az exoközetbolygók és a gázóriások holdjainak vizsgálatában, mely utóbbiak a remények szerint a technológiai fejlődéssel bizonyos mértékig szintén tanulmányozhatók lesznek. Az új kutatási területek legtöbbje már napjainkban is jól illeszkedik a Hold- és Bolygótudományi Konferencián meghirdetett szekciók valamelyikének témájához. Az új kutatási területek jelentőségének felértékelődése pedig új témájú szekciók nyitását is magával hozhatja.

A remények szerint a magyar kutatók a következő évtizedekben ismét részt vehetnek majd kisbolygók, üstökösök anyagából származó minták elemzésében, továbbá magyar kutatóhelyek kapcsolódhatnak be majd a bolygók, holdak vagy a Naprendszer távolabbi vidékein található Kuiper-objektumok valamelyikéhez küldött nemzetközi űrmissziókban a műszerfejlesztésekbe.

A naprendszerkutatáson és a hozzá kapcsolódó technológiai fejlesztéseken túlmenően az új kutatási irányok valamelyikéhez kötődő területen is nagy valószínűséggel folytatódik majd a nemzetközi kutatómunkákban a magyar részvétel.

FUTÓ PÉTER

**Nyitóképen:** A nagy szerelőcsarnok a Kennedy Űrközpontban (Forrás: NASA)



ŐRZŐKUTYÁKKAL ÉS VILLANYPÁSZTORRAL VÉDEKEZNI

## Farkas a valóságban

Lupus in fabula, mondta a latin, farkas a mesében. Az az M237 jelű egyed, ami megtette a svájci Surselva régió és Hidasnémeti közötti kétezer kilométert, ahol kilőtték, a legkevésbé sem a mesében volt, hanem a valóságban. Milyen az ember s a farkas viszonya? Hogyan tud a két csúcsragadozófaj együtt létezni, vagy együtt élni – a különböző szakemberek különböző kifejezéseket használnak –, hogyan lehetséges ott juhokat, szarvasmarhákat legeltetni, vadgazdálkodni, természetet járni, túrázni, ahol farkasok élnek? Mi a farkas szerepe egy ökoszisztémában? Egyáltalán, milyen a farkasok jelene és az előrelátható jövője Magyarországon? Ezekről és egyebekről kérdeztük a téma szakértőit.

A trianoni békediktátummal létrehozott Magyarország területén száz évvel ezelőtt nem volt szaporodó farkaspopuláció – mondja prof. Heltai Miklós, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézetének igazgatója. Ehhez nemcsak a korábbi üldözés, az ebből adódó állománycsökkenés járult hozzá, hanem az is, hogy a megmaradt területeken alig volt erdő, mely megfelelő élőhelyet biztosított volna számára. 1920-ban az ország alig tíz százaléka volt erdősült; ma több mint kétszer annyi. Ugyanakkor szórványos farkasészlelések, illetve elejtések mindig is voltak – elég csak Fekete István

*Téli berek* című könyvére visszaemlékezni, melyben Matula elmondja Tutajosnak, hogy kemény teleken a farkasok bizony át-átjönnek a Dráván, s megjelennek a Berekben. Fekete István ezt semmiképpen sem írta volna le, ha nem lett volna igaz. A '70-es évektől pedig az Északi-középhegységben, a '80-'90-es években Bács-Kiskun megyében, a telepített erdős területeken voltak ismert előfordulások. Az elmúlt száz évben szinte nem volt olyan esztendő, amikor egy-egy farkasészlelés ne lett volna, és a nyolcvanas évektől hol a Bácskában, hol az Északi-Középhegységben szaporodott ez a nagyragadozó.

## Sokrétű ökológiai hatás

S hogy milyen ökológiai hatása van a farkas jelenlétének egy adott terület állatállományára? Sokrétű hatásokról beszélhetünk, amelyek kiterjedhetnek a prédafajok viselkedésére, területhasználatára, és akár az állományuk nagyságára is. A nagyragadozó jelenléte hathat a közepes- vagy kistestű ragadozófajokra is. Pozitívan: a prédamaradvány táplálékot jelenthet a kisebb testű ragadozóknak; s negatívan: a kisebb testű ragadozó könnyen válhat zsákmányává a nagyobb testűnek. A kis- és közepestestű ragadozófajok állományváltozása pedig az általuk fogyasztott prédafajokat befolyásolhatja. Ahogy egyébként a nagy testű növényevő fajok területhasználatának változása az élőhely flórájára gyakorolhat hatást.

És az emberre milyen hatása van a farkasnak, illetve viszont? Az együtt létezésnek az alapja egymás kölcsönös tisztelete. Egy nagyragadozóval nem lehetséges az együtt létezés, ha az nem tart az embertől. Akkor, ahogy azt már most is láthatjuk, óhatatlanul az ember közelében is meg fog jelenni a farkas, és az emberre közvetlenül negatív hatást gyakorolhat. Nem véletlen, hogy egyre több európai országban könnyítik meg, illetve engedélyezik a farkas vadászatát. A vadászat, ha az jogszerű és etikus, nem veszélyezteti a farkas állományát, ugyanakkor hozzájárul az egyedek félelemérzetének kialakulásához, s így az ember, az emberi települések elkerüléséhez. Magyarországon fokozottan védett faj a farkas, és folyamatosan növekszik az állománya, s elterjedési területe is. Terjeszkedése nem új jelenség, hanem egy több évtizedes folyamat része, és a jelenlegi ismereteink szerint ez az állománynövekedés folytatódni fog. Ezt elősegíti, hogy a farkas kiválóan tud alkalmazkodni az ember által erősen zavart környezethez is.

## Nem rendkívüli a hosszú vándorlás

S vajon miként lehetséges az, hogy e nagyragadozó olyan óriási távolságokat tegyen meg vándorlásai közben, mint a „svájci farkas”? Ilyen nagy elmozdulások előfordulnak, nemcsak a farkas, de más ragadozók esetében is. Csak éppen sokáig nem rendelkezünk megfelelő eszközökkel (műholdas nyakörv) arra, hogy ezt nyomon kövessük. Ezeknek a vándorlásoknak, kóborlásoknak, helykereső magatartásformáknak a miértjét sokszor nem tudjuk megmagyarázni. Vannak ismert jelenségek, például gyakori, hogy a fiatal kanok új territóriumot keresnek maguknak. De hogy ebben az esetben erről volt-e szó, vagy másról, azt senki nem tudja. Csak a jelenséget ismerjük. Pontosabb válasz akkor lenne adható, ha sokszor egymás után észlelhetnénk, mérhetnénk, esetleg tesztelhetnénk ezt a viselkedési formát – fejezi be a professzor.

Most pedig lássuk, mi mindent tudnak tenni az ember-farkas ellentét tompításáért, megszüntetéséért a természetvédelmi szakemberek! A WWF Magyarország természetvédelmi szervezetnek külön programja van a hazai nagyragadozókkal (farkas, medve, hiúz) kapcsolatban, melynek keretében a nagyragadozókkal kapcsolatos ember-vadvilág konfliktusok feloldását igyekeznek elérni, hogy „minden félnek jó legyen”. Mint Sütő Dávid, a nagyragadozók-program vezetője elmondta, a program kiemelten foglalkozik a farkasokkal, részint azért, mert a farkas rendelkezik a legnagyobb állománnyal a három nagyragadozónk közül – ez mintegy hatvan-hetven egyed jelent –, részint pedig, mert Európában és így nálunk is jellemzően a farkas a „legkonfliktusosabb faj”. Az, hogy a '40-es, '50-es évektől a 2000-es évek elejéig szinte eltűnt a faj az országból, arra éppen elég volt, hogy az emberek elfelejtsék, milyen az, amikor nagyragadozókkal kell együtt élni.



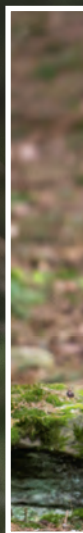
### Növekszik a nagyragadozó-szám

Az utóbbi évtizedek változásainak — az erősödő természet- s környezetvédelemnek, a hazainak és a nemzetközinek egyaránt, az erdőszültség növekedésének, a vidéki élet megváltozásának, az extenzív állattartás intenzívebbé válásának, így a hegyvidéki legeltetés visszaszorulásának, tehát különböző ökológiai s szociológiai változásoknak köszönhetően nemcsak nálunk, de egész Európában elkezdett növekedni a farkasok és más nagyragadozók száma, s visszatérésük nem feltétlenül konfliktusmentes. Kihívást jelenthet a használatlaltartóknak és a vadgazdálkodóknak egyaránt. A használatlaltartók esetében a kihívás az, hogy a korábban megszokottakhoz képest másképp kell gazdálkodniuk, ha el akarják kerülni a farkas predációját. A vadgazdálkodók esetében pedig az lehet a konfliktusforrás, hogy a farkasok jelenléte „versenyársat” jelent számukra, illetve hatással lehet a vadállomány viselkedésére is. Egyes területeket a farkas miatt többé-kevésbé elkerülhetnek az állatok, mert tartanak a nagyragadozóktól. Ez egyébként teljesen természetes jelenség, az erdőfelújulás szempontjából pedig még kedvező is, hatására ugyanis változatosabbá válhatnak az élőhelyek,

sikeresebben újulhatnak fel az erdők. Mindenesetre a jelenség megnehezíti a vadásztatást, előfordulhat, hogy az állatok nem a megszokott módon, hanem szokásaiktól eltérően fognak viselkedni. Sőt olykor a turizmusra is negatívan hathat a farkasok jelenléte, a faj körül ugyanis továbbra is sok a tévhit, néhányan pedig még mindig félnek ezektől az állatoktól. Fontos azonban megjegyezni, a farkasok jelenléte nem jelenti azt, hogy ne túrázhatnánk, ne kirándulhatnánk az erdőben. Ezek az állatok ugyanis jellemzően óvatosak, tartanak az embertől, s ha időben észlelnek minket, messze kitérnek az utunkból. Ha normál hangerővel beszélgetve túrázunk a kijelölt ösvényeket használva, minimálisra csökkentettük egy konfliktus kialakulásának az esélyét.

### Hogy mindenki jól járjon

Amit a WWF Magyarország tenni tud ebben a helyzetben: igyekszik a konfliktusokat csökkenteni, hogy mindenki jól járjon, emellett pedig



a társadalmi szemléletet formálni, fellépni a fajjal kapcsolatos különféle tévhitekkel szemben. A szervezet felhívja a figyelmet, hogy léteznek megoldások, amelyek a haszonállattartóknak segítségére lehetnek: nagy testű őrzőkutyák, például a kuvaszok alkalmazása – mely kutyákat éppen az ilyen helyzetek „kezelésére” tenyésztettek ki sokszáz évvel ezelőtt –, plusz a jól kiépített és karbantartott, többsoros villanypásztorok használata nagymértékben csökkentheti a farkas okozta károkat. A WWF Magyarország s a gazdálkodók együttműködésére példaképpen meg lehet említeni a Zempléni-hegységben a Haluska István állattartóval



való kapcsolatot. Ő egyszersemind erdészeti munkát is végez, emellett vadászik is, és az említett módon védi meg sikeresen állatállományát olyan környezetben, amelyben farkasok előfordulnak. A példákat még sorolhatnánk; minden megoldás jobb annál, mint hogy a farkasok illegális kilövések áldozatai legyenek, melyek mögött éppen a kezeletlen ember-vadvilág konfliktusok állnak, és amelyeket a legtöbb esetben szinte lehetetlen bizonyítani. A megoldási lehetőségekre többek között lakossági fórumokon irányítják rá a figyelmet a WWF Magyarország szakemberei, ugyanitt az érdekelteknek lehetőségük van tapasztalataik megosztására, amiből mindenki tanulhat. Ilyen fórumokra sokszor hívják meg a természetvédelmi szervezetet, például a Mátra vagy a Bükk vidékén – vagy éppen maga a WWF Magyarország szervez rendezvényeket. A szervezetet s törekvéseit az említett térségekben élők egyre jobban ismerik, éppen a nagyragadozók-program révén.

### Ismeretterjeszteni kell

Hidasnémeti, melyhez közel a „svájci farkas” műholdas nyakörvét megtalálták a Hernádban, az Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság területén fekszik. Itt mintegy

20-25 egyed tartózkodhat, de a farkasok gyakran elhagyják a nemzeti park területét, átmennek például a szomszédos Bükki Nemzeti Park Igazgatóság területére, vagy éppen Szlovákiába – tájékoztat Szabó Ádám, az Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság zoológiai szakreferense, aki megtalálta az M237-es jelű állat nyakörvét a folyóban. Ő az ember-farkas konfliktus legmeghatározóbb elemének az orvvadászatot, az illegális farkasejtéseket tartja. A vadászoknak semmilyen körülmények között nem szabad farkast elejteniük Magyarországon, és még nem volt bírósági ítélet amiatt, hogy valaki farkast lőtt volna. De erős a gyanú, hogy „nem kerek a történet”, viszonylag gyakran tűnnek el állatok olyan helyeken, ahol rendszeresen tartózkodtak, s lehet, hogy elejtés áldozataivá váltak – mondja a szakember, aki már orvvadászok által kihelyezett hurokban elpusztult farkast is talált.

Mit lehet a jelenség ellen tenni? Ismeretterjeszteni kell, igyekezni meggyőzni a vadászatra jogosultat, a vadgazdálkodót, a vadászterület bérlőjét arról, hogy számára a farkas nem okvetlen konkurencia, és nem ellenfél. A farkas a vadállománynak, a természetnek a része, s ezt tudomásul kellene vennie a vadásztársadalomnak. Ez nem egyszerű dolog, és évtizedekig is eltarthat a folyamat.

Meg kell ismerni e faj természetben betöltött helyét, szerepét, meg kell tanulni tisztelni ezt a fajt. Nem pánikot kelteni, nem gyűlölni: tisztelni kell, és akkor lehet vele úgymond együtt élni. Lehet a farkas territóriumán belül állatot tenyésztetni, erdő- s vadgazdálkodni. A farkas általában a beteg, sebesült, legyengült, rosszabb kondíciójú vadakat ejti el, amelyeket a vadászoknak úgyszólván ki kellene selejtezni; természetesen az óvatlan, figyelmetlen vad is prédájává válhat. A haszonállattartás pedig őrzőkutyák – kuvaszok –, illetve megfelelő villanypásztorok alkalmazásával megoldható. Nem tudok olyan esetről, hogy akinél vannak őrzőkutyák, ott farkas okozta káresemény történt volna – mondja Szabó Ádám. Hozzáteszi: a természetjárás, a turizmus sem jár veszéllyel a farkasos területeken az ember számára. Arra egyébként volt már eset, hogy kirándulók fényes nappal farkast láttak a nemzeti parkban, de ez nem jellemző; húsz-harminc méternél közelebb nem engedi magához a farkas az embert, elfut előle.

S mi a farkas jövője hosszabb távon Magyarországon? Amíg a jelenlegi mértékben nő a nagyvadállomány – például a gímszarvasok – állománya, addig várhatóan a farkas is tovább fog szaporodni – mutat rá a zoológiai szakreferens.

Mindezek persze – tehetjük hozzá – a lelőtt „svájci farkason” mit sem segítenek. Farkas, farkas, te szegény M237-es jelű egyed! Jobban titted volna, ha a vándorlás valósága helyett a mesében maradsz.

FARKAS CSABA



A KELETI KERESKEDELEMRŐL

## Hagyományos árucserreformák

A keleti civilizáció, a kereskedelem fejlődése összefügg a Kína-Kelet-Turkesztán-Pamír-Perzsia-Európa útjait összekötő nagy nemzetközi árucserforgalmat bonyolító útvonallal, a híres Selyemúttal. A Selyemút elnevezést először a német geográfus, Ferdinánd von Richthofen használta 1877-ben. A Kelet-, Dél-, és Nyugat-Ázsiát Európával és Észak-Afrikával összekötő útvonal időszámításunk előtt a II. századtól már létezett és élénk forgalmat bonyolítottak rajta. A Selyemúton folyó kereskedelem fontos szerepet játszott Kína, Egyiptom, Perzsia, Arábia, India, Róma és Bizánc, a nagy civilizációk fejlődésében. Nem állandó útvonal volt, hiszen első a karavánok biztonsága volt, de volt néhány bejárattott fontosabb út szárazföldön és bizonyos tengeri szakaszokon is. A karavánok rakományában nemcsak selymet, hanem mezőgazdasági terményeket, fűszerféléket, kerámiát szállítottak, és nemcsak árucserforgalom, hanem az érintett országok kulturális migrációja is ehhez az útvonalhoz kapcsolódott.

## Karavánszerájok

A szárazföldi kereskedelem fellendülése a muszlim országokban a mekkai zarándoklatokkal is kapcsolatba hozható, hiszen az évente ismétlődő zarándoklatok óriási tömegeket mozgósítottak, amelyek ellátásához töméntelen mennyiségű árura, főleg élelmiszerre volt szükség. Az muszlim országok kereskedelme A VIII-X. századra óriási fejlődésen ment át. A kereskedelmi útvonalak behálózták Kis-Ázsiát, az Arab-félszigetet és Észak-Afrikát. A bagdadi kalifák a X. században elrendelték, hogy a mekkai zarándoklatra indulók nagy csoportokba verődve, karavánokkal utazzanak.

A karavánutak mentén *karavánszerájok* épültek, ahol az utazók megpihenhettek, feltölthették megfogyatkozott készleteiket és áruik egy részétől is megszabadulhattak. A karavánszerájokat egymástól 30 km távolságra építették, ennyit lehetett megtenni 6 óra alatt. Hatalmas raktárak tartoztak hozzájuk. Ezek a kőből épült hatalmas raktárak embernek, állatnak szállást is adó épületek lassan kereskedelmi központokká lettek. A nagykereskedők itt raktározták és árulták a feldolgozatlan áruikat és adták tovább a helybéli kiskereskedőknek. A nemzetközi kereskedelmi utak mentén hatalmas városok jöttek létre, kialakult az árucere-forgalom intézményrendszere. A törökországi karavánszerájok többségét a szeldzsuk korban, a XIII. században építették, de jelentős számú szeráj épült a XV-XVI. században is. Az Oszmán Birodalom

A XVI. században épült karavánszeráj Nigdében



nagyon ösztönözte a kereskedelem fellendítését, így gombamód szaporodtak a kereskedelmi utak mentén az embernek, állatnak és a rakományoknak biztonságot adó *karavánszerájok, hánok*. A két épületfajta elnevezését olykor szinonimaként is használják, mégis a legszembeötlőbb különbség közöttük az, hogy a karavánszerájok a pusztákon keresztül futó utak mentén levő épületkomplexumok, általában négyszögletű, nyitott udvarú, míg a hánok a városokban, többnyire fedett udvarral ellátott építmények voltak. Többségüket ma is rendeltetésszerűen használják, a kereskedelem szolgálatában állnak.

## Hánok

Kezdetben csak szerájok, később azokon kívül is óriási raktárépületek épültek, melyeket *funduq*nak vagy *hánok*nak neveztek. Ezek a *hánok* nagy kiterjedésű udvarokat zártak közre, két-három emeletes közraktárak, melyeket fedett átjárók kötöttek össze. A hánok nemcsak raktározták az árukat, hanem egymással is árucere-kapcsolatban voltak. Az aleppói üvegedényeket a szíriai termékekkel együtt damaszkuszi kereskedők árulták, az Indiából származó ámbra, a fűszerek és értékes faanyagok az egyiptomi kristályüvegekkel és szövetekkel egyiptomi zsidók hánjaiban halmozódtak. A közepes nagyságú városokban a hánok száma száz alatt lehetett, de a nagyvárosokban, amilyen pl. Kairó vagy Bagdad, melyek a muszlim hitélet és kereskedelem

Sadrazam Öküz Mehmet pasa jó kereskedő és karavánszerájépíttető volt az Oszmán Birodalomban. A hálás utókor szobrot emelt neki.





szervezésének központjaivá váltak, a hánok száma is több száz lehetett. A hánok a tőzsde szerepét is betöltötték, áraikat a mindenkori kereslet-kínálat határozta meg. A Koránban lefektetett törvények szerint az állam csak háború vagy éhíség idején avatkozhatott az árak szabályozásába, akkor is csak az alapvető élelmiszerek – kenyérgabona, datolya, olaj – esetében. Forgalmuk kiváltképp a zarándokútra induló karavánok összevörösödésének idején nőtt meg, több tízezer embert kellett főleg élelmiszerral ellátniuk. A leggazdagabbak minden bizonnyal a kézművesek, ékszerészek, kelmeárusok hánjai voltak. Népes kiszolgálószemélyzet, teherhordók, árukezelők, kutyás éjjeliőrök biztosították a zavartalan kereskedelmet és az áruk biztonságos őrzését.

Ankara a XV. századtól már jelentős kereskedelmi központ volt, bár csak a XX. században lett Törökország fővárosa. Középkori épületei kiváltképp a vár környékén, a város történelmi magjában megmaradtak, s többségük ma is a kereskedelem szolgálatában áll, vagy múzeumnak ad otthont, mint pl. Ankarában, a Mahmut Paşa Bedesteni (1464-1471 között épült) és a Kurşunlu Han ugyanebben az időben egymás mellett épült komplexumokban ma a Régi Anatóliai Civilizációk Múzeumának régészeti gyűjteményét helyezték el. Ezekén kívül Ankarában több hán is található, így az 1522-23-ban épült Çengel Hant, az 1590-ben épült Sulu Paşa Ankaralı Hant, a XVI-XVII. században épült Çukur Hant, és a velük azonos időben épített Pilavoğlu Hant, a Kibris Han-t, a XIX. században emelt Yıldız Hant, a Yeni Sarayt, melyek máig állják az idő próbáját.

A nagyvárosokban, kikötők mellett vásárokat rendeztek, ahol főleg a gabona, datolya, olaj, szőnyeg, aszalt gyümölcs, sózott hal, szappan és faárúk cseréltek gazdát. A vásárokat a városok központi helyén a nagy forgalmú tereken vagy kikötők szomszédságában rendezték. A török nyelv perzsa eredetű jövevényszóval, (*pazar*, *bazar*) jelöli a vásártartásra kijelölt napot. Hagyományos a keddi (Salı pazarı) és a csütörtöki (perşembe pazarı) vásár. Sok településen még a középkorból földrajzi névként maradt fenn a vásártartás napja, feltehetően a vásár köré szerveződött a település. Törökországban, a Fekete-tenger partvidékén Salıpazarı és Perşembe nevű falvakat találunk, de pl. Alanya egykori vásárterének neve Cumalıpazar, ami most a városszél neve is egyben. A törökök hagyománytisztelét jellemzi, hogy ma is boltokkal, műhelyekkel teli a tér, tehát századok óta „rendeltetésszerűen”

- ▲ Erzurum egyik hánja
- ▲ Karavánszeráj Erzurumban
- ◀ A sivasi bedeszten egyik boltjának bejárata



- ◀ Bedeszten boltja
- ◀ 1522-23-ban Ankarában épült hánma Közlekedési Múzeum
- ▼ Cumalıkızık piaca

használják. Minden bizonnyal a hét utolsó napja is vásártartási nap volt, onnan a neve is: *pazar*... A vásári forgatag, az árubőség és az állandó vásárhelyeken jöttek létre a keleti kereskedelmet leginkább jellemző *bazárok*.

Eredetileg fedett utcasorok voltak ezek a bazárok, amelyekre kétoldalt nyíltak az üzletek. Elsősorban az éghajlattól függött, hogy milyen formában alakították ki a bazárokat. Ali Mazahéri X. században élt utazó feljegyzéseiből tudjuk, hogy a középkorban Iránban, Turkesztánban, a Kaukázuson túli vidékeken, Afganisztánban és Mezopotámiában a bazárokat boltíves tetőkkel borították, de Szíriában és Egyiptomban, ahol kevés a csapadék a gerendákra terített gyékényszőnyeg is megtette. A Kaspi-tenger és a Fekete-tenger partvidékén nyitott bazárokat építettek, de szélesre hagyott eresz védte a járókelőket az esőtől.

Törökország területén ma is megtalálható mindkét forma. A csapadékos vidékeken a fedett bazár jellemző, míg Belső-Anatóliában a nyitott bazár. A boltok és a kézműves műhelyek együtt épültek, amolyan „műhelyboltok” alakultak ki, ahol a vásárló láthatta a készítés folyamatát és a már meglévő termékeket is. Szinte „kéz alól” vehette meg a portékát. Mái is így működik Törökország-szerte, megvalósítva ezzel az árutermelés és a kereskedelem komplex egységét. A bazárok ilyen módon rendszerint egy-egy szakma, céh kézműveseit és kereskedőit fogták össze. Valóságos utcasorokat alkottak a különféle mesterségek és üzleteik. Javarészüket szinte érintetlenül megőrizte az idő, szinte történelmi utazáson vehet részt ma az, aki Sivas, Ankara vagy más belső-anatóliai nagyváros XII-XVI. században épült bazárjaiban sétál. Előfordul olykor, hogy a városrendezési tervek miatt módosult az utcakép s már csak egy-egy mesterségről elnevezett utca őrzi a hajdanvolt kézművesek utcájának, műhelyboltjainak emlékét. Általánosan elmondható, hogy a nagy bazárok a települések központjában jöttek létre, köréjük telepedtek a különböző szakmák, pékek, peccenyésütők, italárusok bódéi. A szakmánkénti tömörülés nemcsak az árak, hanem a minőség ellenőrzését is szolgálta. A kontárokat nem tűrték maguk között, szigorúan büntették is őket. Apróbb csalások, trükkök azonban mindig voltak, pl. az aranyművesek finoman „ráleheltek” a mérlegre, vagy viaszt ragasztottak a serpenyő aljára, hogy többet nyomjon az áru.



### Mértékegységek kavalkádja

A súlyok sem voltak feltétlenül egységesek. Előfordult, hogy városenként, sőt mesterségenként változott. Például a *ratl* Mekkában 120 dirhem (1 dirhem=3,28 g), Kairóban 440, Bagdadban 130, Damaszkuszban 600, Aleppóban 720, Konstantinápolyban 120, az Eufrátesz-parti Harranban 720, Jeruzsálemben 800 dirhemmél volt egyenértékű. A szabvány szerinti *könyök* hat ujjnak felel meg, (Egy ujj 6 egymás mellé tett árpaszem szélessége, egy árpaszem viszont 6 egymás mellé fektetett öszvérfarokszőrrel volt egyenlő szélességű. Annak ellenére, hogy a mértékegységeket hitelesítették, a fémek ötvözetét szabványok írták elő, nem kevés bonyodalom származott a számításokból, bőven akadt dolguk a bazárok rendfenntartóinak.

### Bedesztenek

A korabeli feljegyzések közül a legbecsesebb Dernschwam Jánosé, aki az erdélyi sóbányák igazgatójaként 1553-55 között a Verancsics Antal vezette követséghez csatlakozva leírja, hogy a kereskedőudvarok, vámházak, boltok, szatócsbódékon kívül Konstantinápolyban *bedesztenek* is vannak: "... a bedesztennek nevezett két nagy kereskedőcsarnokot, amelyet a császár kőből építtetett és boltoztatott, amelyekben mindenféle aranyholmit és selyemárukat árulnak (...) ennek a két kereskedőháznak nincsenek felül boltozatai csak négy faluk áll és középen néhány pillér és elválasztó fal, két szintben, erős kváderkőből; a templomokhoz hasonlóan ezeken nyugszik a boltozat; az ablakok a magasban vannak. És a falak mentén minden árusorban magasított dobogók állnak, melyek másfél bécsi rőf magasak, kifelé pedig két rőf szélesek, miáltal hat ember egymás mellett elfér a piaci árusorban. (...) Ez a két kereskedőcsarnok a legelőkelőbb egész Konstantinápolyban, bennük sok-sok országból érkezett mindenféle selyemholmit árulnak a különböző nemzetiségű kalmárok." Az isztambuli fedett bazár elődjéről van szó. Minden bazársoron megtalálható a nyaláncságok szentélye, az édességbazár, ahol *helvát* és más keleti édességet lehet kapni, *mézes ostyát*, *cukorkát*, *gránátalmával*, *gyömbérrrel ánizzsal ízesített* finomságokat árulnak.

A hitéletet biztosító meszid – imaház a Suluhan udvarán Ankarában ▲

A XVI. századi falu, Cumalikizí egyik korabeli háza, előtte az eladásra kínált portéka. Szinte az egész falu egy nagy zsigbvasárra hasonlít. ▲

Fűszerbolt az ankarai bazárban ▲



## Piac



A török árucserét tekintve nincs olyan éles határ a bazár és a piac között, mint gondolnánk. Ha meg kellene fogalmaznunk a különbséget, azt mondhatnánk, hogy a bazár az értékes és kézműves műhelyboltok, a piac pedig az idényárak, kommersz termékek árucseréjének színhelye, kerete. A vásár és bazár fogalma többé-kevésbé napjainkban is fedi egymást.

A piacot *çarşı* névvel illeti a török nyelv, ami perzsa eredetű szó, négy oldalú teret jelent, ahol boltok, bódék található. A piactartás idejét nem szabályozták, emberemlékezet óta a városokban exponált helyen minden nap tartanak piacot, ahol szezongyümölcsöt, zöldségfélét sajtot árulnak. A falusi termelők ide hozzák portékáikat, a nomádok a kecskebőrtömlőbe ömlesztett sajtjaikat. Jól elkülönítik az élelmiszer – és takarmánypiacot az állatpiactól, ahol éppúgy árulnak nyergelni való szamarat, áldozati állatnak szánt juhott, mint asztalra való szárnyast. A középkor óta a keleti városokban a bazárok, vásárok, szabadtéri piacok, szatócsboltok mellett sajátos színfoltot jelentettek a vándorkereskedők, akik apró csecsebecsét, olcsó árukat kínálva rótták az utcákat. A hűtőszekrények megjelenése előtt jégárusok lepték el az utcákat és a vízárusokhoz hasonlóan nagy segítséget jelentettek a háztartásoknak. A vízárusok a folyókból, a városokat összekötő vízvezetésekből töltötték fel és hangosan kiabálva árulták a vizet, aminek nagy becsülete van a forró-égövi országokban. Georgievics Bertalan, *Egy fogoly útja Törökországban* címmel 1526-39-ben írt feljegyzésében írja: „A víznél nincs nagyobb kincs a forró éghajlatú országokban. Különösen a kora-középkori zarándoklatok idején nőtt meg az értéke, amikor a zarándokút vonalba eső városok lakossága többszörösére duzzadt.” Ali Mazahéry pedig arról ad hírt, hogy „1011-ben az utazás ideje alatt egy pohár víz kétszáz ezüstbe került; 1012-ben a garmadák betömték a kutakat, 15 ezer ember lelte halálát.” A mozgó vízárusok azóta nem tömlőből, hanem művesen munkált réz víztartályból, ibrikkel adják a vizet, újabban pedig a mindenhol fellelhető petpalackokból kínálják a szomszédos utazókat.

A kereskedelem a keleti társadalom mozgatórugója, a kereskedő réteg a társadalmi rangsorban mindig megbecsült helyen állt. Érdeemes figyelni arra, amit a XIV. századi arab utazó, Ibn Battuta ír a Földközi-tenger ma is kedvelt turisztikai helyéről, Antalyáról: „A város különböző rétegei teljesen elkülönülnek egymástól. A keresztény kereskedők egy kikötő elnevezésű

▲ Serbetárus Isztambulban

◀ Vízárus eszközöket árusító ócskás Isztambulban





Alanya piaca

területen laknak. Városrészüket fal veszi körül.(...) A mohamedán lakosság magában a városban lakik. Itt van a főmecset, egy medresze, sok fürdő, hatalmas piacok.”

### Vándorkereskedelem

Az Oszmán Birodalomban szinte csak a kereskedők járhattak-kelhetek szabadon. Dernschwam János már idézett írása szerint „a zsidók és az idegen kereskedők Lengyelországból, Oroszországból, Oláhországból és Magyarországról foglalkozásuk üzése céljából ki- és beutazhatnak. Mindenütt szabadon közlekedhetnek árujukkal, csak a vámot kell megfizetniük a császárnak. Abban a szerájban szállnak meg, amelyekben akarnak, a saját viseletükben járhatnak, kelhetnek.” Szabad mozgásterük lévén nemcsak az árujuk jutott el idegen tájakra, hanem az információkat is hozták-vitték. Nem egyszer a változások hátterében is ők álltak. Idegen népek kultúráját honosították meg, ha valamely területen megragadtak,

letelepedtek. Nekik köszönhetően terjedt el a keleti kultúra számos eleme Európában. Táv- és Közel-Keleten a kínaiak, arabok, görögök, törökök, örmények közül kerültek ki a legjobb kereskedők, aki a világ minden tájára eljutottak.

A közlekedés forradalma nem hagyta érintetlenül a keleti országokat sem. A régi karavánutak nyomvonalán ma műút fut, autókonzvojok szállítják az árukat, a hagyományos árumozgatás, teherhordás módszerei számos helyen megmaradtak, s bár nagy a kontraszt, jól megférnek egymással.

BARTHA JÚLIA

**Nyitóképen:** Safranbolu rézműves műhelyboltja

### IRODALOM:

Ibn Battúta zarándokútja és vándorlásai (ford. Boga István és Prileszky Csilla) Bp. 1964. ;

Ali Mazahéri: A muszlimok mindennapi élete középkorban a X-től a XIII. századig. Bp. 1989. ;Tardy Lajos: Rabok, kalmárok az Oszmán Birodalomban. Bp. 1977. Bartha Júlia: Közös pontok a török-magyar táplálkozási kultúrában. In. Török hagyatéek. Tanulmányok a magyar kultúra török kapcsolatairól. Bp. 2017.171-197.p.

### E SZÁMUNK SZERZŐI

**BARTHA JÚLIA:** orientalista, etnográfus, Damjanich János Múzeum ny. osztályvezető; **BEDE-FAZEKAS ÁKOS:** tájépitész, programozó, Ökológiai Kutatóközpont; **FARKAS CSABA:** tudományos újságíró, Szeged; **FUTÓ PÉTER:** Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék, Kozmokémiai Kutatócsoport; **HÉRINCS DÁVID:** meteorológus, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest; **KOVÁCS GERGŐ:** tudományos újságíró, Budapest; **SOMODI IMELDA:** biológus, ökológus, Ökológiai Kutatóközpont; **SZABAD JÁNOS:** egyetemi tanár, Szegedi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Orvosi Biológiai Intézet, Szeged; **ZACHAR ISTVÁN:** PhD, biológus, Ökológiai Kutatóközpont, Evolúció-tudományi Intézet.

### KÖVETKEZŐ SZÁMUNKBÓL

**FARKAS CSABA:** A szegedi távfűtés geotermikus átalakítása

**HOLLÓSI GÁBOR:** A hulladékgazdálkodás története



FUNKCIONÁLIS MOZAIKOK

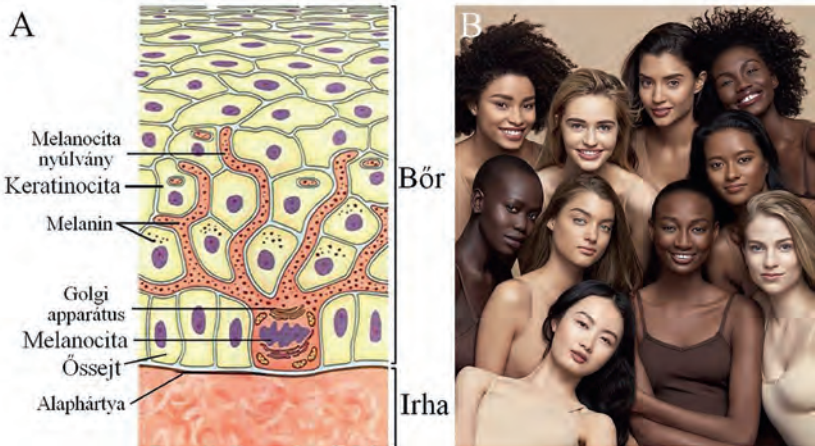
# Színes/színtelen mozaikosság

**2. RÉSZ** Mindenki látott már színes/fehér foltos macskát, kutyát, kecskét, lovat, és talán embert is. Bizonyára találkozott már olyan embertársával, akinek egyik szeme barna, a másik kék, vagy valamelyik szemében egyszerre voltak barna és kék részek. Miként alakul ki a színes/fehér foltosság? Milyen típusai ismertek? Öröklődik? Jelen dolgozat azokat a mechanizmusokat mutatja be, amelyek a színes/fehér tarkaság, valamint a szemek barna/kék mozaikosságának eredendő okai.

## Melanociták és melaninok

A melaninok az állatvilág legerjedtebb pigmentfélésegei. Különböző típusait a bőr alsó rétegében élő melanociták (pigmentsejtek) „termelik”, biztosítva a bőr és származékai, továbbá a szemek jellegzetes színét, és egyben védelmet az ultraibolya sugárzás káros hatásától (1. ábra) [1]. Leggyakoribb típusuk az eumelanin, amelynek fekete és barna változatai vannak, valamint a narancs-vörös színű feomelanin. A bőr- és hajszínt az eu- és a feomelaninok aránya határozza meg, mélysége pedig attól függ, hogy a melanociták mennyi melanint

termelnek, nem pedig a melanociták számától. A melanociták aktivitását gének, az agyalapi mirigyben képződő, úgynevezett melanocita-stimuláló hormon, valamint a bőrünket érő fény erőssége és időtartama határozza meg. A melaninok elsősorban a tirozin aminosav oxidációja, valamint a képződő termékek polimerizációja révén keletkeznek. A melanin rögöcskék a melanoszóma nevű, 0,5  $\mu\text{m}$ -nyi sejtszervecskébe csomagolva jutnak a melanociták nyúlványaiból a bőr keratinocita sejtjeibe [2]. Egy melanocita 30-40 keratinocitát lát el melaninokkal. A keratinocitákba érkeve



1. ábra. Melanociták, melaninok. (A) A melaninok a melanocitákban képződnek, onnan kerülnek a keratinocitákba, ahol a sejtmag fény felé eső része felett halmozódnak, árnyékok vetve védik azokat az ultraibolya sugárzástól. Az össejtek osztódnak, pótolják az elhasználódó keratinocitákat. (B) A melanociták biztosítják a bőr és származékai színét.

a melanin rögöcskék a sejtmagvak fölött gyülekeznek, mintegy leárnyékolva azokat (1. ábra). Alapvető szerepük az, hogy védik a sejtmagban lévő DNS-t az ultraibolya sugárzás mutációkat okozó, módfelett ártalmas hatásaitól. (A melaninok a rájuk eső ultraibolya sugárzás 99,9 százalékát elnyelik.)

### A melanociták eredete

A melanociták őssejtjei, a melanoblasztok színtelenek, és az embriógenézis folyamán a dúclécből vándorolnak végleges helyükre: a bőrbe, a szembe, a belső fülbe, az agy néhány helyére, hogy aztán utódsejtjeik, a melanociták melaninokat termeljenek (2. ábra). (A vándorlás emberben az embriógenézis harmadik hetében történik.) A melanoblasztok vándorlásuk során, miközben osztódnak, először az embrió háti területeit népesítik be, később jut belőlük az oldalsó és a hasi tájakra is. Rendeltetési helyükre érve a

2. ábra. A melanociták eredete. A dúclécből kivándorló össejtekből sokféle sejtípus származik. A melanoblaszt össejtekből differenciálódnak azok a melanociták, amelyekben a különféle melaninok képződnek.

melanoblasztokból melanociták differenciálódnak, akik miután „munkába állnak”, többé nem osztódnak [1]. A bőr növekedésével számuk úgy gyarapszik, hogy a tartalékban várakozó melanoblasztokból differenciálódnak. (Érdekes, hogy a bőr regenerációja során, vagy a melanóma daganatokban a melanociták nemcsak visszanyerik osztódó képességüket, hanem osztódnak is.)

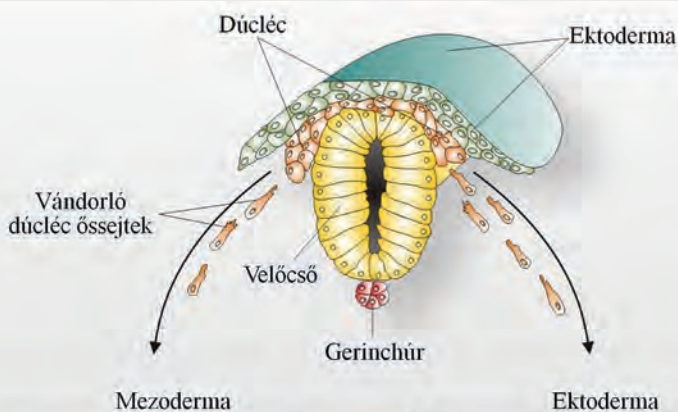
### A színes/fehér foltosság eredete

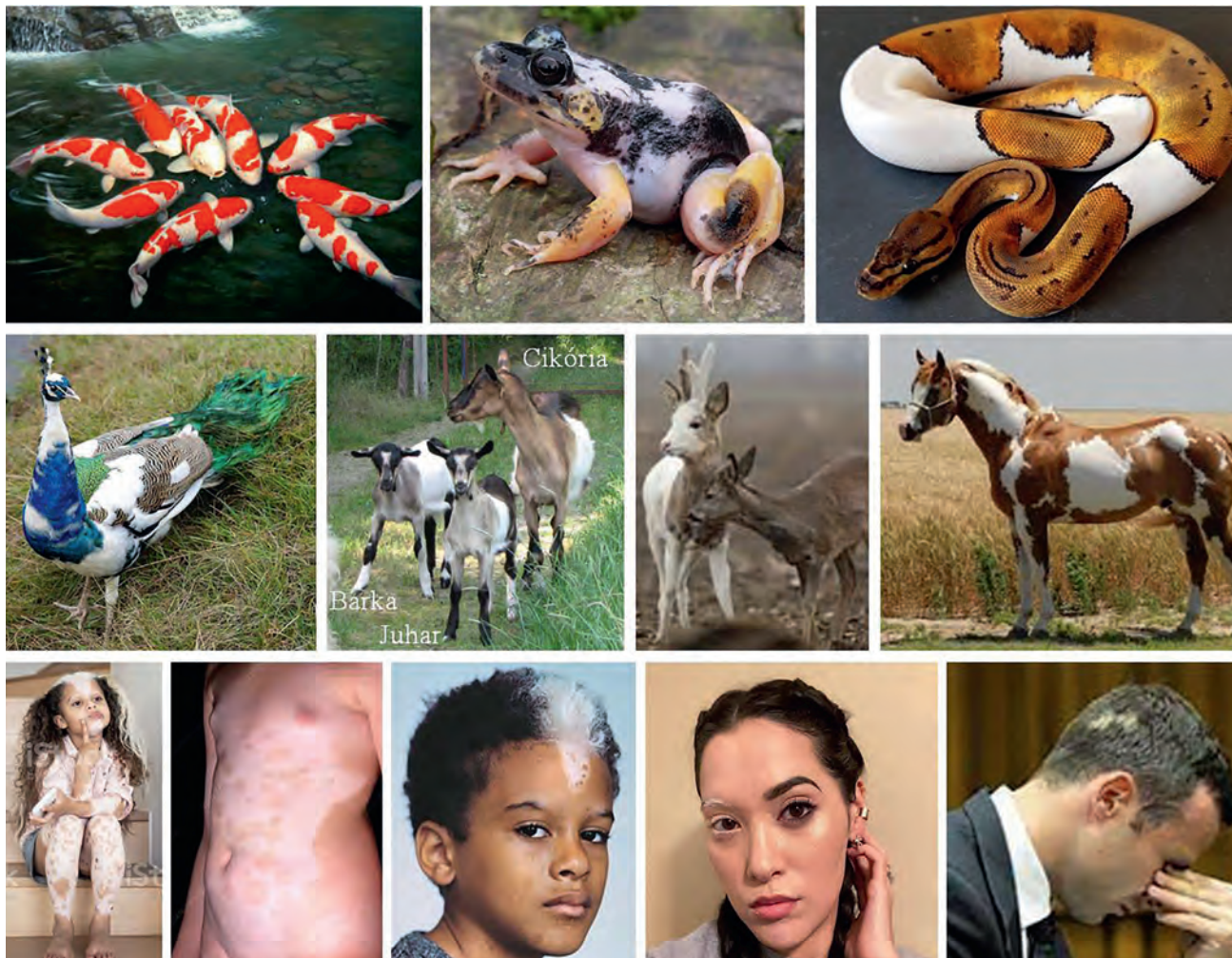
Ha a dúcléc sejtjei a szokásosnál kevesebben vannak, vagy a kelleténél kevesebbet osztódnak, és nem képződik elegendő számú vándorló sejt, vagy ha a vándorló sejtek némelyike vándorlás közben megreked, esetleg elpusztul, a legtávolabbi testtájakra nem érkeznek melanoblasztok, nem képződnek melanociták, és persze melaninok sem. Az is megesik, hogy ugyan helyükre érkeznek a melanoblasztok, és képződnek is melanociták, ám nem funkcionálnak. Az eredmény kézenfekvő: a rendszerint színes testtájon fehér (valójában színtelen) foltok képződnek (3. ábra). Összességében meglehetősen szabálytalan eloszlású színes/fehér (színes/színtelen) foltmintázat alakul ki, a funkcionális mozaikosság egyik típusa: bár a testet alkotó sejtek genetikai tartalma azonos, ám küllemük különböző [3].

A színes/fehér mozaikosság magyar neve: piebaldizmus, az angol *piebaldism* szó megfelelője (4. ábra). A háziállatok világában meglehetősen elterjedt jelenség, és bár csak ritkán, ám előfordul a vadon élő állatokban is. A színes/fehér mozaikosság alapvető jellemzője, hogy a foltmintázat már születéskor is adott, és nem változik az élőlény élete folyamán.

### Gének, mutációk és a színes/színtelen mozaikosság

A színes/fehér mozaikosságnak legtöbbször genetikai okai vannak, és olykor az *SNAI2* (*snail family transcriptional repressor 2*) génnel kapcsolatos [4]. Az ép *SNAI2* gén terméke, az *SNAI2* fehérje egy transzkripció faktor: más génekhez kapcsolódva szabályozza azok funkcióit. Olyan génekét, amelyek szükségesek a dúcléc sejtek képződéséhez, osztódásához. Különösnek tűnhet, hogy az ép sejtfunkcióhoz mind az anyai, mind pedig az apai eredetű ép *SNAI2* gén funkciója létfontosságú. A *SNAI2* gének egyikének hiányában (vagy ha ugyan megvan a gén, ám mert mutáns, és elvesztette funkcióját) úgynevezett haplo-elégtelen állapot alakul ki, amely következményeként





3. ábra. Példák a színes/fehér mozaikosságra, a piebaldizmusra (Cikória és gidái kedves jószágaink)

csökken a dúcléc sejtek száma, vagy nem osztódnak elégszer, ami miatt nem jut belőlük a dúcléctől távoli helyekre, ahol aztán fehér (színtelen) testtájak alakulnak ki [3]. A távoli helyek többnyire a fej elülső része, a toroktáj, a nyak, a mellkas, valamint a lábak végei (5. ábra).

Érthető, hogy a színes/színtelen mozaikosság *SNAI2* génnel kapcsolatos típusa öröklődik (6. ábra). Ha ugyanis az utód egyik szülőjétől nem örököl *SNAI2* gént (mert hiányzik a 8. kromoszóma azon szakasza, amelynek része a *SNAI2* gén), vagy a *SNAI2* gén funkcióját vesztett mutáns allélját örökli, az utódban is kialakul a színes/színtelen foltosság. A mintázat pedig meglehetősen hasonlít a szülőben és gyermekében.

4. ábra. A piebaldizmus mozaikszó, a szarka (magpie) és a fehérfejű réti sas (*bald eagle*) nevéből származik. A színes/fehér mintázat itt szabályos, szimmetrikus, és nem a melanocita összejtek sikertelen vándorlásával kapcsolatos. Úgy alakul ki, hogy a fehér testtájak ugyan tartalmaznak melanocitákat, ám mert azok „ismerik” a pozíciójukból eredő feladatukat, nem termelnek melaninokat.

(Mínt hogy a dúclécből kivándorló melanoblasztok leszármazottainak a belső fülben is fontos szerep jut nem meglepő, hogy az *SNAI2* gén mutáns allélját hordozó emberek némelyike hallássérült, vagy süket. És az is érthető, hogy fehérek és süketek azok az állatok, amelyekből hiányzik az *SNAI2* génfunkció.)

Arra is ismertek példák, hogy az osztódó és vándorló melanoblasztok valamelyikében a két *SNAI2* gén egyike egy újonnan bekövetkező mutáció miatt elveszti funkcióját [5]. Az ilyen sejtből olyan melanociták származnak, amelyek nem képeznek melaninokat, és végeredményben egy fehér (színtelen) foltot alkotnak a bőrben, vagy bőrszármazékban (7. ábra).





5. ábra. A színes/fehér foltosság egyik típusa. Ha a melanoblasztokból nem marad a távoli rendeltetési helyekre, hiányoznak a melaninokat képző melanociták, ami miatt fehér (valójában színtelen) foltok alakulnak ki. A hóka lovak homlokukon fehér foltot (csillagot) „viselnek”, a keselyek valamelyik lábának vége fehér. (Batyú családunk kedves kutyája.) A homlokon és a nyakon képződő fehér foltok többé-kevésbé szimmetrikusak, jelezve, hogy a két oldalról történő sejt vándorlás egyformán sérült.

Becslések szerint a színes/fehér mozaikosság 75 százalékáért egy további, a *c-KIT* gén hiánya, vagy mutációi felelősek [6]. E gén (amely emberben a 4. kromoszómához kapcsolatosan öröklődik) terméke a *KIT* fehérje, a sejthártyán átívelő egyik fehérjeféleség, az úgynevezett receptor tirozin kinázok egyike (8. ábra). A *KIT* fehérje-receptor része a melanocitákhoz érkező *KITLG* fehérje-molekula-féleséggel kapcsolódik, amely esemény híret a *KIT* fehérje a sejt belsejébe továbbítja, ami után a melanocita a hozzá érkezett üzenetnek megfelelően viselkedik és készít melaninokat. A *c-KIT* gén funkciója

szükséges (egyebek mellett) a melanoblasztok vándorlásához, osztódásához, melanocitákká történő differenciálódásához, valamint a melanociták életben maradásához is. Minthogy a melanoblasztok és a melanociták funkciójához az ép anyai és apai eredetű *c-KIT* gén funkciója egyaránt szükséges, érthető, hogy a gén vagy funkciójának hiányában sérül a melanoblasztok funkciója, és — amint azt a *SNAI2* gén esetében láttuk — a dúcléctől távoli helyekre nem jutnak melanociták, amiért is a színes területek mellett fehér (színtelen) foltok képződnek (5. és 6. ábra). A molekuláris

6. ábra. A színes/fehér foltosság domináns módon öröklődik. A kis képeken szülő és gyermeke(i). A csoportkép közepén a nagymama, mögötte a lánya, mellette az unokái, jobb oldalon egy közeli rokon. Emberben a fehér folt az esetek 90 százalékában a homlok felső részét érinti, olykor a homlokbőr, a szemöldök és a szempilla is fehér.





7. ábra. Egy melanoblaszt két *SNAI2* génjének valamelyikében bekövetkező mutáció nyomán olyan melanociták képződnek, amelyek nem termelnek melaninokat, és egy fehér (színtelen) foltot alkotnak.

(például a *SNAI2*, vagy a *c-KIT* géné), ami után a belőle származó melanociták már tudnak melaninokat szintetizálni. Például azért, mert egy transzpozon távozott a génből, miáltal helyreállt a génfunkció [5][8]. Fontos, hogy az itt említett mozaikosság-mintázatra is jellemző, hogy születéskor már adott, és nem változik az élőlény élete folyamán.

### Vitiligo

Színes/fehér (színtelen) foltosságnak ismert olyan típusa is, amely nem öröklött, hanem szerzett, nincs genetikai alapja, és alapvetően különbözik a piebaldizmustól: a vitiligo (10. ábra). A vitiligo a titokzatos bőrbetegségek egyike [9]. Alapja a melaninok hiánya, amely oka a melanociták pusztulása, esetleg melanintermelő képességük elvesztése. A vitiligo emberekben többnyire 10 és 30 éves kor között kezdődik. Úgy, hogy előbb kis foltokban kifehéredik a bőr, amely foltok az életkor

sejtbiológia mérföldes léptű fejlődése eredményeként máig 69 olyan *c-KIT* mutációt írtak le különféle fajokban, amelyek piebaldizmust okoznak.

A kis *KITLG*-molekulák a *stem cell factor (SCF)* gén termékei [7]. (Az *SCF* gén emberben a 12. kromoszóma része.) A *KITLG*-molekulák dimerként kerülnek kapcsolatba a *KIT* fehérjék receptor részével. Nemcsak a melanoblasztok életéhez, osztódásához, és vándorlásához szükségesek, hanem ahhoz is, hogy a melanociták rendeltetési helyükre kerüljenek, életben maradjanak, és melaninokat termeljenek. Nyilvánvaló, hogy az *SCF* gén, vagy funkciójának hiányában nem képződnek melanociták, és melaninok sem. Az *SCF* génnek is ismertek olyan mutáns változatai, amelyek termékei folytonos és túlzott melanintermelésre ösztökélik a melanocitákat, amely következményeként barna mozaikfoltok képződnek. A *SNAI2*, a *c-KIT* gének alapvető szerepe mellett sok további olyan gént is azonosítottak, amelyek mutáns alléljai színes/színtelen mozaikosságot okoznak: *MC1R*, *MITF*, *TYR*, *EDNRB*, *SILV* és *PAX3*, amelyek bemutatásától itt eltekintünk.

### Színes pöttyök fehér alapon

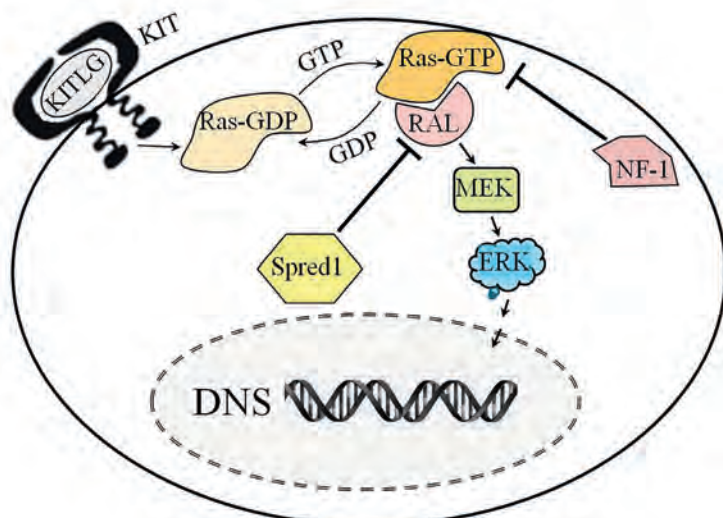
A fentiek alapján arra számítunk, hogy a színes/színtelen mozaikosság jellemzője az, hogy színes alapon fehér foltok képződnek (3. és 5. ábra). Igen ám, de bőségesen ismertek olyan esetek is, amelyek fordítottak: fehér (színtelen) alapon képződnek színes foltok (9. ábra). Úgy tűnik, mintha vándorlásuk során egy-egy melanoblaszt visszanyerné azt a képességét, hogy a belőle differenciálódó melanociták melaninokat képezzenek. Egy-egy ilyen melanoblasztból differenciálódó melanociták aztán fehér alapon egy-egy színes mozaikfoltot alkotnak. A különös jelenség egyik magyarázata az lehet, hogy valamelyik melanoblasztban helyreáll egy korábban funkcióját veszített gén funkciója

(például a *SNAI2*, vagy a *c-KIT* géné), ami után a belőle származó melanociták már tudnak melaninokat szintetizálni. Például azért, mert egy transzpozon távozott a génből, miáltal helyreállt a génfunkció [5][8]. Fontos, hogy az itt említett mozaikosság-mintázatra is jellemző, hogy születéskor már adott, és nem változik az élőlény élete folyamán.

8. ábra. Egy jeltovábbító kaszkád elemei melanocitákban.

A *KIT* fehérje antennaként veszi a szomszédos sejtektől érkező, a *KITLG* fehérjemolekulák révén küldött üzenetet, amely hír egy jeltovábbító kaszkád elemei révén a sejtmagba jut, és áthangolja a melanocita génexpresszió-mintázatát.

*KITLG* vagy *KIT* fehérjék hiányában a melanociták nem képeznek melaninokat, ami miatt a bőr fehér (valójában színtelen) lesz. (Néha olyan domináns mutáció következik be egy melanocita egyik *c-KIT* génjében, amely nyomán mutáns *KIT<sup>D</sup>* fehérjemolekulák képződnek. A mutáns *KIT<sup>D</sup>* fehérjemolekulák *KITLG* nélkül is fokozott melanin termelésére készítik a melanocitákat, ami okán egy barna folt képződik a bőrben [5]. A melanociták akkor is folyamatosan készítenek melaninokat, ha – mutációk következtében – nem képződnek a kaszkád funkcióját fékező *NF-1* vagy a *SPRED1* fehérjék.)





9. ábra. Példák a fehér háttéren képződő színes foltokra. Egy-egy különálló színes foltot olyan melanociták alkotnak, melyek egy olyan melanoblasztból származnak, amelyben helyreállt a melaninok szintézisének képessége.

előrehaladtával növekszenek. A vitiligo fontos jellemzője, hogy a szabálytalan foltmintázat – nem úgy, mint a többi mozaik típus esetében – változik az élet folyamán. A fehér foltok általában a fények kitett bőrfelületen alakulnak ki: a karokon, az arcon, a lábfejen. A vitiligo (nem úgy, mint a piebaldizmus) nem öröklődik. Bár a vitiligo eredendő oka eddig ismeretlen, sok kutató úgy gondolja, hogy autoimmun eredetű megbetegedés: a szervezetben olyan ellenanyagok képződnek, amelyek elpusztítják a melanociták egy-egy csoportját. Különös, hogy a vitiligo gyakorta komoly lelki traumák után alakul ki. Megjegyzendő, hogy a vitiligo nemcsak az emberben, hanem néhány állatfajban is ismert jelenség (10. ábra).

10. ábra. Vitiligo. Nem öröklött, hanem szerzett tulajdonság. A világos területeken vagy elhalnak a melanociták, vagy nem képeznek melanint. A vitiligo fontos jellemzője, hogy az életkor előrehaladtával növekszenek a világos foltok, és változik mintázatuk. A felső sor utolsó három képe ugyanarról a macskáról készült három egymást követő évben, az alsó sor utolsó két fotója pedig ugyanarról az emberről.

### Mongolfolt

Megtörténik, hogy miközben a dúcléctet elhagyva vándorolnak, néhány melanoblaszt az irhában reked (1. és 2. ábra). A belőlük differenciálódó melanocitákban eumelanin rögöcskék képződnek, amelyek mongolfoltként (fenékpöttyként) ismert kékesszürke folt formájában tűnnek elő (11. ábra) [10]. A mongolfoltok zöme fenéktájon, a farkcsont végződésének környékén képződik, ám más testrészekben is előfordulnak. Ártalmatlan képződmények, amelyek a születést követő három-öt év során elhalványulnak, eltűnnek. Bizonyos, hogy valamelyik autoszómához kapcsoltan öröklődő domináns mutáció okozza ezeket, ám máig ismeretlen a gén, és a mongolfoltot okozó mutációjának természete.





11. ábra. Mongol-folt. Az irhában rekedt melanocita csoportok által képzett kékeszürke, szabálytalan alakú foltok. Többnyire az újszülöttek fenéke feletti testtájon képződnek. Olykor a homlokon, esetenként az inhártya egy részében (♣), a kézen vagy a lábon.

A mongolfoltok az ázsiai emberek újszülöttei körében elterjedtek (gyakorlatilag 100 százalék a mongolok és a japánok körében), és kevesebb, mint 10 százalék a kaukázusi eredetűekben.

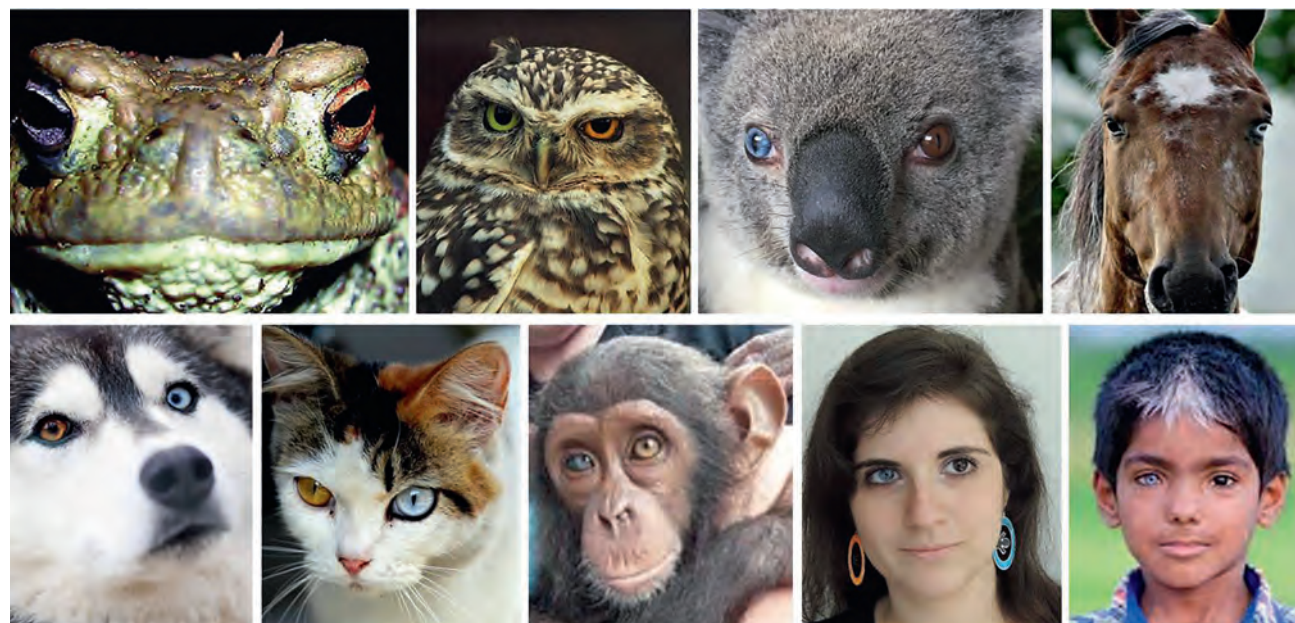
### Heterokrómia

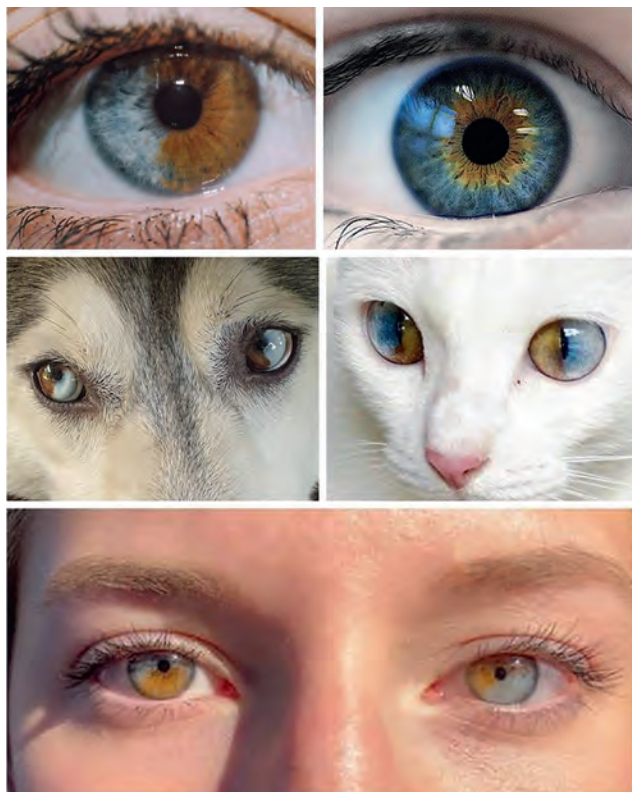
Mint fentebb említettük, a szemszínt a szivárványhártya melanintartalma határozza meg: a kékben semmi, a barnákban több, a sötétbarnákban sok. (A kék szemszín a szivárványhártya-állomány fényszóró képességének következménye.) A szemszín árnyalatai a szivárványhártya fényt szóró, szintelen kollagénrost-tartalmától, valamint tucatnyi olyan gén funkciójától is függ, amelyek a melanin képződésben játszanak szerepet.

A szemszínt meghatározó legfontosabb gén az *OCA2* (*oculocutaneous albinism 2*). (A gén neve arra utal, hogy hiányában nem képződik melanin sem a bőrben, sem a szemben, az élőlény albínó.) Az *OCA2* gén a 15.

kromoszómához kapcsolatosan öröklődik. Terméke, az úgynevezett P-fehérje a sejthártyába épül, és a tirozin aminosav-molekulák szállításában vesz részt. A tirozin pedig a melaninok alapanyaga. A sok P-fehérje következménye a sok melanin, és a (sötét) barna szem, a kevés P-fehérje következménye a kevés melanin és a zöldes szemszín. P-fehérje hiányában kék szemek képződnek. Az *OCA2* gén funkcióját a szomszédos *HERC2* gén szabályozza. Jól ismertek *HERC2* gén olyan mutáns változatai, amelyek az *OCA2* gén funkcióját befolyásolva világos bőrt és kék szemet, illetve sötét bőrt és barna szemet eredményeznek. A szemszín kialakulásában fontos az *EYCL1* (*eye color 1*) gén is, amely a 19. kromoszómánhoz kapcsolatosan öröklődik, és feltételezések szerint az *OCA2* génre kifejtett hatása révén okozza kék szemek képződését. A szemszínnek gazdag árnyalata pedig összhangban van azzal a megállapítással, hogy már tucatnyi génről bizonyosodott be: a melaninkoncentrációt befolyásolva módosítják a szemszínt.

12. ábra. A komplett heterokrómia esetében különbözik a két szem színe. A heterokrómia és a piebaldizmus olykor egyszerre fordul elő ugyanabban az élőlényben.





A legtöbb élőlény két szeme azonos színű. Előfordul azonban, hogy a két szem színe különbözik, vagy valamely – esetleg mindkét – szemében különböző színű részek képződnek (12. és 13. ábra) [11]. A jelenség neve heterokrómia, különböző szemszínűség. Heterokrómia általában szórványosan képződik, ám ismertek dominánsan öröklődő változatai, elsősorban kutya- és macskafajtákban. (Heterokrómia kialakulhat betegség, sérülés, sőt kimérizmus nyomán is.) A heterokrómia olyan mutációk következménye is lehet,

## FOGALOMTÁR

**Dúcél:** a fiatal gerinces embriókban a velőcső és az ektoderma közötti sejtek hosszanti sávja. A belőle kivándorló sejtekből különféle sejtípusok differenciálódnak, köztük a melanociták is.

**Funkcionális mozaikosság:** állapot, amelyben egy élőlényben olyan szabálytalan eloszlású mozaikfoltok képződnek, amelyeket alkotó sejtek genetikai tartalma bár azonos, ám küllemük különböző.

**Haplo-elégtelen állapot:** állapot, amely akkor alakul ki, amikor az ép sejtfunkcióhoz szükséges két ép gén egyik hiányzik.

**Heterokrómia:** állapot, amelyben egy élőlény két szemének színe különbözik, vagy valamely szem szivárványhártyájában eltérő színű területek képződnek.

**Piebaldizmus:** állapot, amelyben a bőrben (és képződmenyeiben) egymás mellett léteznek színes és fehér (színtelen) területek.

**13. ábra.** Szektorális heterokrómia: valamely szem szivárványhártyáját különböző színű foltok alkotják. A centrális heterokrómia esetében a pupillát barna gyűrű veszi körül az egyébként kék szemben. Megtörténik, hogy a szektorális heterokrómia mindkét szemet érinti.

amelyek az embriógenesis korai szakaszában következnek be, és valamely dúcél sejt, vagy melanocita sejtcsoport funkcióját akadályozzák [5]. Nyilvánvaló, hogy a heterokrómia itt említett típusa nem öröklődik, hiszen csak a testi sejtek kis csoportjára szorítkozik. Olyan sejtekre, amelyek közvetlenül nem vesznek részt az ivarsejtek és az utódok képzésében.

A heterokrómia nemcsak a macskák és a kutyák némely fajtáiban, de sok további állatfajban is fel-felbukkan, és az emberben is (12. ábra) [3]. A komplett heterokrómia esetében különbözik a két szem színe, az úgynevezett szektorális heterokrómia esetében egyazon szivárványhártyában kék és barna területek is kialakulnak. A centrális heterokrómia különös jelenség: a pupilla körül barna gyűrű képződik az egyébként kék szemben (13. ábra). (Különös, hogy a fordított helyzet ismeretlen.) A szivárványhártyát érintő barna/kék (színes/színtelen) mozaikosság csak ritkán terjed át a szemmel szomszédos bőrterületekre, jelezve, hogy a két melanocita sejtcsoport olyan melanoblasztokból ered, amelyek az embriógenesis kezdetén viszonylag távol vannak egymástól.

SZABAD JÁNOS

## IRODALOM

- [1] Cichorek M. et al. (2013): Skin melanocytes: biology and development. *Postępy Dermatologii i Alergologii* 30: 30-41.
- [2] D'Alba M., Shawkey M. D. (2019): Melanosomes: biogenesis, properties, and evolution of an ancient organelle. *Physiological Reviews* 99: 1-19.
- [3] Szabad János (2019): Genetikai mozaikok. *JATEPress*, ISBN 978 963 315 407 6.
- [4] Yang Y. J. et al. (2014): SNAI2 mutation causes human piebaldism. *American Journal of Medical Genetics - Part A* 164A: 855-857.
- [5] Szabad J. (2023): Pontmutációk és genetikai mozaikok, *Természet Világa* 154: 120-126.
- [6] Alexeev V., Yoon K. (2006): Distinctive role of the cKit receptor tyrosine kinase signaling in mammalian melanocytes. *Journal of Investigative Dermatology* 126: 1102-1110.
- [7] Wehrle-Haller B. (2003): The role of Kit-ligand in melanocyte development and epidermal homeostasis. *Pigment Cell & Melanoma Research* 16: 287-296.
- [8] Galbraith J. D., Hayward A. (2023): The influence of transposable elements on animal colouration. *Trends in Genetics* S0168-9525(23)00091-4.
- [9] Bergqvist C., Ezzedine K. (2020): Vitiligo: a review. *Dermatology* 236: 571-592.
- [10] Alimi, Y. et al. (2018): A comprehensive review of Mongolian spots with an update on atypical presentations. *Child's Nervous System* 34: 2371-2376.



2023 NYARÁNAK IDŐJÁRÁSA

# Gyakori frontok és viharok

Idei nyarunk változékony, olykor heves zivatarokkal tarkított időjárást hozott. Bár több hűvös időszak is előfordult, összességében így is az átlagosnál 0,8 °C-kal melegebb lett az évszak, míg a csapadékeloszlás rendkívül változatosan alakult, északon és nyugaton sokfelé jelentős többlettel, míg az Alföldön helyenként aszályal. A cikkben szereplő mért és számított adatok forrása az Országos Meteorológiai Szolgálat.

## Június

Mérsékelt meleg idővel indult az évszak. Egy hidegfront hatására 2-án szórványosan előfordultak záporok, zivatarok, lokálisan jelentős csapadékkal. A front előtt 1-jén és 2-án 28-30 °C körül alakultak a csúcértékek, mögötte 3-án viszont az ország nagy részén 25 °C alá estek vissza. 4-ére virradóan keleten sokfelé 10 °C alá csökkent a hőmérséklet, sőt, az északi völgyekben 5 °C alatti minimumokat is mértek. A leghűvösebb Zabaron volt 0,9 °C-os értékkel, mely egyben a havi minimum lett az országban. 4-étől 11-éig egy délnyugat felől főként helyeződő, majd térségünkben veszteglővé váló ciklonális mező révén medárdi jellegű időjárás következett mindennapos záporokkal, zivatarokkal. Ezek meglehetősen szeszélyes csapadékeloszlást produkáltak, egyes területek szinte teljesen szárazon maradtak, helyenként viszont heves felhőszakadások és villámárvizek is voltak, jelentősebb károkkal. Június 6-án több helyen is 50 mm felett alakult a napi csapadékösszeg, Kékestetőn pedig a 122,0 mm-t is elérte, ami egyrészt új napi rekord, másrészt pedig a júniusi maximum lett. 12-étől egy északról benyúló anticiklonnak köszönhetően szárazabb, eleinte kissé hűvösebb idő következett, 12-én és 13-án többnyire 25 °C alatti maximumokkal, míg 13-án, 14-én és 15-én több helyen 10 °C alatti minimumokkal.

Ezután fokozatos melegedés zajlott le, melyben csak keleten volt egy kis megtorpanás 16-án és 17-én, amikor egy tőlünk délre örvénylő mediterrán ciklon felhőzete és csapadékszónája érintette a térséget. 19-én vette kezdetét az év első hóhulláma, egyre többfelé 30 °C fölé emelkedő csúcértékekkel, 23-án az Alföld nyugati felén

pedig sokfelé a 35 °C-ot is meghaladta a hőmérséklet. Ekkor mérhettük a júniusi maximumot is, mely 37,1 °C volt Kelebián. 21-én délután az ország keleti felén kialakultak zivatarok, este pedig egy zivatarrendszer érkezett északnyugat felől, mely Lénárdarócon 31,8 m/s-os (114,5 km/h) szélökést okozott, ami új napi rekord lett. 23-án a hőséget lezárva egy markáns hidegfront vonult át, melyet az Észak-Dunántúl kivételével többfelé kísérték zivatarok, helyenként nagyobb jéggel, szélviharral, és a keleti országgrészben többfelé 40-80 mm csapadékkal. Ekkor az országos és a budapesti szélrekord is megdőlt, előbbi Balatonőszödön 30,5 m/s-os (109,8 km/h), utóbbi 26,1 m/s-os (94,0 km/h) értékkel.

Az erősebb frontok mentén kialakuló heves zivatarokat több esetben is nagy méretű jég kísérte, így például június 25-én Mohács közelében (A szerző fotója)



A front mögött északnyugaton 1 napra 20–24 °C közé esett vissza a hőmérséklet, másutt viszont maradt a nyári idő, 28–30 °C körüli csúcsértékekkel. 27-én újabb hidegfront vonult át, ami inkább csak délnyugaton és északkeleten okozott érdemi csapadékot, és ezt sem kísérte számottevő lehűlés. Június átlagos hőmérséklettel zárt, ezen belül keleten kissé hűvösebb, míg nyugaton melegebb volt a szokásosnál. A havi csapadékösszegben nagy eltérések mutatkoztak az országban, de a legcsapadékosabb a Mátrától a Körösökig húzódó sáv volt, a legszárazabb pedig az Alföld déli és nyugati része. A két szélsőérték 16,7 mm (Budapest Csepel) és 254,1 mm (Kékestető) volt.

## Július

Július első hetében több gyenge hidegfront is áthaladt felettünk, melyek szórványosan okoztak záporokat, zivatarokat, lokálisan nagy mennyiségű csapadékkal, de ekkor még többnyire heves események nélkül. 1-én Sümegen azonban 61,4 mm eső esett, és ennél nagyobb napi csapadékösszeg már nem is fordult elő a hónapban. A legmagasabb hőmérsékelt ezekben a napokban 30 °C körül vagy néhány fokkal az alatt ingadozott. 7-étől egy anticiklonnak köszönhetően néhány napra szárazabbra és melegebbre fordult az idő, 10-én, 11-én és 12-én már 35–36 °C körüli maximumok is előfordultak. 10-én egy gyenge hidegfront hatására főként a Dunántúl középső sávjában kialakultak zivatarok, majd a 12-én érkező erősebb hidegfront már kiterjedten okozott csapadékot és zivatarokat. Este északnyugaton, 13-án hajnalban a Dél-Dunántúlon viharos széllel kísért

A horvát-magyar határnál elvonuló, Horvátországban és Szerbiában nagyobb jégveréseket is okozó erős szupercella július 13-án  
(Kiss Kevin fotója, MetNet/www.metnet.hu)

zivatarrendszerek is átvonultak, délután pedig a déli határnál egy hosszú élettartamú, látványos, ugyanakkor déli szomszédainknál nagy jégverést produkáló szupercella haladt el.

A front mögött néhány fokkal mérséklődött a meleg, de még így is 30 °C körül alakultak a maximumok, 15-étől pedig újra erőre kapott a hőség. 16-án Derekegyházon 38,1°C-ig, míg 17-én Hódmezővásárhely Szikáncon 39,1 °C-ig forrósodott fel a levegő, és ez utóbbi lett a júliusi csúcsérték hazánkban. Ettől a naptól kezdve ugyanakkor mozgalmas, gyakori frontátvonulásokkal tarkított időjárás köszöntött be fokozatosan csökkenő hőmérséklet mellett, mely egészen augusztus első harmadáig kitartott. Az éjszakák azonban a több felhő miatt kezdetben enyhébbek lettek, és Budapesten 17-én és 18-án is megdőlt a legmagasabb minimum rekordja. 17-én északkeleten és nyugaton alakultak ki intenzívebb zivatarok, míg a következő három napon délnyugaton és északkeleten volt csapadék. Utóbbi térségben 20-án heves szupercellák is kipattantak nagyobb jéggel és szélviharral. A 21-ei front már sokfelé okozott záporokat, zivatarokat, Baranya déli részén orkán erejű szellőkészekkel. A legnagyobb, 38,0 m/s-os (136,8 km/h) szellőkést Sátorhelyen mérték, ami új napi rekord lett.

A következő front 25-én érkezett, mely előtt éjjel az ország déli felén már végigvonult egy zivatarrendszer, napközben pedig több hullámban érkeztek a továbbiak. Az ország nyugati részén, illetve az Alföld középső sávjában több helyen elérte a csapadékösszeg a 30–50 mm-t. A front mögött néhány napra elbúcsúzhattunk a 30 °C feletti maximumoktól, míg 27-én reggel több helyen 10 °C köré vagy alá csökkent a hőmérséklet. A leghűvösebb, egyben a havi minimum Zabaron volt 5,5 °C-os értékkel. A hónap végére visszatért a nyári meleg, szórványosan azonban ismét előfordultak záporok, zivatarok.

A július végül 1,2 °C-kal lett melegebb az átlagosnál, csak északkeleten jelentkezett kisebb területen átlag körüli középhőmérséklet. A havi csapadékösszeg az ország nagyobb részén elmaradt a szokásostól, különösen a középső területeken, a Nyugat-Dunántúlon és kisebb területen északkeleten viszont az átlagos felett alakult. A két szélsőérték 14,1 mm (Szolnok) és 196,6 mm (Sümeg) volt.

## Augusztus

A nyár utolsó hónapja rögtön egy hidegfronttal nyitott, mely nyugaton sokfelé okozott 20–30 mm körüli csapadékot. 3-án érkezett az újabb hidegfront, mely az Alpok felett behullámozott,





A Ferihegyre lecsapó, szélviharral kísért zivatar augusztus 5-ére virradó éjszaka (A szerző fotója)

és egy mediterrán ciklon fejlődött ki rajta, ami később felettünk vonult át. A front mentén 4-ére virradóan északon és nyugaton már többfelé hullott kiadós, néhol 60-70 mm csapadék. Napközben a Dunántúlon alakultak ki záporok, zivatarok, melyek éjszaka a középső és az északi területekre is átterjedtek, helyenként felhőszakadással és szélviharral kísérve. Ferihegyen a legnagyobb szélökés elérte a 36 m/s-ot (129,6 km/h), amivel az országos és a budapesti napi rekord is megdőlt. Pestszentimrén pedig 96,8 mm csapadék hullott, ami az augusztusi napi maximum lett. A viharos idő 5-én az ország keleti felén folytatódott, akkor leginkább a Tisza környezetében fordultak elő károsító szélrohammokkal és néhol nagyobb jéggel kísért szupercellák. A néhány nap alatt lehulló kiadós csapadéknak köszönhetően több nyugat-magyarországi vízfolyáson is jelentős árhullám vonult le, a Dráva helyenként az addigi legmagasabb vízállás felett tetőzött. 4-én és 5-én jelentős hőmérséklet-különbség alakult ki az ország két része között: míg nyugaton a 20 °C-ot sem érték el a maximumok, addig keleten még 36-37 °C-os csúcserőteket is mértek. 6-ára azonban már keleten is jócskán visszaesett a hőmérséklet, majd néhány hűvösebb nap következett. 7-én Kékestetőn csupán 10,6 °C-os maximumot regisztráltak, mely új rekord lett. Néhány napon éjszaka 10 °C alá hűlt a levegő, és ebben az időszakban, 11-én mérhettük az augusztusi minimumot is, mely 5,9 °C volt Kakucson. Ezt megelőzően még átvonult felettünk egy gyenge hidegfront, ami 9-én nyugaton, 10-én keleten okozott szórványosan záporokat, zivatarokat.

Ezután szárazabb és melegebb időszak kezdődött, 13-ától már 30 °C körüli vagy kevéssel afeletti csúcserőtekekkel. 15-én délkelet felől egy magassági hidegörvény érkezett, mely 19-éig több helyen okozott záporokat, zivatarokat, lokálisan jelentős, 30-40 mm csapadékkal. A melegedés ezekben a napokban megtorpant, sőt, a csapadékosabb helyeken kissé hűvösebb volt. 20-ától visszatért a száraz, meleg, sokszor fülledt idő. A nyárvégi hóhullám csúcsa 27-ére és 28-ára esett, ekkor az Alföldön sokfelé 35 °C fölé forrósodott fel a levegő. Előbbi napon Dévaványán 39,5 °C-ot mértek, mely az augusztus és az egész nyár legmagasabb értéke, egyben új napi melegekord lett, és másnap is csak 0,1 °C-kal maradt el ettől a maximum (39,4 °C, Derekegyháza). Az időszakban több helyen éjszakánként is 20 °C felett maradt a hőmérséklet. Budapesten 22-én, 24-én és 26-án is megdőlt a legmagasabb minimum rekordja. 28-án nyugatról egy mediterrán ciklon frontrendszerére érte el hazánkat, amit éjszaka a Dunántúlon sokfelé kísérték intenzív zivatarok. Siófoknál 36,4 m/s-os (131 km/h) értékkel új szélrekord is született. 29-én sokfelé, 30-án pedig főként keleten volt még további, helyenként kiadós csapadék, és eközben országsszerte jelentősen mérséklődött a meleg. Az augusztus országosan végül 1 °C-kal lett melegebb az átlagosnál, de északnyugaton átlag körüli középhőmérséklet is előfordult. A havi csapadékösszeg az ország északnyugati harmadán meghaladta a szokásost, helyenként 2-3-szoros többlet is előfordult, míg az Alföldön és a Dél-Dunántúlon sok helyen hiány jelentkezett. A két szélsőérték 13,8 mm (Derecske Petőfimagor) és 197,3 mm (Szőlősardó) volt.

HÉRINCS DÁVID

# A mitokondrium kora

**2. RÉSZ** A körülöttünk lévő élet túlnyomó része eukarióta, vagyis sejtmagvas sejtekből áll, mint például a növények, állatok és az emberek is. A Föld biomasszájának nagyobb részét viszont a sejtmag nélküli baktériumok és ősbaktériumok alkotják, azaz a prokarióták. Az eukarióták körülbelül 2 milliárd évvel a baktériumok után jelentek csak meg, azonban olyan evolúciós újításokat hoztak, amelyek nélkül a magasabb rendű élet nem alakulhatott volna ki. Az átmenet ritka és nehéz lehetett, ráadásul nem sok nyom maradt fenn róla, éppen ezért ma is heves viták övezik. E cikksorozatban a legelső eukarióták nyomába eredünk, hogy megtudjuk, mi indította el kialakulásukat és miért töretlen azóta is a csoport sikere, illetve, hogy hol tart ma a tudomány. Ebben a részben az eukarióta sejtek egyik legfontosabb alkotórészét, a mitokondriumot ismerjük meg, és megpróbáljuk felgöngyöltetni e sejt szervecske eredetét, amely szorosan összefonódott az eukariótákéval.

Akármilyen furcsa is belegondolni, de amikor mi, többsejtű eukarióta lények levegőt veszünk, valójában nem mi, hanem a sejtjeinkben élő millió és millió bakteriális partnerünk, a mitokondriumok lélegeznek. Azt talán már mindenki hallotta, hogy a mitokondrium őse egy évmilliárdokkal ezelőtt szabadon élt baktérium, amely valamiképpen beköltözött az eukarióta sejtek őseibe. Az együttélés e legintimebb formáját nevezzük *endoszimbiózis*nak, a mitokondriumot pedig *endoszimbióta* partnernek. A gazda a korábban önálló baktériumot munkára fogta, és saját energiatermelő szervecskéjévé tette. A két faj élete végérvényesen összefonódott, és mára az evolúció olyan tökéletesre csiszolta ezt a kapcsolatot, hogy a mitokondrium teljes gazdakontroll alatt él, miközben gyakorlatilag egymaga felel annak energiatermeléséért. A gazda biztonságot és tápanyagokat biztosít a számára, miközben fürdik az olcsó energiában – így mindenki jól jár. Ha egyfelől nézzük, gyönyörű példája ez a kölcsönösen előnyös munkamegosztásnak, ha másfelől, borzasztó rabszolgamunka. Persze ezek az emberi fogalmak nem alkalmazhatók az evolúciós porondon. Itt a lényeg az, hogy a partnerek csak akkor tudtak együtt maradni, ha a szelekció előnyben részesítette azokat az önálló életet élőkkel szemben. Annak járunk most utána, hogy milyen kacskaringós út vezetett a mitokondriumok eredetének megismeréséhez.

A mitokondrium kizárólagosan eukarióta sejtekben előforduló apró sejtalkotó, amely kettős membránba burkolt (ennek még fontos szerepe lesz). Kis területéhez képest hatalmas felületen képes légzést folytatni, az erősen redőzött belső membránjának köszönhetően (**1. ábra**). A légzés során a levegő oxigénjével (azaz *aerob* módon) rendkívül hatékonyan égeti el a cukrokat, és glükózmolekulánként körülbelül 36 ATP-molekulát (az energia sejt szintű valutája) képes termelni. Sejtenként akár több ezer is lehet belőlük, és mindegyik a maga félautonóm módján működik. Ez így megy szinte minden többsejtű és egysejtű eukariótában. De a baktériumokban is, csak ott nincs mitokondrium, hanem a sejt teljes felszíne végzi az energiatermelést.

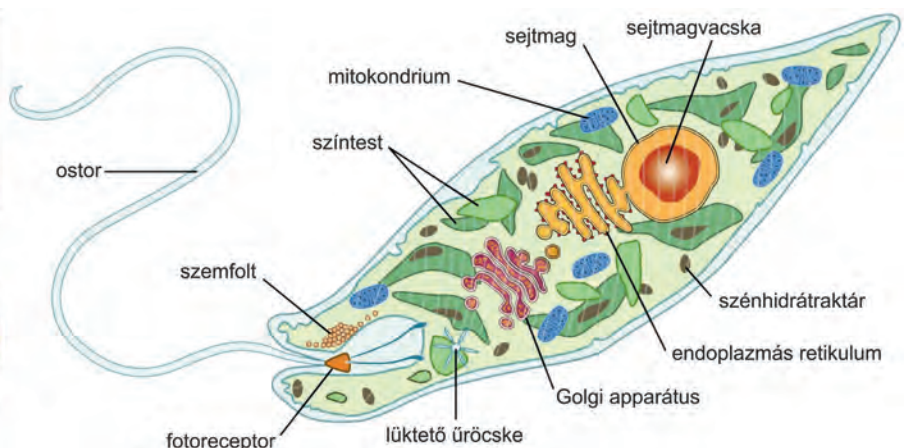
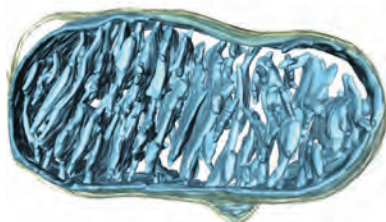
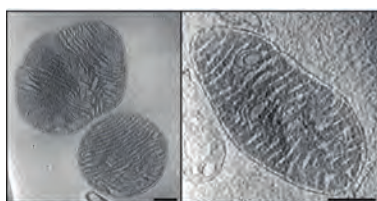
Ám hogy mi köze a baktériumoknak a mitokondriumokhoz, és hogyan került bele a mitokondrium őse az eukarióták őseibe, ahhoz tudnunk kell, hogy mi a sejtmag nélküli baktériumok és archeák, illetve a sejtmagvas eukarióták közötti különbség (lásd az előző részben). *Roger Stanier* és *Cornelis van Niel* 1962-ben vezették be a *prokarióta* és *eukarióta* kifejezéseket a biológiába [1]. Leszögezték, hogy az evolúció értelmében az egyik csoport a másiktól kellett, hogy kialakuljon – ez akkor korántsem bizonyult egyértelműnek. Egyszerűségük okán a prokariótákat tekintették ősibbnek, bár akkoriban abban nem reménykedhettek, hogy a csoport leszármazási viszonyait

egyhamar ki lehet majd bogozni. Egyúttal mellékesen rámutattak arra is, hogy prokariótákban soha nem található sejten belüli endoszimbiontákat. Ez utóbbi megállapítás rendkívül fontos a mitokondrium szempontjából, és úgy tűnik, még ma is igaz. Stanier és van Niel megállapításából egyenesen következett, hogy ha az eukarióták a prokariótákból jöttek létre, akkor az eukariótává válás során kellett a mitokondriumnak is megjelennie.

Az első (téves) elképzelések szerint a mitokondrium *endogén* evolúcióval jött létre, vagyis az organizmuson belül alakult ki, a rendelkezésre álló alkatrészekből. Pont mint oly sok más sejtalkotó, például a sejtváz, az ostor, vagy a sejtmaghártya. Ez logikusnak tűnik, hiszen membránok határolják a mitokondriumot, és membrán csak más membránból jöhet létre, azaz az eukarióta sejt hártya valamiféle belső gyűrődéséből jött létre a mitokondrium is. A prokarióták (vagyis az eukarióták ősei) a sejt hártya-jukon keresztül bonyolítják az anyagcseréjüket (2. ábra), tehát ha az egyikük képessé vált befelé gyűrni a légzőmembránját, és idővel ez a gyűrődés el is vált a sejt hártjától, akkor máris adott egy belső légzésért felelős szervecskénk. Így gondolta ezt évtizedeken keresztül mindenki, például Raff és Mahler is [2].

A prokarióták sejt hártya egy- vagy kétrétegű, a légzést vagy más anyagcserét pedig a belső membrán végzi. A belső membránról a plazma (a sejtet kitöltő folyadék) felé leváló membrángömb (*vezikulum*), akárhogy gyűrődjön is, csak egy membránból áll. A mitokondrium azonban két membránnal rendelkezik (2. ábra). Raff és Mahler szerint a lefűződött légzőmembrán köré idővel kialakult egy második membránburok. Igen ám, csakhogy amíg ez nem történik meg, addig a befelé lefűződött vezikulum nem tud érdemben lélegezni, mert ahhoz szükséges az a vékony, de annál speciálisabb térrész is, ami a két membrán között található. Azaz az endogén elmélet nem bizonyult kielégítőnek. Ekkorra azonban már beérett egy másik, sokkal meggyőzőbb hipotézis: az endoszimbionta eredet.

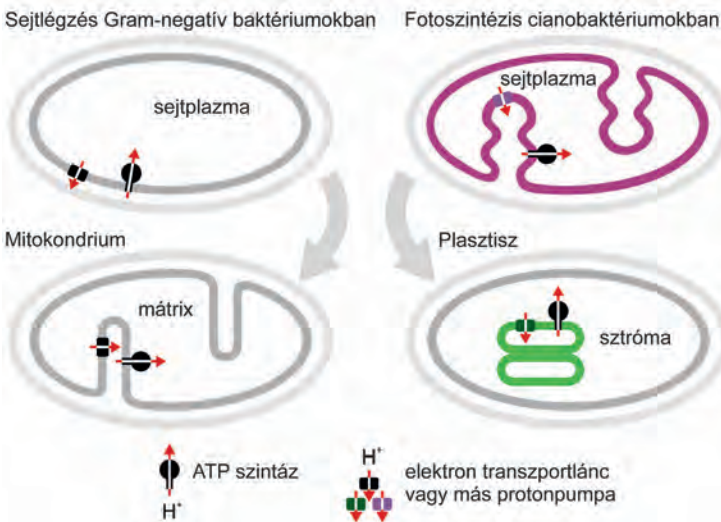
1. ábra. Egér mitokondrium elektronmikroszkópos képe és rekonstruált 3D struktúrája (balra). Mellette (jobbra) egy tipikus eukarióta egycsejtű, a zöld szemesostoros (Euglena). A mitokondriumok száma egy eukarióta sejtben akár több ezer is lehet.



## A sejszervecske színre lép

1880 óta többen is megállapították, hogy a növényi színtestek rendkívül hasonlítanak a baktériumokra, elsősorban azért, mert maguk is önállóan osztódnak a növényi sejten belül. *Andreas Schimper* német botanikus egyenesen odáig ment, hogy a növényi sejteket két organizmus társulásaként jellemezte. *Konstantin Szergejevics Merezskovszkij*, a gyászos lelkű, kórista lányokra előszeretettel vadászó orosz tudós 1905-ben már úgy vélte, hogy a színtestek félig autonóm, kívülről szerzett endoszimbionta partnerek a növényi sejtekben, el is nevezte a folyamatot *szimbiogenezis*nek. Ugyanakkor a mitokondrium endoszimbionta eredetét elvetve inkább a sejtmagot tekintette idegen eredetűnek. Ma kihagyott lehetőségnek tűnhet, de érthető, hogy Merezskovszkij a sejtmagra összpontosított: fajsúlyosabb eukarióta jegynek tűnt, mint az érdektelen, apró mitokondriumok, amelyeknek ekkor még a funkcióját sem ismerték. *Paul Portier* francia biológus 1918-ban már felismerte a mitokondriumok bakteriális eredetét, és úgy vélte, a magasabb rendű sejtek (eukarióták) korábban önálló egycsejtűek társulásaként jöttek létre. E gondolatok nagyon is előremutatónak bizonyultak!

Hosszú ideig azonban nem történt semmi. Az endoszimbionta-elméletet nem fogadta el a közvélemény, s ha méltatták is, legfeljebb csak mint szórakoztató fantazmagóriát (*entertaining fantasy*)[3]. Lassacskán azonban olyan sejtteni bizonyítékok kezdtek el gyűlni, amelyek új, izgalmas lehetőséget sejtettek. *Helmut Metzner* német növényélettanász 1952-ben DNS-t talált egy zöld alga színtestjében. Sajnos azonban ez nem sokakat érdekelt akkortájt, és senki sem kérdezte meg, mi a fenét keres ott a DNS. Aztán 1958-ban kiderült, hogy a mitokondriumok képesek saját fehérjéik szintetizálására. Ez azért lehetett érdekes, mert a fehérjék készítéséhez *mindig kell* DNS. A következő évben *Stocking* és *Gifford* igazolta, hogy a növényi színtestekben DNS is szintetizálódik. 1963-ban aztán *Margit* és *Sylvan Nass* a mitokondriumban is olyan fonalszerű szerkezeteket fedeztek fel, amelyeket csak a DNáz enzim tudott elemészteni, azaz DNS az anyaguk! Körvonalazódott tehát, hogy a színtestek és a mitokondriumok saját DNS-sel rendelkeznek.



2. ábra. A baktériumok, a mitokondrium és a szintestek alapvető szerkezete evolúciós kapcsolatokról árulkodik: a mitokondrium külső és belső membránjai megfeleltethetők a Gram-negatív baktériumok két membránjának. Az energiatermelés a belső membránban zajlik, de szükséges hozzá a két membrán közötti térrész, ahová a protonokat kipumpálja a sejt, s amelyek visszafelé áramolva meghajtják az ATP-gyártó enzimet (ATP-szintáz). A Gram-pozitív prokariótáknak nincs külső membránjuk, de van egy vastag peptidoglikán sejtfaluk, amely ugyanezt a funkciót látja el. (Forrás: Wikipedia)

Ez megmagyarázta, hogy miképp tudja a mitokondrium (és a szintest) a saját fehérjéit helyben legyártani, de hogy mit keres a DNS e sejtsejtszervecskében, az még nem tűnt világosnak. Hogy erre választ kaptunk, egyvalaki kitarató munkájának köszönhető.

1967-ben Lynn Margulis (akkor még a kozmológus Carl Sagan felesége) tekintette át a szaporodó bizonyítékokat, és az endoszimbionta eredetet leporolva egységes elméletben tálalta azokat: a mitokondrium és a szintestek (valamint csillók és ostorok, bár ezekről később kiderült, hogy nem) valaha élt prokarióták leszármazottai, amelyek évmilliók óta függőségben élnek eukarióta gazdáiktól. E belső szimbionták saját génei idővel véletlenszerűen törölődtek vagy átkerültek a gazda genomjába. Az ökolószabály az, hogy minél tovább él együtt a két partner, annál több gén kerül át a gazdába, míg már csak a legszükségesebbek maradnak helyben. S ha átkerültek, akkor már a gazda gyakorolta a kontrollt a gének kifejeződésén (mikor milyen fehérjét kell gyártani), a fehérjék irányításán (hogy jutnak el a mitokondriumba), és a szimbionták szaporodásán (összhangban legyen a gazda osztódásával). Ezt a folyamatot nevezzük *endoszimbionta géntranszfernek*.

A szakma hevesen ellenállt Margulis elméletének (láttuk, hogy még öt évvel később is Raff és Mahler az endogén eredetet bizonygatta), és a fiatal kutató

keziratát több, mint egy tucat folyóirat utasította el, míg végül a *Journal of Theoretical Biology*-ban megjelenhetett [4]. Érdekes módon Jostein Goksøyr ugyanebben az évben publikált Margulistól függetlenül egy nagyon hasonló konklúziójú, bár lényegesen rövidebb írást, a nívós *Nature*-ben. A két úttörő cikk közül Goksøyrét alig 100-szor, Margulisét azonban azóta már több ezer-szer hivatkozta a szakma. Munkája alapvetően változtatta meg az eukarióták eredetének felfogását és a kutatás következő korszakát, az iskolai tananyagának is részévé vált. S bár Merezkovszkij erkölcsileg védhetetlen életet élt, az endoszimbiozist érintő meglátásai nagy vonalakban ma is helytállóak. Egy tudományos eredmény objektív megítélése nem függhet az alkotó morális bukásától.

### Endoszimbiozis – de hogyan?

Hogyan is kell elképzelni az endoszimbionta eredetet? A kiváltó ok Margulis szerint a légkörben lassan emelkedő az oxigénszint, amit a fotoszintetizáló cianobaktériumok termeltek, ekkortájt már talán több milliárd éve. Ez problémát jelentett minden olyan organizmus számára, amely az oxigénmentes környezethez alkalmazkodott és *anaerob* (oxigént nem igénylő) anyagcserét folytatott. Nagyon sok anaerob folyamatot egyenesen gátol az oxigén, azaz mérgező a prokarióták számára. Számos közülük azonban képessé vált áttérni oxigénlégzésre (aerob anyagcserére). Ha tehát egy anaerob egysejtű meg tudott szelídíteni egy ilyen baktériumot, és a sejthártyáján belül gondozgatta annak élő egyedét, akkor az mentesíthette őt a légköri oxigén káros hatásaitól – legalábbis akkor így vélték. Amennyiben a kapcsolat mindkét fél számára előnyösnek bizonyult (a szimbionta tápanyagokat és biztonságot kapott), megértte együtt maradniuk és idővel olyan evolúciós adaptációk alakultak ki, amelyek révén a két faj együtt jobban tudott szaporodni. Ahogy egyre szorosabbra fűződött a két sejtvonal viszonya, egyre több gén került át a mitokondriumból a sejtmagba. Ez az endoszimbiontikus géntranszfer oda vezetett, hogy a mitokondrium lassan elvesztette önállóságát, és kizárólag a gazdán belül bizonyult életképesnek, és csak vele tudott szaporodni.

Az endoszimbiozis lényege, hogy az egyik sejt a *másikban* él. De hogy került oda? Az egyedüli sejtek, akik képesek más sejteket bekebelezni az eukarióták. Esetükben számolatlan példa szolgál erre: bekebelezés (*fagocitózis*) révén a ragadozó egysejtűek könnyen járnak úgy, hogy az elfogott zsákmány a sejten belül tartósan eléldelgél (valószínű, hogy a növényi szintestek is így jöttek létre, de mesterségesen is előidézhető, **3. ábra**).

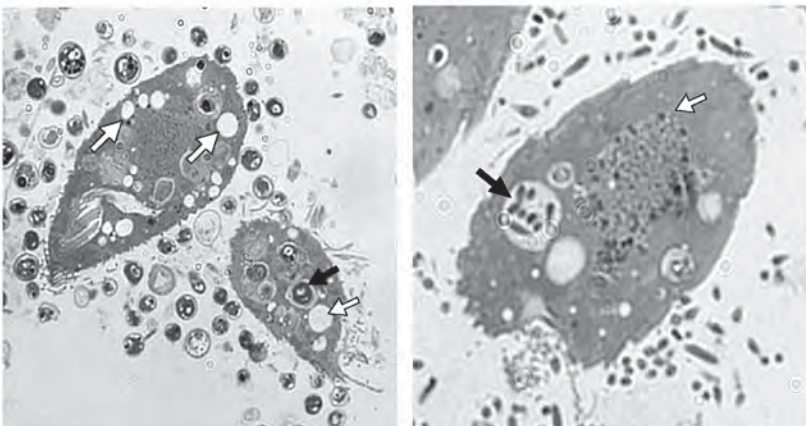
Mivel pedig akkortájt senki sem ismert fagocitáló prokariótát, ezért kézenfekvőnek tűnt feltételezni, hogy a mitokondrium gazdája egy ragadozó *eukarióta* egysejtű lehetett, mint a mai papucsállatka. E gondolatok mentén dolgozta ki az Archezoa-elméletet a '80-as években *Tom Cavalier-Smith*, elképesztően széles látókörű és termékeny brit evolúcióbiológus [5].

A bizonyítékok Cavalier-Smith szerint egyértelműnek tűntek: a ma megfigyelhető mitokondrium nélküli egysejtű eukarióták (*Giardia*, *Trichomonas* stb.) felelnek meg az ősi állapotnak, azaz ezek az egyenesági leszármazottai annak a sejtmagvas (eukarióta) ősnek, amelyik még nem kebelezte be a mitokondrium őseit. El is nevezte ezeket Archezoának (latin: „*ősi élőlények*”, nem összetévesztendő az archeákkal, azaz ősbaktériumokkal), s önálló alkirályságba helyezte el azokat az eukarióta törzsfa tövével (**4. ábra**). A mitokondrium pedig csak később jelent meg egy Archezoa-csoportban, mely minden mai mitokondriumos eukarióta őse. Az Archezoa-hipotézis meggyőzőnek tűnt, nem utolsó sorban Cavalier-Smith kimerítően hosszú és alapos publikációi miatt (az ötven oldalas cikkek nála rövidnek számítottak). Az viszont, hogy elsősorban összehasonlító sejtanatómiai tulajdonságokra alapozta az elméletet, egyesek szerint kevésnek bizonyult a halmozódó genetikai és törzsfejlődéstani bizonyítékokkal szemben.

### Mitokondriumok és rokonaik

„*A tudományra jellemző, hogy szembemegy a mindennapi tapasztalatainkkal*” — írja *Szigetvári Péter* nyelvész [6]. De írhatta volna bármely tudományterület kutatója,

**3. ábra.** A fagotrófia mint egy lehetséges módja az endoszimbiozisonak. Egy laborkísérlet során *Tetrahymena* eukarióta egysejtűek *E. coli* baktériumokon éltek (jobbra), de időnként véletlenül algasejteket is bekebeleztek (balra). Az elfogott zsákmánysejtek már az emésztésre váró fagoszómában csücsülnek, amit a fekete nyílak jelölnek. A fehér nyíl üres vakuólumokat (balra), illetve a gazdasejt makronukleuszát jelöli (jobbra). Ha a zsákmánysejtek el tudják kerülni az emésztést, akár tartósan is megélhetnek a gazdán belül. Ha eközben még segítenek is a gazdának (például oxigént vagy cukrokat termelnek), akkor a kapcsolat mindkét félnek előnyös lesz [17].



olyan igaz. Mert ezek a fegyelmehetetlen bizonyítékok megint szembementek a fősodorbeli elméletek jóslataival. Cavalier-Smith elméletének sarokkövét az Archezoa-csoport feltételezett ősi, primitív léte jelentette. A '70-es évektől kezdve azonban egyre több különleges mitokondrium-fajtát és azok tulajdonságait ismertük meg, és rohamtempóban zajlott a fajok genetikai szekvenálása is, vagyis DNS-ük, mRNS-ük és fehérjék betű szerinti összehasonlítása. Ez minden sejtani összehasonlításnál pontosabb felbontásban mutatta meg a leszármazási viszonyokat.

*John* és *Whatley* a '70-es évek végén úgy találták, hogy a *Paracoccus* alfaproteobaktérium sokkal jobban hasonlít a mitokondriumra, mint bármely más baktérium, ezzel szolgáltatva bizonyítékot az endoszimbionta eredetre [7]. Belső membránrendszerük is hasonló szerveződésű: e szerint a mitokondriumok két membránja megfelel a bakteriális ős dupla sejthártyájának. Remek, nem kell elszámolni az extra membránnal! A mitokondriális és a bakteriális rRNS-szekvenciák közötti hasonlóságok végül egyértelműen igazolták a mitokondriumok bakteriális eredetét [8][9].

Közben *Müller Miklós* és munkatársai felfedezték, hogy egyes eukarióták mitokondrium nélkül is képesek ATP-t termelni, úgynevezett *hidrogenoszómákkal* [10][11]. Ez még önmagában nem lett volna különösebben érdekes, mivel ezek a sejtszervecskék a mitokondriummal ellentétben nem oxigén segítségével, hanem anaerob módon termelték az energiát (valamint közben hidrogént is) és DNS-t sem tartalmaztak. Ám kiderült, hogy azok az eukarióták, amelyekben nincs mitokondrium, de található hidrogenoszóma, szintén tartalmaznak mitokondriális géneket, még hozzá nagyon hasonlókat! Az endoszimbionta-elmélet szerint e sejtszervecskék egymás rokoni, és a géneik fokozatosan kerültek át a gazda sejtmagjába egy egykor létezett mitokondriumból. Azaz e gének végső soron a mitokondriumok, hidrogenoszómák (és mitoszómák) közös bakteriális eredetét igazolták. Mivel minden mai eukarióta hordoz ilyen géneket, ez egyúttal azt is jelentette, hogy minden mitokondrium-származék közös őse már megjelent minden ma élő eukarióta közös

ősében! A halmozódó bizonyítékok miatt 1998-ra nyilvánvalóvá vált, hogy az Archezoa-elmélet tarthatatlan. Végül drámai módon az összes Archezoa elesett a harcban: mindről kiderült, hogy vagy rendelkeznek csökevényes mitokondriummal, vagy a sejtmagjukban hordozzák az elvesztett mitokondrium génjeit. Az Archezoák tehát nem képviselnek ősi állapotot, az Archezoa-csoport pedig okafogyott lett.

Felfalás helyett közös ebéd

A szaporodó ellenérvek súlya alatt az évszázad végére több alternatív elmélet is napvilágot látott. A legfontosabbnak *Bill Martin* amerikai és *Müller Miklós* magyar kutatók közösen kidolgozott hidrogén-hipotézise bizonyult [12]. E szerint a két partner nem ragadozó–zsákmány viszonyban élt, hanem mindkettő önellátó, és anyagcseretermékeik révén éltek kölcsönösen előnyös kapcsolatban: a mitokondrium őse anaerob módon hidrogént termelt, amit az eukarióta sejt őse belélegzett, így segítve egymást.

Az elmélet szerint a mitokondrium jelent meg leg hamarabb az eukariótává válás során. Ezt *Martin* két érveléssel támasztotta alá. Először is, a ragadozás (*fagotrófia*) energetikailag költséges mulatság, mitokondrium nélkül nem lehet finanszírozni. Másodszer pedig a sejtmag valószínűleg pont azért alakult ki, hogy megakadályozza a véletlenül kiszabaduló mitokondriális gének kontrollálatlan *hibridizálódását* a gazda génjeivel, ez ugyanis bizonyára halálos mutációkhoz vezetett. Ha viszont eredetileg nem helyezkedett el sejtmag a gazdában, akkor mindkét ősi partner prokarióta, a gazda egy archea (nem összetévesztendő a bukott Archezoákkal), a szimbionta egy baktérium. *Martin* szerint a mitokondrium a maga szolgáltatta energetikai többlettel tulajdonképpen berúgta az eukarióta-fejlődés motorját, és lehetővé tette az eukarióta-vívmányok kialakulását: a méret- és genomnövekedést, a ragadozó anyagcserét, a fagocitózist, illetve a sejtmag és egyéb belső membránok kialakulását stb. Ekkoriban az eukarióta-vívmányokért felelős fehérjéket szinte kizárólag eukariótákból ismertük, a hidrogén-hipotézis pedig nagyon meggyőzően érvelt amellett, hogy az eukarióta sejt nem létezhet és evolúciósan nem alakulhat ki mitokondrium nélkül.

Számos baktérium képes anaerob légzésről aerobra váltani az aktuális környezetre reagálva. Feltehetően a mitokondrium őse is így tett, és ahogy aztán növekedett a légköri oxigénszint, egyre nagyobb hangsúlyt kapott az aerob légzés is a repertoárjában. Az ilyen fajta anyagcsere-kapcsolat az egysejtűek, és kimondottan a prokarióták között rendkívül gyakori, és úgy hívják: *szintrófia*, „együtt evés”. Gyakorlatilag mindenhol előfordul a tengerek mélyétől a talajon át az ember bélrendszeréig.

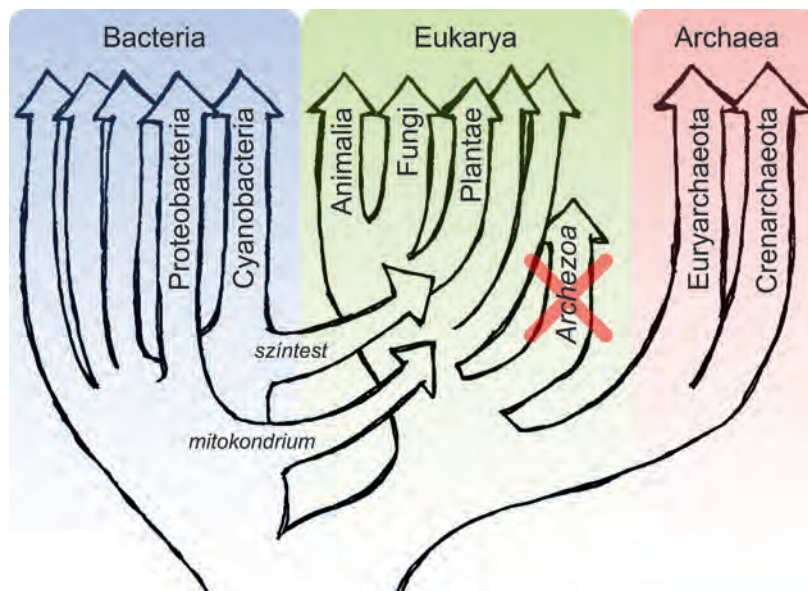
4. ábra. Egy idejétmúlt elképzelés az élet fájáról. *Cavalier-Smith* Archezoa-hipotézise szerint a mitokondriummal nem rendelkező eukarióták az ősi állapotot képviselik és az eukarióta törzsfa tövénél ágaznak le. Azóta kiderült, hogy mindegyik ide sorolt fajnak létezett valaha mitokondriuma. Át is sorolták ezeket más eukarióta csoportokba, és az Archezoa-csoport feloszlott [18].

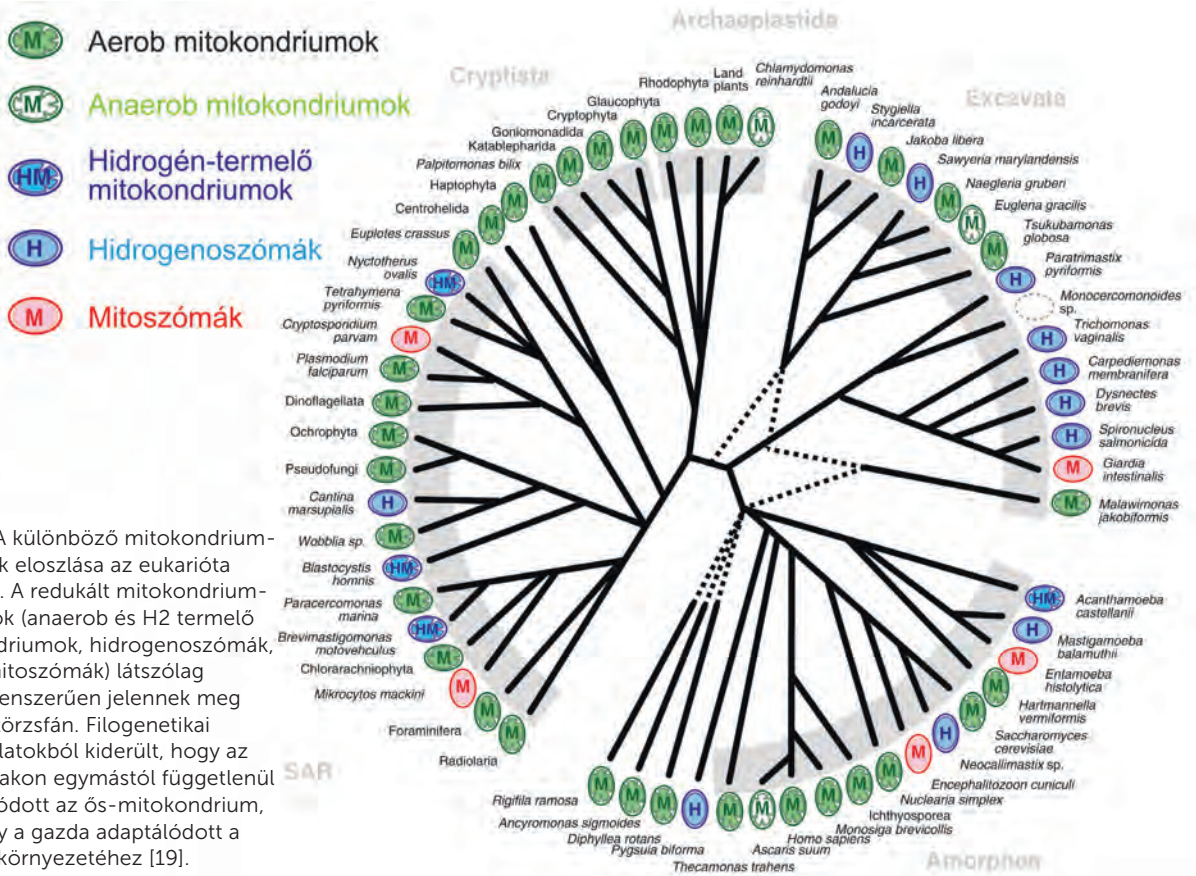
A gyors evolúciójú, jellemzően génvesztéssel adaptálódó prokarióták világában ez a fajta egymásra utaltság nagyon könnyen kialakul. Gondoljunk csak bele, adott egy forrás, amin több baktériumfaj is megél, mindegyik bontja, ahol éri. Abban a pillanatban, hogy egy faj elveszíti az erőforrás elbontásához szükséges enzim génjét, előnybe kerül, hiszen a többi faj továbbra is bontja azt, és a termék (nem lévén a baktériumoknak szája, gyomra) szabadon hozzáférhető, ahogy elszivárog. Ez persze potyázás, de ha cserébe a csaló nyújt valami hasznosat a másik fajnak, amit csak az tud termelni, akkor a két faj együtt gyorsabban nőhet, mint külön-külön. Ez a mikrobiális munkamegosztás egy formája, és egyúttal *Martin* szerint az endoszimbiózis kezdő lépése is.

Az elmélet egyik fontos jóslatának bizonyult, hogy minden ma élő (anaerob) hidrogenoszóma valójában az ősi mitokondrium leszármazottja, és az ősi, fakultatív anyagcsere visszamaradt nyomait hordozza. 2002-ben ez fényesen be is igazolódott, amikor *Mark van der Giezen* holland mikrobiológus és munkatársai bizonyították, hogy minden hidrogenoszóma az ősi (fakultatívan) anaerob mitokondriumtól származik [13]. A sorozatosan megbukó Archezoák (akik tehát eukarióták) és az egyre jobban megismert archeák (akik meg prokarióták) és tulajdonságaik egyre jobban alátámasztották a hidrogén-hipotézist. Úgy tűnt, minden kérdésre választ kaptunk – kivéve arra, hogy ha nem bizonyult fagotrófnak a gazda, akkor hogy fogta meg a mitokondrium őst?

Archezoa, vagyis elő-eukarióta?

Minél jobb egy elmélet, annál nagyobb kritikát kap. Így történt ez a hidrogén-hipotézissel is, ami kapott meleget, hideget. Az évek során számos bizonyíték erősítette meg. Például a nemrégiben felfedezett *Loki*, az eukarióták (és így az ősi gazda) legközelebbi archea rokona (lásd előző rész), valóban hidrogénfüggő [14]. De a legfőbb ellenérv változatlanul megállja a helyét:





5. ábra. A különböző mitokondrium-fajták eloszlása az eukarióta törzsfán. A redukált mitokondrium-rokonok (anaerob és H<sub>2</sub> termelő mitokondriumok, hidrogenoszómák, mitoszómák) látszólag véletlenszerűen jelennek meg a törzsfán. Filogenetikai vizsgálatokból kiderült, hogy az egyes ágakon egymástól függetlenül redukálódott az ős-mitokondrium, ahogy a gazda adaptálódott a környezetéhez [19].

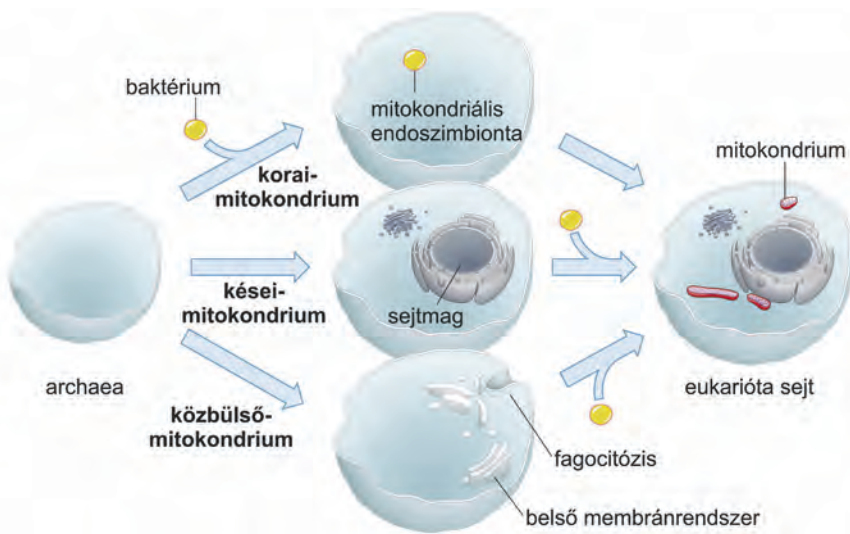
prokarióták között nem ismerünk egyetlen példát sem endoszimbiózisra. Létezik rengeteg olyan szimbiózis, ahol a sejtek kívülről tapadnak egymáshoz – de sosem kerül be egyik partner a másikba. Hogyan is tudna, ha nincs fagocitózis, és minek is tenné, ha teljesen jól működik a külső partnerkapcsolat? Ezekre a kérdésekre bármilyen választ is ad a hidrogén-hipotézis, az példák híján szükségszerűen spekulatív.

Viszont a tudomány nem állt meg, és az elmúlt évtizedek sejtani és filogenomikai kutatásai egészen elképesztő eredményeket szolgáltatottak. 2016-ban leírtak egy parazita életmódú egyszélű, ragadozó ostoros eukariótát, a *Monocercomonoides*-t. Ebben még csökevényes mitokondrium sincs és elvesztett minden tipikus mitokondriális gént is a sejtmagból a parazita életmód miatt [15]. Mindezek ellenére, mitokondrium nélkül is „teljes értékű” eukarióta életet él, aktívan mozog és más sejteket ragadoz. Nyilvánvalóan nem igaz tehát, hogy a fagocitózis mitokondrium nélkül nem fenntartható, illetve, hogy a mitokondrium elengedhetetlenül szükséges az eukarióta életmódhoz. De vajon elengedhetetlen lehetett az eukarióta sejtek kialakulásához?

Az elmúlt 30 év legkomolyabb mikrobiológiai fejleménye az archeák egyre alaposabb, genomszintű megismerése. Az előző részben már szó esett erről, és a későbbiekben részletesebben is írok majd róluk. Az eredmények alapjaiban forgatták fel a tudományos világot, elsősorban azért, mert számos olyan szerkezetet, fehérjét és gént találtak meg bennük, amelyekről

addig azt hittük, kizárólag az eukariótákban jelentek meg. Mindez azt sugallja, hogy az archeák sokkal közelebb állnak az eukariótákhoz, mint azt valaha hittük. Ami pedig még fontosabb, az eukarióta-vívmányok nem feltétlenül exkluzívak, és igen is kialakulhatnak korlátozott prokarióta energiaháztartás mellett is. Vagyis mitokondrium nélkül (értsd: előtt!) Való igaz, hogy ezek a gének nem mind egy archeában találhatóak meg, hanem elszórva a törzsfán, de azért gondolkodóba ejtették a kutatókat. Ha mitokondrium nélkül ennyi mindent ki lehet fejleszteni, akkor nem lehet, hogy a mitokondrium ősi gazdája csak egy *picit* bizonyult fejlettebb archeának, mint az átlag, és valami egyszerű szegény ember fagocitálásával be tudta fogni az első mitokondriumot?

A gondolatot többen is megfogalmazták, a legizgalmasabban talán *Joran Martijn* és *Thijs Ettema*, akik egy fejlett, fagocitálásra képes archeát feltételeztek őznek, amiben lassan kialakult a sejtmag (talán a sok korábban megevett zsákmányból kiszabaduló DNS-szemét miatt), majd elfogta a mitokondrium őseit [16]. Ez a Martin által feltételezett korai-mitokondrium-elmélet ellentéte, mivel itt a mitokondrium érkezett utoljára (6. ábra). Ismerős forgatókönyv? Igen, ez az Archezoa-elmélet, új köntösben, csak itt nem elő-eukariótának, hanem valódi archeának tituláljuk a gazdát! Persze csak addig, amíg sejtmagja nem lett, mert onnantól definíció szerint eukarióta, s egyúttal Archezoa, mivel még nincs mitokondriuma. Figyelem, az Archezoák



6. ábra. Az eukarióták és a mitokondrium eredetének lehetséges forgatókönyvei: felül Martin és Müller hidrogén-hipotézise, középen Cavalier-Smith Archezoa-hipotézise, alul pedig Martijn és Ettema fagocitáló archea-elmélete [20].

bukásával csak a taxonómiai csoport vált tarthatatlanná, ám az életforma mint betölthető szerepkör nem! Szerencsére Tom Cavalier-Smith még megélte ezt a fordulatot, és talán megnyugodva távozatott 2021-ben. De azt azért fontos leszögezni, hogy egyelőre nem találunk fagocitáló archeát.

### Az egyidejűség látszata

Mostanra elég pontosan ismerjük a két partner felmenői rokonságát, és megbízhatóan állíthatjuk, hogy a mitokondrium őse egy fakultatív anaerob baktérium (az csoportból), míg a gazda őse egy archaea, amelynek ma élő legközelebbi prokarióta rokonai az Asgard ágon található. Tudjuk, hogy az eukarióta-vívmányok (sejtmag, mitokondrium, fagocitózis és minden más exkluzív eukarióta tulajdonság) már megjelent az utolsó közös eukarióta ősből (minden ma élő eukarióta őseben). Ugyanakkor az eukariótává válás kezdeti fázisa továbbra is heves viták tárgya. Az ok változatlanul az, hogy mivel nem maradtak fenn köztes láncszemek, nem tudjuk, hogy a sejtmag, mitokondrium és fagocitózis milyen sorrendben jelentek meg. Másfél milliárd év távlatából úgy tűnhet, szinte minden egy időben jelent meg, holott ez nyilván nem így történt.

Jelenleg nem ismerünk sem fagocitáló archeákat, sem mitokondriumos prokariótákat, sem olyan eukariótákat, amelyek eredendően nem rendelkeznek mitokondriummal. Vagyis egyik alapvető elmélet (6. ábra) sem tud perdöntő bizonyítékot felmutatni. Mindegyik mellett szólnak erős érvek, és mindegyiket gyengítik bizonyos megfigyelések (avagy azok hiánya, gondoljunk csak az egyelőre meg nem talált prokarióta endoszimbiózisokra). Valóban a mitokondrium lenne a rejtély kulcsa, vagy az csak egy lehetett az eukarióta endoszimbiózisok hosszú

sorából, esetleg nem is az első? A következő részekben alaposabban utánanézzünk a gazdasejt ma élő rokonainak és feltételezett ősi anyagcseréjének. Joggal remélhetjük, hogy a partnerek kezdeti kapcsolatának felderítése magyarázatot adhat arra, milyen körülmények között milyen sejtek is léptek kapcsolatba másfél milliárd éve.

ZACHAR ISTVÁN

### IRODALOM

- [1] Stanier, R. Y. & Niel, C. B. van (1962): The concept of a bacterium. *Archiv für Mikrobiologie*, 42, 17–35.
- [2] Raff, R. A. & Mahler, H. R. (1972): The non symbiotic origin of mitochondria. *Science*, 177, 575–582.
- [3] Wilson, E. B. (1928): The cell in development and heredity, 3rd revised edition. Macmillan Company, New York.
- [4] Sagan, L. (1967): On the origin of mitosing cells. *Journal of Theoretical Biology*, 14, 225–274.
- [5] Cavalier-Smith, T. (1989): Archaeobacteria and Archezoa. *Nature*, 339, 100–101.
- [6] Szigetvári, P. (2012): Semmi ágán... Az körtétől a almáig. *Nyelv és Tudomány*, <https://m.nyest.hu/hirek/semmi-agan>.
- [7] John, P. & Whatley, F. R. (1975): *Paracoccus denitrificans* and the evolutionary origin of the mitochondrion. *Nature*, 254, 495–498.
- [8] Schwartz, R. M. & Dayhoff, M. O. (1978): Origins of prokaryotes, eukaryotes, mitochondria, and chloroplasts. *Science*, 199, 395–403.
- [9] Bonen, L., Cunningham, R. S., Gray, M. W. & Doolittle, W. F. (1977): Wheat embryo mitochondrial 18S ribosomal RNA: evidence for its prokaryotic nature. *Nucleic Acids Research*, 4, 663–671.
- [10] Müller, M. (1993): Review article: The hydrogenosome. *Journal of General Microbiology*, 139, 2879–2889.
- [11] Lindmark, D. G. & Müller, M. (1973): Hydrogenosome, a cytoplasmic organelle of the anaerobic flagellate *Tritrichomonas foetus*, and its role in pyruvate metabolism. *Journal of Biological Chemistry*, 248, 7724–7728.
- [12] Martin, W. & Müller, M. (1998): The hydrogen hypothesis for the first eukaryote. *Nature*, 392, 37–41.
- [13] Giezen, M. van der et al. (2002): Conserved properties of hydrogenosomal and mitochondrial ADP/ATP carriers: a common origin for both organelles. *The EMBO Journal*, 21, 572–579.
- [14] Sousa, F. L., Neukirchen, S., Allen, J. F., Lane, N. & Martin, W. F. (2016): Lokiarchaeon is hydrogen dependent. *Nature Microbiology*, 1.
- [15] Karnkowska, A. et al. (2016): A eukaryote without a mitochondrial organelle. *Current Biology*, 26, 1274–1284.
- [16] Martijn, J. & Ettema, T. J. G. (2013): From archaeon to eukaryote: the evolutionary dark ages of the eukaryotic cell. *Biochemical Society Transactions*, 41, 451–457.
- [17] Nakajima, T., Sano, A. & Matsuoka, H. (2009): Auto-/heterotrophic endosymbiosis evolves in a mature stage of ecosystem development in a microcosm composed of an alga, a bacterium and a ciliate. *Biosystems*, 96, 127–135.
- [18] Doolittle, W. F. (1999): Phylogenetic classification and the universal tree. *Science*, 284, 2124–2128.
- [19] Roger, A. J., Muñoz-Gómez, S. A. & Kamikawa, R. (2017): The origin and diversification of mitochondria. *Current Biology*, 27, R1177–R1192.
- [20] Ettema, T. J. G. (2016): Mitochondria in the second act. *Nature*, 531, 39–40.



HULLADÉKHASZNOSÍTÁS A TERMÉSZETTUDOMÁNY KÖZLÖNYBEN

## Mire tanít a háború?

Előző havi lapszámunkban kiderült, hogy már 150 évvel ezelőtt is jelentek meg cikkek lapunkban, amelyek a hulladékgazdálkodással foglalkoztak. Ráadásul olyan modern gondolatok kerültek elő ezekben, amelyek ma is teljesen megállják a helyüket. Ha tovább lapozgatjuk a Természettudományi Közlöny évfolyamait, azt látjuk, hogy bár rendszeresen előfordul a téma a lap hasábjain, de időnként mintha nagyobb figyelem fordult volna a hulladékok újrahasznosítására.

Ha belegondolunk, ez törvényszerű – részben a tudomány működése miatt. Amiről sok kutatás van, sok cikk születik, az jobban a közfigyelem, és így a kutatói figyelem központjába kerül, és fordítva, ami a közbeszédben van, arra fognak irányulni a kutatások is. A mai napig így működik a tudomány világa – manapság is vannak felkapott témák, a pozitív visszacsatoláson alapuló, önmagát erősítő folyamatok ma is hatnak, a tudományban is.

Mégis, ha a hulladékokkal kapcsolatos cikkek előfordulását nézzük a lapban, feltűnik, hogy egyes történelmi eseményeknek is fontos szerepe lehet a téma felszínre kerülésében, lendületet szerzésében. Egy ilyen fontos történelmi esemény pedig az első világháború volt. A „hulladék” szó szereplésének lapunkban 2016-ban van egy szignifikáns csúcsa – és a cikkekben ekkoriban természetesen a háborúnak, a hadi kutatásoknak

és a háború hatásainak az elemzése is hangsúlyosan szerepeltek. A hulladékok felhasználásával foglalkozó cikkek is gyakran a háborús állapotok szükséghelyzetével indokolják a téma fontosságát.

### Zsír a hadigazdaságban

1916-ban például Halmi Gyula *A szennyvizek zsírtartalmának visszaszerzése* című cikkben így fogalmazott: *„A háború nagy tanítómester. Már eddig is megtanított arra, hogy a legértéktelebber hulladékot is gazdaságosan fölhasználhatjuk. ... Annak, hogy iparunk is megszívlelte a háború ínséges idejének tanulságait, biztató jele az, hogy nagy textilgyáraink, posztó- és textilfestőgyáraink, amelyek értékes szennyvizeiket eddigelé meggondolatlanul és könnyelműen az élővizekbe bocsátották le, a legkomolyabban foglalkoznak azzal a tervvel, hogy mihelyt a gépipar helyzete azt lehetővé teszi,*

üzemüket a szennyvizeikben foglalt és eddig értékesítetlenül elveszett gyapjúhulladék, gyapjúzsír és becses kálisók rendszeres visszaszerzésére fogják berendezni.”

A publikációban a hangsúly a zsiradékok — nem kizárólag élelmezési célú — fontos szerepén van. A háborús helyzetben természetesen ebből is hiány mutatkozott — így felértékelődött az a veszteség, ami addig szó szerint eltűnt a lefolyóban... Nem a vizek védelme volt tehát a fő szempont — bár utalás szintjén azért kiérezhető ez is a szövegből —, hanem praktikus szempontok: ahogy a cikk írja, akkoriban azt becsülték, naponta fejenként 10 g zsiradékot „pocsékolta el” a lakosság azzal, hogy mosogatáskor vagy egyéb módon az a szennyvízbe került.

Már a háború előtt léteztek ennek „megfogására”, visszanyerésére technológiák, de egyrészt nem igazán voltak hatékonyak, másrészt az elterjedésük is eléggé korlátozva volt. Halmi Gyula tehát a legújabb kutatásokat ismertette, amelyek segítségével a különböző szennyvizekből és -iszapokból vissza kívánták nyerni ezeket az értékes anyagokat.

Halmi Gyula egyébként ekkoriban vegyészként a magyar királyi halélettani és szennyvíztisztító állomáson dolgozott — így első kézből ismerte a témát. („Mellesleg” egyébként a Vegyészeti Lapoknak és Magyar Chemiai Folyóiratnak is szerkesztője volt.)

Tanulságos, hogy ezekszerint már a XX. század első évtizedében volt ilyen állomás, illetve az is nagyon érdekes, hogy a szerző cikkében megemlíti egy német tudományos folyóiratot, a *Zeitschrift für Abfallverwertung*ot, amelynek címe magyarul így hangzik: *Magazin a hulladék újrahasznosításáról*. „Annak, hogy a hulladékok hasznosítását mennyire jelentősnek tartják Németországban, élénk bizonyossága az is, hogy ez év elején *Zeitschrift für Abfallverwertung* címmel új szakfolyóirat is indult meg.” - írja Halmi Gyula. Az, hogy egy ilyen című lap már akkoriban létezett, azt mutatja, hogy a hulladékgazdálkodás, az újrahasznosítás témáját már akkor is kiemelt fontosságúnak tartották. Egy másik jel, hogy hazánkban is odafigyeltek már erre, éppen a cikk szerzőjének az egyik könyve: „*A mesterséges biológiai szennyvíz tisztítás fejlődése hazánkban*”.

A háború rányomta a bélyegét a gazdaságra



Pazarlás elleni plakát a háború idejéből

## Szárított sörélesztő

Ahogy az múlt havi cikkünkben is kiderült, nem csak a hulladékok hasznosításának motivációja volt más, hanem az is, hogy mit értettek ezen fogalom alatt. A manapság sok gondot okozó műanyag hulladékok még nem léteztek — vagy legalábbis a maihoz képest elhanyagolható mennyiségben —, ellenben a különböző élelmiszeripari, mezőgazdasági hulladékok sokkal nagyobb szereppel bírtak. Ezek újrahasznosítása azonban nem kevésbé fontos. Erre jó példa Sigmond Elek 1915-ben megjelent cikke, „*A levegő nitrogénjének és a szárított sörélesztőnek értékesítése táplálkozásunk céljaira*.”

A sörgyártás már nagyüzemben folyt — a szerző szerint akkoriban Magyarországon kerekén hárommillió hektolitert termeltek. Ebből évente 46 000 hektoliter sörélesztő, és körülbelül 10 500 hektoliter sörseprő keletkezett, amellyel addig nem sok mindent tudtak kezdeni, nemigen tudták értékesíteni. Erre a problémára találtak megoldást Németországban: „*Ezt a feladatot*



Lőgyapot, azaz nitrocellulóz robbanása

*Németországban már a háború kitörése előtt megoldották, de az eljárásnak igazi jelentősége csak a háború kitörése óta tűnt ki. Az eljárás az élesztő szárítása.*

A háborús időkben az így megmentett fehérjetartalom nagy segítséget jelentett. Ugyan már korábban is használták takarmányként, de az inséges időkben nagy igény mutatkozott arra, hogy az élelmiszeriparban a hulladék mennyiségét drasztikusan csökkentsék. A szárítás mint technológia már bevált például a burgonya romlékonyságának csökkentésében: „Ez az ipar segítette Németországot most a háború alatt gabonaszükségleteinek kiegészítésében. A német burgonyakenyeret („K-Brot”) legalább 10% szárított burgonyával készítik.”

Az, hogy sikerült a sörélesztőt is emberi fogyasztásra alkalmassá, fehérjeforrássá tenni, nagy vívmány volt: a cikkben látványos táblázatok ecsetelik, milyen élelmiszereknél

Ebben az időben

a Természettudományi Közlönyben is központban volt a háború

## TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY.

Megjelenik minden hónap 4-én és 15-én, legalább 2 nagy nyolczadéttel tartalommal; időnként szövegközi rajzokkal illusztrálva.

HAVONKÉNT KÉTSZER MEGJELENŐ FOLYÓIRAT KÖZÉRDEKŰ ISMERETEK TERJESZTÉSÉRE.

E folyóiratot a társulat tagjai az évdi felében kapják; nem tagok részére a Pótfüzetekkel együtt előfizetési ára 12 korona.

XL VIII. KÖTET. 1916 JANUÁRIUS 1 – JANUÁRIUS 15. 641 – 642. FÜZET.

### A táplálkozásreformok és a háború.

A táplálékszükséglet megállapítása céljából végzett élettani vizsgálatok eredménye abban foglalható össze, hogy a 70 kg súlyú felnőtt embernek, ki számbavehető testi munkát nem végez, annyi táplálékot kell naponta szervezetében feldolgoznia, a mennyinek hőtermelése testünkben mintegy 2500 hőegység (kalória).<sup>1</sup> Ebből a 2500 hőegységből körülbelül 400 hőegységnek fehérje elégségéből kell származnia, s ezt 100 g fehérje képes szolgáltatni, a többi 2100 hőegység pl. 50 g zsír és 400 g szénhidrát<sup>2</sup> együttes elégségéből fejlődhetik. Ugyanis egy gramm fehérje vagy szénhidrát égéshője szervezetünkben 4,1, egy gramm zsír pedig 9,3 hőegység. Az összes termelt meleg tehát:

100 gramm fehérje × 4,1	.....	=	410 hőegység,
400 „ szénhidrát × 4,1	.....	=	1640 „
50 „ zsír × 9,3	.....	=	465 „
Összesen			..... 2515 hőegység,

vagyis kereken 2500 hőegység.

jobb tápanyagforrás a sörélesztő... Ugyanakkor valószínűleg nem véletlen, hogy manapság mégsem fogyasztjuk nagy mennyiségben ezt az akkoriban szinte „superfood” kategóriában használt anyagot.

### Növényi fonóanyagok

A cellulózzal leginkább a papír juthat eszünkbe, ha a háborús körülményekre gondolunk, esetleg eszünkbe juthat a vatta mint sérüléseknél használatos eszköz. De 1915-ben természetesen egy másik típusú háborús felhasználás került előtérbe: a nitrocellulózként való használata. Bár nagy hatóerejű robbanóanyagról van szó, megbízhatatlansága és egyéb tulajdonságai miatt a világháborúban már nem használták széles körben, ám a vízi aknáknak és torpedóknak jellemző robbanószer volt. Bodócs István *A robbanógyapot készítése és alkalmazása* című cikkében ezt az anyagot vette górcső alá, és a következőket állapította meg: „A robbanógyapotot természetesen nem drága vattából, hanem a nagy részben szintén cellulózból álló szövőipari hulladékokból készítik. Az ilyen hulladék olcsó s ami a fő, rengeteg mennyiségben áll rendelkezésünkre, s így a feldolgozást nagyban lehetővé teszi. A feldolgozás előtt elsősorban az említett hulladékba került idegen anyagokat távolítják el osztályozás útján, azután a nyersanyagot kémiai úton tovább tisztítják.”

A hulladék hasznosításának itt tehát egy újabb motívációja és célja van: a melléktermék egy konkrét hadianyagként hasznosulnak újra. Érthető, hogy az addig hulladékba kerülő anyag más módon történő újrahasznosítása új lendületet kapott a háborúban.

Nem kell azonban olyan drámai fordulatokra várni a hulladékgazdálkodásunk újratervezésével, mint egy világháború. Természetes, hogy egy tragikus világégés nagy lökést tud biztosítani az ilyesmihez, de jobb, ha előre tudunk gondolkodni, és megváltoztatni életmódunkat, gazdaságunkat, társadalmunkat. Jobb, ha mi tesszük meg még addig, amíg lehet, és nem várunk a háborúhoz hasonlóan szörnyű kényszerítő erők hatására.

P. B.

A KEHOP-3.1.5-21-2021-00003 sz. projektet támogatta Magyarország Kormánya és az Európai Unió.

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Kohéziós Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE



BIZONYTALAN FAGYTÜRÉSI ZÓNÁK

## Egy alkalmazott térkép tudományos alapjai

Gyönyörű díszfa a liliumfa. Nyitóképünkön is látható mutatós, fehér virágaival, sötétzöld, bőrszerű leveleivel, örökzöld lombjával szép dísz a kertnek. Egy baj van vele: fagyérzékeny. Ha napos, meleg ősz híján vesszői nem érnek be, a kemény téli fagyok károsíthatják. Sebj, a faiskolai katalógus szerint a 7-es, vagy annál enyhébb (magasabb sorszámú) fagyűrési zónába bátran ültethetjük. Pillantsunk rá a térképre, és nyugodtan ültessünk liliumfát a kertbe, ha az a térkép szerint a megfelelő zónába esik! Vagy mégsem?

### Meleg nyarak, enyhe telek – kertbe vajon ültesselek?

Az éghajlat változik, és az előrejelzések szerint változni fog az előttünk álló évtizedekben is. Ennek minden bizonnyal több hátrányát fogjuk érezni, mint előnyét: gondoljunk csak az aszályra, hóhullámokra, extrém csapadékeseményekre. Ennek ellenére a kertészek, kerttervezők és mindazok, akik díszkertjükben szívesen tevékenykednek, nem titkolják örömeiket. Mind enyhébb teleink újabb és újabb díszfák, díszcserjék

áttelelését teszik lehetővé. Szeretnénk a kertünkéből kínai datolyát (juzubát), szamócafát, örökzöld szedret, japánnaspolyát (**1. ábra**), kivit vagy olajbogyót szüretelni, esetleg gyönyörködni egy banánfában vagy pisztáciacserjében? Fáraszt, hogy télire be kell hozni a babérrózsát (leandert) vagy az agávét? Esetleg megunt szobanövényeinket, például a szobaaráliát, a borostyánszőlőt, a pálmaliliumot (jukkát) vagy a kukoricalevelet szívesen számúznánk a kertbe? Úgy tűnik, ennek egyre kevésbé jelentik akadályát a kemény téli fagyok.

Arról, hogy mely fajok hol ültethetők biztonsággal a szabadba, az Egyesült Államok mezőgazdasági minisztériumáról (*U.S. Department of Agriculture*) elnevezett USDA-zónák, vagyis fagyűrési zónák adnak információt. Érdekeség, hogy nem a minisztérium fejlesztette ki a fagyűrési zónák rendszerét (csak szabványosította és elterjesztette azt), hanem Alfred Rehder német-amerikai botanikus és dendrológus [1]. Minden faj bizonyos zónákba ültethető (erről katalógusokból vagy szakönyvekből tájékozódhatunk), és minden helyszín egy bizonyos zónába esik (erről a fagyűrészízóna-térképek árulkodnak). Maguk a zónák pedig nem mások, mint az éves abszolút minimum-hőmérsékletek sokéves átlagának előre meghatározott kategóriái. Például a 7-es zóna, amelybe Magyarország nagy része esik (2. ábra), a  $-17,78$  és  $-12,22$  °C közötti tartományt jelöli, és ezt szokás egy keményebb 7a és egy enyhébb 7b zónára továbbosztani. Ne csodálkozzunk a törtszámokon: az amerikaiak szép, kerek hőmérsékletértékeknél húzták meg a zónák határát, csak éppen Fahrenheit-fokban számoltak...

### Amiről a fagyűrési zónák árulkodnak...

A fagyűrési zónák tehát gyorsan, könnyen értelmezhető támpontot adnak a növényvásárlóknak arról, hogy érdemes-e az általuk kiszemelt növényfajt megvenniük és kertjükbe kiültetniük. Természetesen nemcsak a vásárlók, hanem a szakemberek is széles körben használják a fagyűrési zónák rendszerét. És nem csak a kertészek! Nem is gondolnánk, hányféle alkalmazott tudományágban bukkannak fel e zónák az erdészettől a mezőgazdaságon és restaurációs ökológián át a tájtervezésig és növényegészségügyig bezárólag. Ez nem csoda, hiszen mind a fajok, mind a helyszínek könnyen zónákhoz rendelhetők, és ma már ezek az információk egy gyors internetes kereséssel mindenki rendelkezésére állnak. Természetesen ára van annak, hogy a zónák ilyen egyszerűen használhatók, de erről nagyban hallgatnak a katalógusok és térképek...

De mielőtt letörnénk az olvasóban a lelkesedést, egy szembeötlő trendre is szeretnénk rámutatni: napjainkban egyre könnyebben és egyre finomabb térbeli felbontásban férhetünk hozzá éghajlati adatokhoz. A múltira vonatkozóan megfigyelésekre, a jövőre vonatkozóan pedig globális és regionális klímamodellekkel készített éghajlati becslésekre (*klímamedikció*) támaszkodhatunk. Ezekből az adatokból aztán gyorsan kirajzolható a minimum-hőmérséklet sokéves átlaga, és ha ezt megfelelő skálán ábrázoljuk, kaptunk is egy

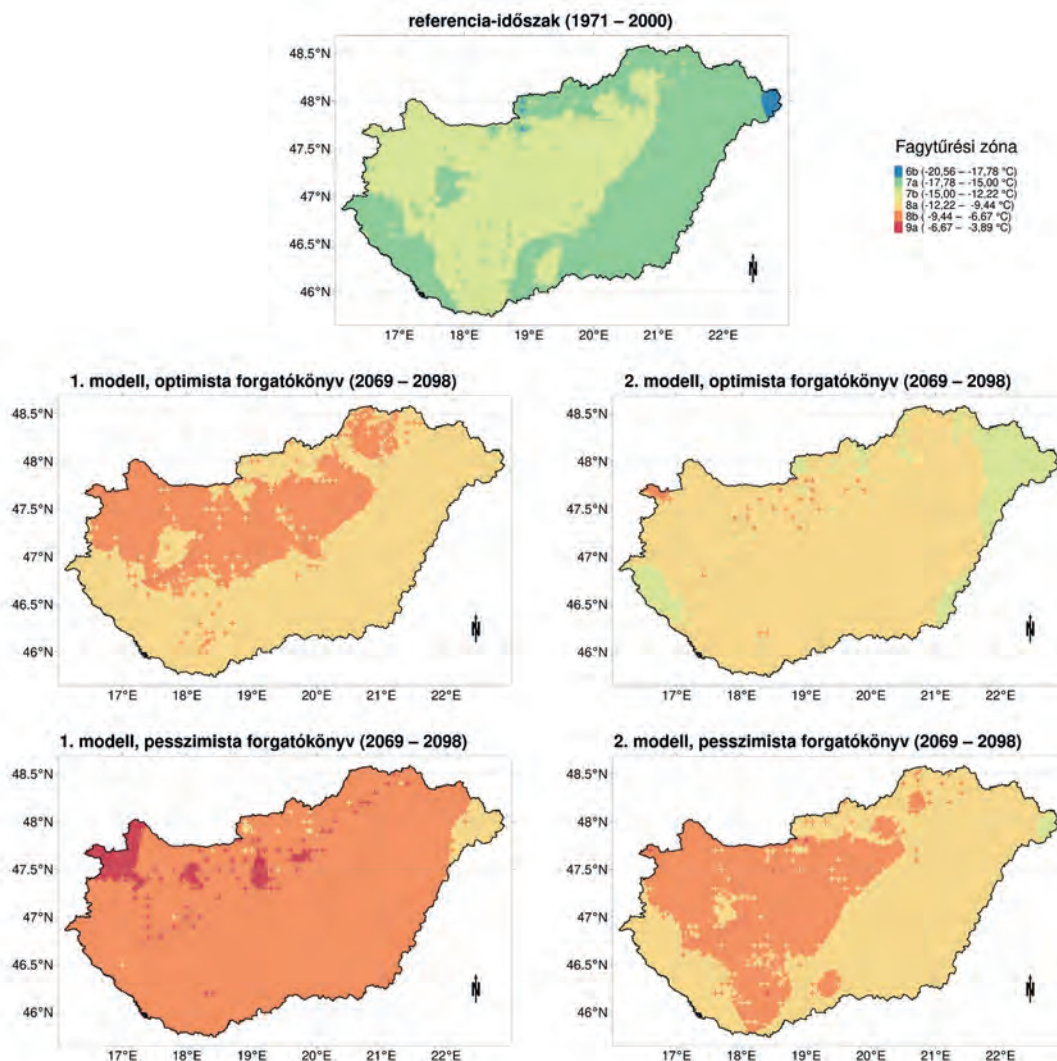
tökéletes fagyűrészízóna-térképet. Ma ezt akár egy kilométernél is finomabb felbontásban létre tudjuk hozni, és akár településrészszinten is ábrázolhatjuk az aktuális vagy a jövőben várható fagyűrési zónákat. A felbontás pedig évről évre finomodik a számítási kapacitás és a felbontást növelő, úgynevezett *leskálázási algoritmusok* fejlődésének köszönhetően. Maholnap talán már azt is meg fogjuk tudni nézni, hogy a kertünk melyik felébe érdemes ültetni a kiszemelt fajt. Mindez túl szép, hogy igaz legyen.

### ...és amiről hallgatnak

A fagyűrészízóna-térképek előállítására, főleg, ha a jövőben várható zónákat akarjuk finom felbontásban kirajzolni, egy többlépéses folyamat, ahol minden lépésnél döntéseket kell hozni, és minden döntéssel bizonytalanságot viszünk az eredménybe (4. ábra). A jövőbeli éghajlatot nem ismerjük, csak becsléseink vannak róla. E becslések feltételezéseken alapulnak, melyek közül az első és talán legfontosabb az éghajlati forgatókönyv (*scenárió*). A forgatókönyv mondja meg, hogy mikor, mekkora üvegházgáz-kibocsátással, és így mekkora üvegházgáz-koncentrációval számolhatnak a klímamodellek. Erről persze fogalmunk nincs, de jobb híján választunk egyet. Vagy még jobb, ha többet. Ha több scenáriót választunk, és így több fagyűrészízóna-térképet készítünk, akkor meg tudjuk jeleníteni a scenárióválasztással járó bizonytalanságot, vagy legalábbis a legoptimistább és legpesszimistább forgatókönyv közti eltérést, a várható fagyűrészízóna-tartományt. Természetesen a felhasználók/döntésho-

1. ábra. A 8-as fagyűrési zónába tartozó japánaspolya (*Eriobotrya japonica*) védett helyen hazánkban is kitelet és virágzik. A felvételt a Fővárosi Állat- és Növénykertben készült. (Fotó: Bede-Fazekas Ákos)

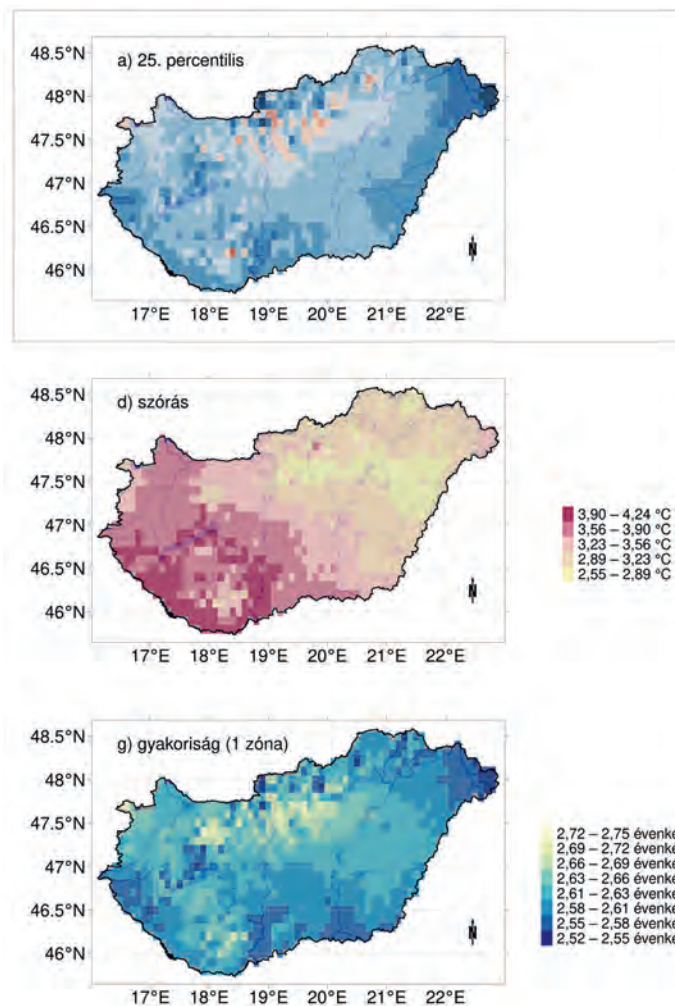




2. ábra. Magyarország referencia-időszakra (felül) és a jövőbeli időszakra kirajzolt fagymentésizóna-térképe. A jövőbeli időszakot két eltérő globális klímamodell (oszlopok) és két forgatókönyv (középső és alsó sor) szemlélteti.

zók nem szokták szeretni, ha a felelősség rájuk hárul, ezért is találkozunk ritkán olyan fagymentésizóna-térképekkel, amelyek megjelenítik a bizonytalanságot. De előre szaladtunk; térjünk vissza a többlépcsős döntési folyamathoz!

Második lépésként *globális klímamodell*t választunk, majd, ha finomabb léptékre is kíváncsiak vagyunk (és igen, azok vagyunk!), akkor *regionális klímamodell*t is választanunk kell. Mind a globális, mind a regionális klímamodellekből rengeteg létezik, és egyre rábökni közülük gyakorlatilag lehetetlenség. A forgatókönyvekhez képest a modellválasztásnál még kevesebb kapaszkodónk van: néhány éghajlatkutató szakember kivételével a többségünk számára a modellek csak betűkombinációk (például HadGEM vagy MPI), amiknek belső logikájáról, hibáiról és bizonytalanságairól oly keveset tudunk. Ezért is szokás modellek egész együttesét (*ensemble*) használni: ez a „több szem többet lát” elvének tudományos verziója. Ha több



modell alapján rajzoljuk ki a fagyűrési zónákat, akkor vagy annyi térképünk lesz, ahány modellt választotunk, vagy megjeleníthetjük a modellegyüttes valamely statisztikai jellemzőjét, például a szórását vagy tartományát. Ez utóbbiak segítségével a modellválasztás által behozott bizonytalanságot tudjuk számszerűsíteni és térképen ábrázolni.

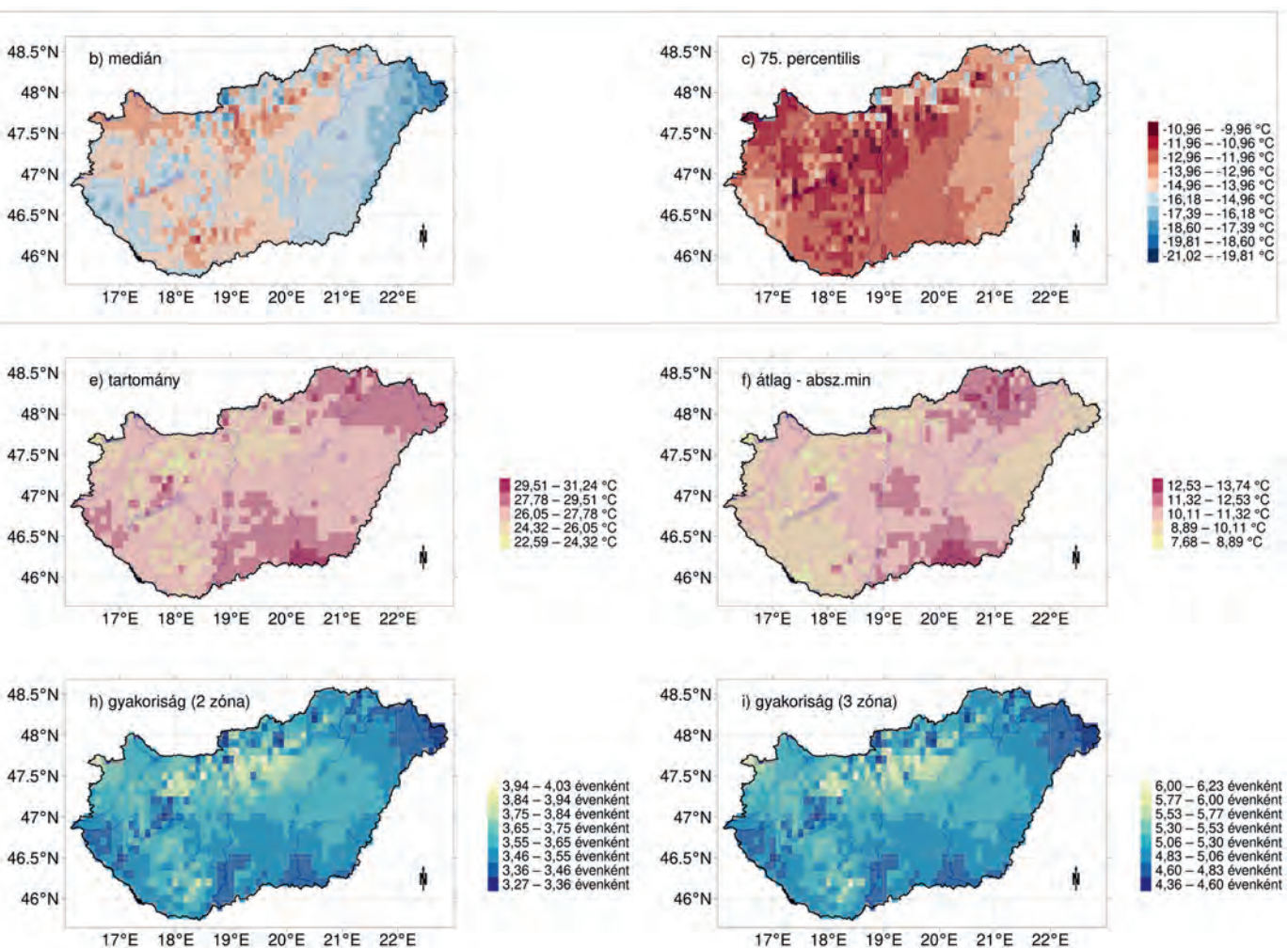
Újabb kényes lépés következik: a regionális klímamodellek vagy a megfigyelések által szolgáltatott 10–25 kilométeres felbontású (múlt- vagy jövőbeli) éghajlati adatok és a felhasználói igények (telekszintű térképek) között tátongó szakadék fölé próbálunk hidat verni. Ezt az építési folyamatot úgy hívják, hogy *leskálázás*. A lényege, hogy a durva felbontású éghajlati adatokból finomabb felbontású adatsort képezünk, jó esetben olyan releváns segédadatokat is felhasználva, mint például a domborzat. Nem kell sokat töprengenünk, hogy belássuk: ez bizony bűvészkedés a szónak abban az értelmében, hogy adatot hozunk létre ott, ahol ez korábban nem állt rendelkezésre. A leskálázás egy fontos és szükséges lépés, de számottevő bizonytalansággal terheli a fagyűrészízóna-térképünket. Minél

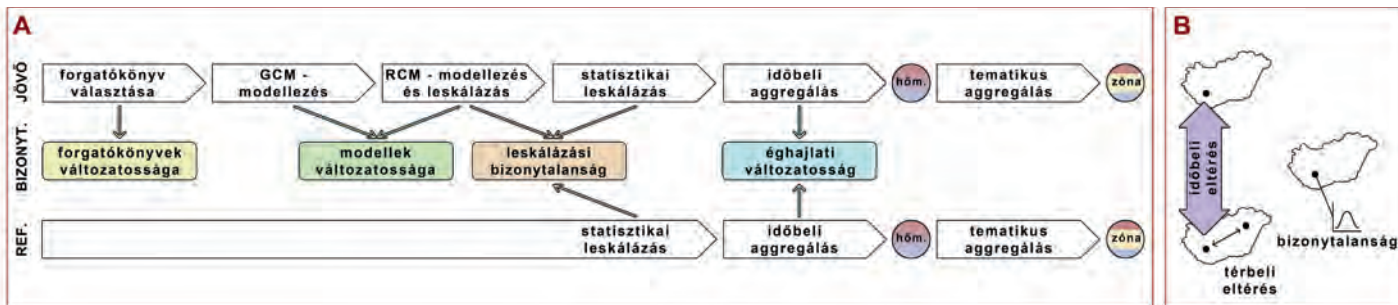
finomabb felbontású térképet hozunk létre, annál inkább kezdünk a szilárd tudományos talajról a varázslás felé elrugaszkodni. Nem csoda, hogy telekszintű fagyűrészízóna-térképeket, bár technikai akadály a már nincs a létrehozásuknak, eddig még senki nem kísérelt meg rajzolni.

### Változatosság, mely nem gyönyörködtet

Joggal merül fel az olvasóban a kérdés, hogy biztonságosan használhatja-e a fagyűrészízóna-térképeket, ha azok a múlt/jelenre vonatkoznak (tehát nem kellett forgatókönyvet és klímamodelt választani hozzá) és durva felbontásúak (tehát a leskálázási bizonytalanságtól is eltekinthetünk). Sajnos a válaszuk egy egyértelmű nem. Van ugyanis két kedvezőtlen tulajdonság, ami a fagyűrészízóna számításának megkerülhetetlen sajátja. Idézzük fel gyorsan, hogy mik a fagyűrészízóna! Az éves abszolút minimum-hőmérsékletek sokéves átlagának előre meghatározott kategóriái. Tehát minden földrajzi pontra van egy minden évre különböző értéket tartalmazó minimum-hőmérsékleti adatsorunk, ezt aggregáljuk egy számmá (ami ugye

3. ábra. Magyarország referencia-időszakra rajzolt fagyűrészízóna-térképeinek az éghajlat változatosságából fakadó bizonytalansága különböző jellemzők alapján: (a-c) harmincévnyi minimum-hőmérsékletek 25., 50. (medián) és 75. percentilise, (d-e) szórás és tartomány (maximum és minimum különbsége), (f) az átlag és a minimum eltérése, (g-i) a sokéves átlag alapján számított zónától 1, 2 vagy 3 zónával eltérő extrém évek várható visszatérési gyakorisága





4. ábra. (A) Finom felbontású minimumhőmérséklet-térképek („hőm.”) és fagyűrészizóna-térképek („zóna”) előállításának lépései a referencia-időszakra („ref.”, alsó sor) és a jövőbeli időszakra (felső sor), valamint a lépésekkel járó bizonytalanságok („bizonyt.”, középső sor). (B) A térbeli és időbeli eltérések, valamint a bizonytalanság kapcsolata.

információvesztés!), de még itt sem állunk meg, mert a folytonos skálán értelmezett számot besoroljuk kategóriákba, amivel újfent információt veszítünk.

Ha ez utóbbi, nem kis mértékben problémás lépéstől el is tekintünk, az előbbi lépést, vagyis az éghajlati változatosság figyelmen kívül hagyását nem állhatjuk meg szó nélkül. Egy zordabb télel beköszöntő évben a tőből kifagyott fácskákat felesleges azzal vigasztalnunk, hogy sokéves átlagban a telek nem is olyan kemények. Annyit ér ez, mint halottnak a csók. A fagyűrészizóna egyik legnagyobb hátránya, hogy átlagot mutatnak, pedig a növények a minimumokkal szembesülnek. Teszik ezt a fagyűrészizóna-térképek úgy, hogy az alapjukat képező éghajlati adatsorban még ott bújnak az információ, ami az éghajlati változatosság megjelenítéséhez szükséges lenne. E változatosság becslésének (például szórás, tartomány, egy zónányi eltérés várható gyakorisága stb.) tehát semmi technikai akadálya nincs (3. ábra). Valljuk, hogy egy valamirevaló fagyűrészizóna-térkép mellől nem hiányozhat az éghajlati változatosság becslése.

### A bizonytalanság ábrázolása bizonyosan jól tesz

Talán sokan várják a tudománytól, hogy egyértelmű kérdésekre egyértelmű válaszokat adjon. A „Melyik fagyűrészizónába fog esni a kertem 50 év múlva?” kérdés elég egyértelműnek tűnik ahhoz, hogy egyértelmű választ várjunk rá. A valóság azonban az, hogy erre a kérdésre sok válasz létezik, melyek ma még egyformán hihetőnek tűnnek, így e válaszok közül egyet kiválasztani és a kérdező felé tárnai felelőtlenség és a tudáshiány elkendőzése lenne. Az egyértelmű választ tehát nem ismerjük, tudjuk viszont azt, hogy a válaszunk hol, mennyire bizonytalan. A bizonytalanság, paradox módon, nem rossz és elrejtendő, hanem éppen hogy bemutatandó. Feltéve, hogy a feltett kérdésre tudományos igénnyel kívánunk felelni.

Hálás tudományos téma korábbi munkákat kritizálni. Kutatócsoportunkkal odáig vetemedtünk, hogy egy egész módszert, a fagyűrészizóna térkép ábrázolását kritizáltuk meg. Mentségünkre szóljon, hogy jobbító szándékkal tettük. Nem gondoljuk ugyanis, hogy a fagyűrészizóna leáldozott, sőt! Mint írásunk elején rámutattunk, számos diszciplína sikerrel alkalmazza őket, hiszen nagyszerűségük az egyszerűségükben rejlik. Ugyanakkor a fagyűrészizóna-térképek legtöbbször ma még nem állja ki a tudományosság próbáját abból a szempontból, hogy a bennük rejlő, különböző forrásból (forgatókönyv, klímamodell, leskálzás, éghajlati változatosság) származó bizonytalanságot csak elvéve tárják a térkép olvasója felé. Az *Applied Geography* című rangos földrajzi szakfolyóiratban nemrég közzétett cikkünkben szisztematikus irodalmi áttekintés alapján számba vettük a fagyűrészizóna bizonytalanságának ábrázolási lehetőségeit, jobbnál jobb megoldásokat tárva a leendő zónatérképezők elé [2]. Szívből reméljük, hogy fagyűrészizóna-térképek a jövőben új tudományos szintre emelkedhetnek azáltal, hogy a bennük rejlő bizonytalanságot felelősen kommunikálják a térkép olvasó felé.

BEDE-FAZEKAS ÁKOS – SOMODI IMELDA

**Nyitóképünk:** Örökzöld liliumfa (*Magnolia grandiflora*) „Exmouth” fajtája nyitja virágát a somogyvámosi Isodyana Botanikus Kertben (Fotó: Bede-Fazekas Ákos)

### IRODALOM

- [1] Rehder A. (1927): Manual of cultivated trees and shrubs. Macmillan: New York, NY, USA
- [2] Bede-Fazekas Á., Somodi I. (2023): Bridging the gap between an applied map and scientific needs: visualization of the uncertainty of plant hardiness zone maps, with emphasis on climate change impact. *Applied Geography*

# Műanyagok biodegradációjának vizsgálata a közönséges lisztbogár segítségével

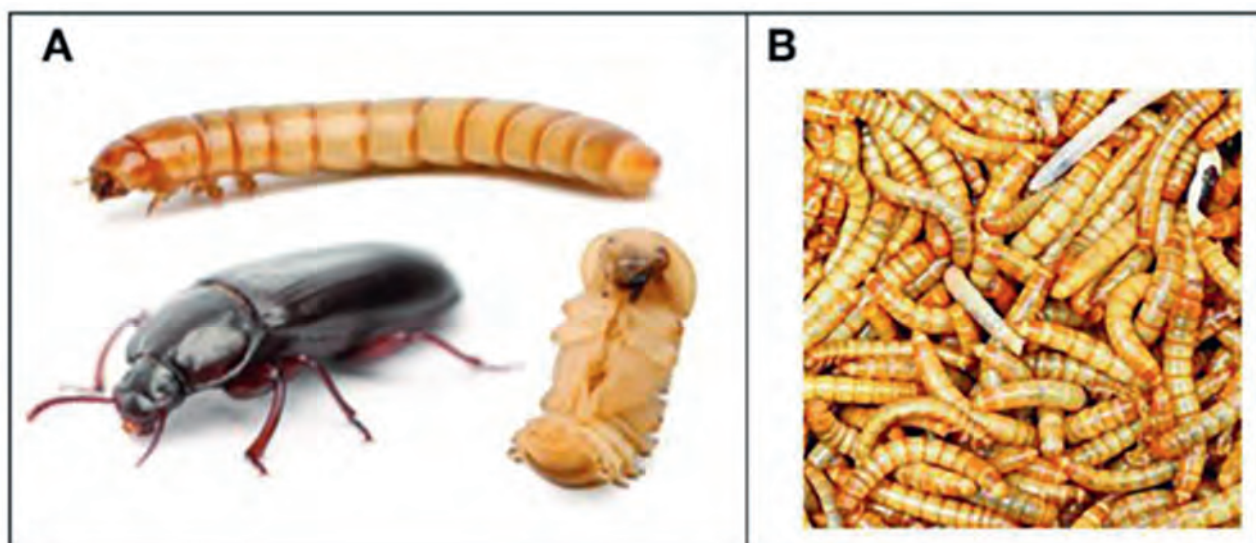
Már az ősember is készített akarva-akaratlanul is olyan tárgyakat, kezdetleges műalkotásokat (mint például a barlangrajzok) melyek eredeti funkciójuk elvesztése után, a jövőnek megmaradva ma is az őskor emlékét őrzi. Mit hagy maga után a huszonegyedik századi ember? Az emberiség jelenlegi problémáit végig gondolva hamar eszünkbe juthat a környezetvédelem, a klímaválság, az általános felmelegedés és ezen belül is a hulladékok helyzete. Bolygónkat egyre súlyosabb mértékben érinti a műanyagok felhalmozódásának problémája, a műanyagok össztelege már most meghaladja a bolygón élő emlősökét. Tényleg ezt hagyná emlékül a jelen embere? A keletkező műanyagok tárolására, megsemmisítésére, újrahasznosítására jelenleg nem áll rendelkezésre hosszútávon fenntartható, zöld, gazdaságos megoldás. Az említett megoldás eléréséhez mindenképpen fel kell ismernünk, hogy a probléma Damoklész kardjaként lebeg a fejünk felett, s ha nem cselekszünk gyorsan, lehet már késő lesz. Ezt a helyzetet felismerve az utóbbi években a kutatócsoportok számára világszerte trenddé vált a lebomló műanyagok előállításához köthető kutatások indítása, biodegradációra (azaz biológiai lebontásra) alkalmas élőlény-csoportok keresése.

Ebbe a trendbe bekapcsolódva indítottuk el kutatásunkat 2021 szeptemberében, mely egy amerikai kutatás alapján [1][2] a közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*) lárvája, közismert nevén a lisztukac műanyagokkal szemben mutatott biodegradációjával foglalkozik. Célunk egy környezettudatos, élő szervezetek (például lisztukacok) segítségével történő, fenntartható, a körforgásos gazdaság irányelveit követő műanyagbontási módszer kialakítása.

A lisztukac nem tartozik a „cuki”, illetve a „szeretem állatok” közé, hisz a mezőgazdasági kártevőként számon tartott közönséges lisztbogár (*T. molitor*) élelmiszerekbe,

takarmányokba jutva nem csak elfogyasztja, hanem ürülékével és lárváival szennyezi is azt. Az emberi tevékenység hatására valamennyi földrészen elterjedt: egészen az északi sarkkörtől a déli sarkkörig. A természetes élőhelyek mellett gyakran élelmiszer raktárakban, pékműhelyekben, malmokban raktári kártevőként fordul elő, de természetben fő tápláléka a fa és növényi korhadék. A leginkább éjjel aktív kifejlett bogár teste hosszúkas, körülbelül 0,5-2 centiméter hosszú, színe fényes barna, gesztenyebarna,

1. ábra. A *Tenebrio molitor* életszakaszai [4]



### A lisztbogár teljes átalakulása



2. ábra. A lisztbogár fejlődési szakaszai [5]

esetleg koromfekete (1. ábra). Tora egyenletesen pontozott, szélessége gyakran meghaladja hosszúságát, illetve szárnyfedőin finoman pontozott sávok futnak végig. Rövid csápjain az ízek vaskos jellegűek. Testéhez hasonlóan csápjja és lába vörösesbarna. A szabadban a megtermékenyített nőtények petéiket az avarba, a kártevők, élősködők pedig lisztbe, illetve más élelmiszerekbe rakják. A lisztkukacok sárgásbarna, hosszúkas lárvák, egzotikus állatok eledelként tenyésztik őket. Kemény, kitines kutikulával rendelkeznek. Megfelelő hőmérsékelt és más pozitív hatások esetén évi több generáció is kifejlődhet [3].

A lisztkukacokat a legtöbb hobbiállat szívesen fogyasztja (például madarak, hüllők, rágcsálók, vagy ízeltlábúak), emiatt nagy mennyiségben tenyésztik őket. Tenyésztése nem igényel különösebb szakértelmet, fejlődésük teljes átalakulással történik. A petéből lárva fejlődik (amely akár a bogár méretének duplája is lehet), mely többszöri vedlés után bebábozódik (2. ábra).

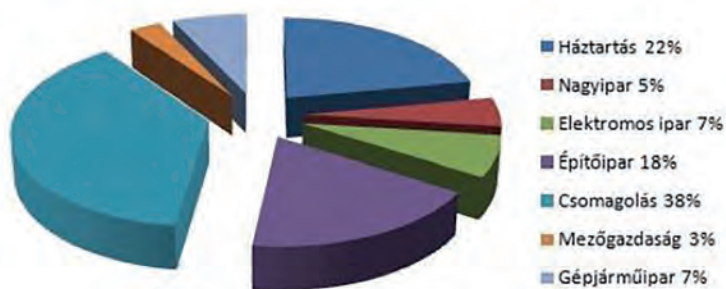
A végső stádiumban kikel a bábból a kifejlett bogár. Fejlődése pár hónapot vesz igénybe (3-6 hónap körülményektől függően). A fejlődésben lévő lárvákat korpával, liszttel, kenyérrrel, zabpehellyel, uborkával, répával, és egyéb liszttartalmú élelmiszerekkel is lehet etetni. A faj lárvális fejlődése nagyon hosszú, amely optimális hőmérsékleten

és alacsony nedvességtartalom mellett körülbelül fél év után fejeződik be teljesen. A kifejlett lárvákat a világ egyes részein emberi táplálékként is hasznosítják [4 [6].

Az ember ősidők óta használ polimereket, gondoljunk csak a táplálékul szolgáló fehérjék, a cellulózrostokból készült kötelek, de akár a maják által használt kacsuklabdákra. Ezek mindegyike hozzátartozott és bizonyos esetekben még ma is hozzátartozik az emberek életéhez. Ezeknek a természetes anyagoknak az átalakítása, feldolgozása a XIX. századtól kezdve ipari méreteket öltött. Hatalmas fejlődésnek indult az ipar a Goodyear által kidolgozott vulkanizálási technológiával kez-

dődően, amelyből Amerikában és Angliában alig 10 év alatt kialakult a gumiiipar és a romahos növekedés nem állt meg itt, hanem folytatódott a cellulóz átalakításával celluloiddá, nitrocellulózzá, ami számos további területet forradalmasított. Ezeket a természetes alapú „műanyagok” -at aztán a XX. század elejétől követték az újabbnál-újabb mesterségesen előállított anyagok. Ezzel egyidőben az anyagszerkezeti kutatások bebizonyították a makromolekulák létezését. Hermann Staudinger bizonyította először, hogy léteznek makromolekulák (más néven polimerek), amelyek kovalens kötéssel összekapcsolódó kis egységekből, ún. monomerekből állnak [7]. A 30-as évektől kezdve megindul a műanyagok területén a kutatás-fejlesztés és a tömeges gyártás. Ezt követően

3. ábra. Műanyagok felhasználása a gazdaság különböző területein [8]



az iparág fejlődése messzemenően meghaladta a többi iparág fejlődését és ma széleskörűen elterjedtek a műanyagok a gazdaság legkülönbözőbb területein (3. ábra).

A műanyagok sikerének titka egyrészt az előnyös ár/érték arányban, másrészt a széleskörű felhasználási lehetőségükben rejlik. A műanyagok hasznossága mellett ma a környezetre gyakorolt terhelésük az, ami leginkább jellemzi őket. Elsődleges felhasználásuk után gondot jelent a keletkező hulladékok elhelyezése, lebontása, vagy újrahasznosítása. Jelenleg a műanyagokkal kapcsolatos kutatások egy jelentős része ebben az irányban történik. A hulladékok hatásának a csökkentése és kezelése többféle módon érhető el: a hulladék mennyiségének csökkentésével, újrafeldogozással, kémiai lebontással, égetéssel (a műanyag energiataralmának visszanyerése hő vagy áramtermeléssel), személtlerakókban való megfelelő elhelyezéssel. A kémiai lebontás mellett alternatívaként jelent meg a biológiai lebontás lehetősége, amelynek során különböző élőlények segítségével történik a műanyagok kezelése [1] [2].

Kutatásunk során két különböző műanyag, a polisztirol (PS) és a poliuretán (PUR) biológiai lebontását vizsgáltuk lisztkekacok segítségével [1] [2].

A polisztirol széles körben elterjedt, amelynek habosított formája (4. ábra), a hungarocell, nikecell néven alkalmazott hőszigetelő anyag, amelyet az építőiparban jelentős mennyiségben alkalmaznak. Habosítás nélkül számos használati tárgy, például tejfölddoboz, tubuskupak készül belőle. A különböző vastagságú hőszigetelő lapokat építkezéshez vagy utólagos szigeteléshez üveg-szál szövetrel és speciális bevonattal alkalmazzák.

4. ábra. Polisztirol csomagolóanyagként használva [9]

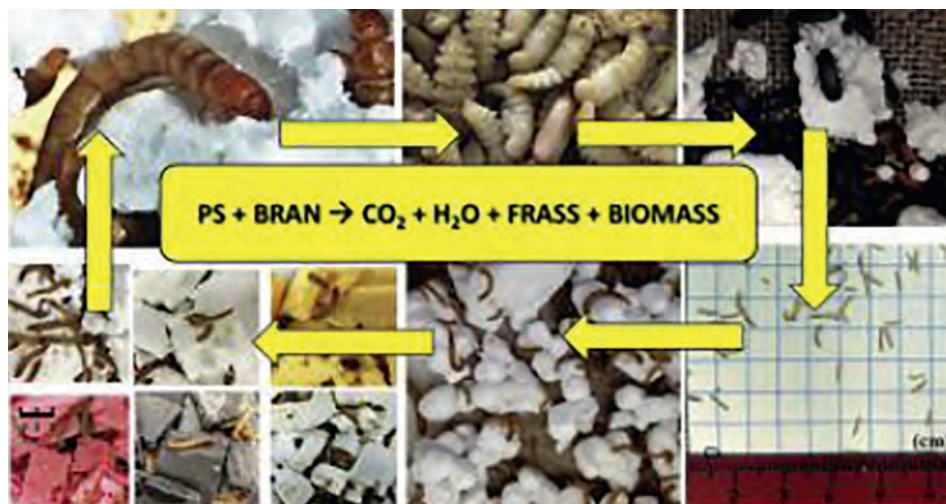


5. ábra. Poliuretán hab [10]

A polisztirol tiszta állapotban rideg és átlátszó, de színezhető hőre lágyuló műanyag, amely nagyon jó elektromos szigetelő. Melegítve könnyen préselhető formába. Égésével irritáló és mérgező füst keletkezik. Vízben nem, de szerves oldószerekben jól oldódik. Megjelenése és a mechanikai tulajdonságai tág határok között változtathatóak. Készítenek belőle háztartási eszközöket, poharakat és tányérokat, élelmiszertároló dobozokat és joghurtos vagy egyéb tejtermékes poharakat, optikai lencsét is. Az ütésálló kivitelezésből burkolatokat és dobozokat, tartályokat, játékokat, evőeszközt, CD és DVD tartót.

A másik műanyag, amire kiterjedtek a vizsgálataink az a poliuretán volt. A poliuretánnak számos különböző megjelenési formája ismert, ezek közül az ún. purhab (5. ábra) használata a hőszigetelés egyik leghatékonyabb formája. Távol tartja a füstöt, bűzt, nedvességet és betömi a hiányosságokat.

A poliuretánt Otto Bayer (1902-1982) német kémikus fejlesztette ki 1937-ben. Jelenleg kiindulási anyagai között a diizocianátok és a többértékű alkoholok szerepelnek. Utóbbiak forrásául a természetben előforduló szénhidrogének átalakítása szolgál. Ugyanakkor nagyon érdekes kutatások folynak abban az irányban, hogy az eddig felhasznált poliolok helyett a habokat xilit és fruktóz alapú ionos folyadékkal helyettesítsék [11]. Minden olyan makromolekula poliuretánnak tekinthető, amelyben számos uretán funkciós-csoport található. A poliuretán habok az alapanyagoktól és az előállítás körülményeitől függően lehetnek kemények, illetve lágyak, ami meghatározza felhasználási területüket is. A poliuretán



6. ábra. PS biológiai lebontása [1]

felhasználási területe többek közt a hézagok, rések, repedések tömítése, például az ablakok körüli hézagok kitöltése, üregek kitöltése, hő- és hangszigetelés, kárpitozott bútorok és habszivacs-betétek készítése, ragasztó- és festégyártás és a matracok, autóülések.

### Műanyagból biomassza

Mint a jellemzéseinkből kiderül, a polisztirol egy olyan tartós műanyag, amely a legváltozatosabb környezeti tényezők mellett sem bomlik el jelentős mértékben. Nagy mennyiségben gyártják kereskedelmi céllal, így vált a talaj, a folyók, a tavak és az óceánok jelentős szennyezőanyagává. 2015-ben azonban a Stanford és Beihang Egyetem kutatói felfedezték, hogy a *Tenebrio molitor* (közönséges lisztbogár) lárvája képes a PS biológiai lebontására (6. ábra) [1]. A kizárólag polisztirollal táplált lárvák esetében a lisztkukacok bélrendszerének rövid (12-15 órás) tartózkodási ideje alatt eltávolított PS százalékos összetétele 2-3 héten keresztül fokozatosan nőtt, majd 65%-os értékeken stagnált. A polimermaradványok a bélsárban a részleges depolimerizáció és oxidáció jeleit mutatták. Minden vizsgált PS-hulladék lebomlott, a kevésbé sűrű habok bomlottak a leggyorsabban. A korpával és polisztirollal etetett lisztkukacok az életciklus minden szakaszát (lárva, báb, bogár, tojás) befejezték és a második generációban is kedvező volt a PS lebontása, ami megnyitotta az utat a szelektív tenyésztés előtt [1] [2]. Hogyan képesek erre? Az emésztés során a kukacok a műanyagokat szén-dioxiddá és biomasszává alakítják, amit a bélbaktériumaik segítségével érnek el. A kutatók a kukacoknak a tápkeverékkel együtt antibiotikumot is adtak annak érdekében, hogy meg tudják határozni, milyen bélbaktériumok játszanak szerepet a polimerek lebontásában. További vizsgálatokat

követő izoláció során kiderült, hogy a PS lebontási folyamat az *Exiguobacterium sp.* jelenlétének köszönhető. Ezen PS-bontó bélbaktériumok jelenléte elengedhetetlen, hiszen miattuk megy végbe a biodegradáció. Ezek a baktériumok a lisztkukacok középső bélszakaszában élnek. Az izolációs vizsgálatok során találtak két polietilén (PE) lebontó baktériumtörzset is, a *Bacillus sp.*-t és *Enterobacter asburiae*-t [1]. Ezekre a vizsgálatokra alapozva két poli-

mer, a polisztirol és a poliuretán biodegradációjának a vizsgálatát tűztük ki célul lisztkukacok segítségével.

2021 szeptemberében a Lévy József Református Gimnázium és Diákotthonban működő Mentor program keretében kezdtünk el dolgozni egy rovarokkal kapcsolatos olvasmányélmény [12] kapcsán – amiben megemlítésre került az eredeti kísérlet [7] [8] – a közönséges lisztbogár lárvájának műanyagbontási képességeit vizsgáló kutatáson.

Kutatási célként azt tűztük ki, hogy egyrészt reprodukáljuk az eredeti kísérletet és megvizsgáljuk, hogy a polisztirol mellett más műanyagokat is képesek-e lebontani a lisztkukacok, illetve milyen hatással van ez a folyamat a lisztbogár populációra. A kutatási folyamat elején egymástól izolált egyedekkel és kis mennyiségű, 0,1-0,2 gramm műanyaggal (PS) kísérleteztünk. Ekkor, mivel mérhető fogyás nem volt és a lárvák többsége tartalékát felhasználva bebábozódott, segítséghez folyamodtunk és a kutatással megkerestük a Miskolci Egyetem Kémiai Intézetét. Itt segítséget kaptunk két konzulens – Fiser Béla kutató és Hegyi Flóra vegyész-mérnök hallgató – személyében. A személyi feltételek mellett a kutatás optimális környezeti feltételeinek betartása, reprodukálhatósága miatt az egyetem egyik laboratóriumában folytattuk a munkát. Itt pontosabb műszerekkel (például analitikai mérleg) tudtunk a továbbiakban dolgozni. Az itt végzett kísérletek (7. ábra), melyeket 50, illetve 100 egyeddel és 20-20 gramm műanyaggal végeztünk el, alátámasztották az eredeti kutatást [1] [2] és azt is megállapítottuk, hogy a lárvák napi 34-36 milligramm műanyagot képesek lebontani.

A műanyagok önmagukban nem elegendőek a lisztkukacok életműködésének fenntartásához, illetve nem képesek a műanyagok teljes mértékű lebontására,

így van olyan mikroműanyag, ami kiürül a szervezeteükből. A bomlástermékek vizsgálata további méréseket igényel abban a tekintetben, hogy marad-e és mennyi mikroszemcsés műanyag az ürülékben. A továbbiakban szerettünk volna nagyobb mennyiségű műanyaggal is kísérletezni, ezért az iskolai laborban 4500 milliliteres üvegedényekben (8. ábra) 1:3 arányban műanyagot etettünk a lárvákkal.

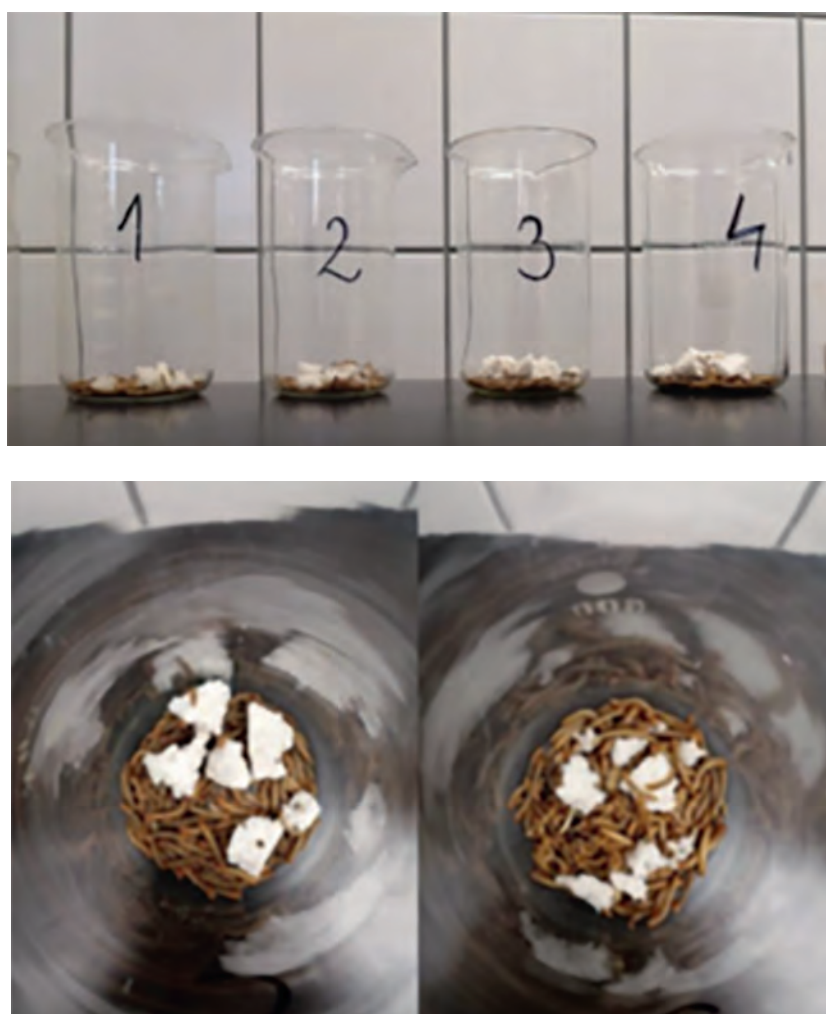
Ebben a kísérletben a műanyagok (PUR 80 g, PS 30 g) mennyiségének növelése eddig nem tapasztalt jelenségre világított rá: a lárvák etológiai változásokon is keresztülmennek. Az etológiai változás leginkább a túlélési ösztön ritkán látott viselkedési formákat váltott ki az egyedekből. A műanyag fogyasztása mellett megjelent a kannibalizmus is. A műanyagfogyasztás és a természetes táplálék hiánya morfológiai elváltozásokat is előidézett. Többek között a polisztirolt fogyasztó és később ennek fogyasztása után kifejlődő egyedek között több morfológiai elváltozás is szembetűnő: ilyen például a fedőszárny(ak), csáp(ok), lába(k) és hártvány szárny(ak) hiánya, de volt teljes mértékben, hiánytalanul kifejlődő egyed is. A poliuretánt fogyasztó egyedek közül viszont egyik sem tudott teljesen kifejlődni.

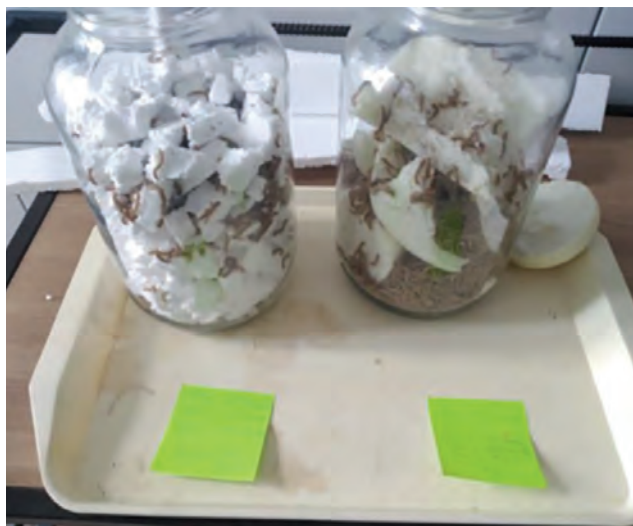
Egy hónap vizsgálati idő után a lárvák táplálékát polimerekről természetes szerves táplálékra – búzakorpa és kovászos kenyér – változtattuk. A teljes táplálékváltás előtt egy átállási időszakot hagytunk, mely alatt szintén 1:3 arányban tartalmazott műanyagot és már a korábban említett természetes táplálékot a rendszer. Ebben az időszakban az átállított táplálékot nem voltak képesek megemészteni az egyedek, mivel bélrendszerük teljesen a műanyag fogyasztására állt át, így az új táplálék közül is a műanyagokat fogyasztották el először. A korábban polisztirolt fogyasztók többsége morfológiailag hiánytalan bogárrá fejlődött ki, míg a poliuretánt fogyasztók általánosságban elpusztultak. A lebontási folyamat végtermékeinek vizsgálata és az esetlegesen visszamaradó/keletkező mikroműanyagok mennyiségének meghatározása további méréseket igényel. Emellett pedig további élőlények (például *Zophobas morio* [13])

biodegradációs potenciálját is vizsgálni kívánjuk és összehasonlítjuk az eddigi eredményeinkkel.

Összességben a kutatás során kapott eredményeink, tapasztalataink alapján elmondható, a műanyagok gyártása terén kialakult új irányvonal, trend, vagyis a lebomló műanyagok előállítása mellett a már meglévő, sok problémát okozó műanyagok megsemmisítése, a hatékony hulladékkezelés még jó ideig központi témája lesz a kutatásoknak. Az élő organizmusok felhasználása a probléma megoldására néhány éve került előtérbe. Az elsődleges cél, vagyis a műanyagok lebontása mellett a lebontásért felelő élő szervezetek – mi esetünkben a lisztkukacok – fehérjeforrásként, takarmányként történő felhasználása nagyon ígéretes iránya a fejlesztéseknek. Sikertelenül az irodalomban leírt kísérletek reprodukálása és megmutattuk, hogy a lisztbogár lárvája, a lisztkukac képes a polisztirol biodegradációjára, viszont nem az eredeti tanulmányban

7. ábra. Főzőpohárban egy hónapon keresztül folytatott kísérletek polisztirol (PS, 1-2), illetve poliuretán (PUR, 3-4), illetve a lisztkukac populációk felülnézetből





8. ábra. Kísérleti elrendezés polisztirol és poliuretán lisztkecskékkel történő biodegradációjának vizsgálatához

leírt mennyiségekkel, arányokkal. Vizsgáltuk továbbá a lisztkecskék poliuretán bontó képességét is. További vizsgálatok szükségesek, hogy a visszamaradó/keletkező mikroműanyagok mennyiségét meghatározzuk. Általánosságban azonban elmondható, hogy a műanyaggal táplálkozó példányok morfológiai és etológiai változásokon mentek keresztül, de bizonyos mértékben sikeresen alkalmazkodtak a természetestől eltérő táplálékhoz és kis mennyiségben képesek a kísérlet során használt műanyagok biodegradációjára. Mindemellett a lisztkecskék a polisztirol lebontására alkalmasabbnak bizonyultak, viszont általánosan elmondható, hogy mindkét műanyag biodegradációja során az élővilágban maradandó károsodás lép fel. A kutatásunk során alkalmazott technológia a globális műanyagproblémára jelenlegi eredményeink és kísérleteink alapján megoldást még nem kínál, viszont iránymutató trend lehet a további kutatások előtt.

KÓNYA MÁTÉ BERTALAN  
TURJANICZA BOLDIZSÁR

Lévay József Református Gimnázium és Diákotthon,  
Miskolc

Ezúton szeretnénk megköszönni a helyszínt, az eszközöket, a lehetőséget a Miskolci Egyetem Kémiai Intézetének és Prof. Dr. Viskolcz Béla igazgató úrnak. A projekt koordinálását, a személyes segítséget, a felkészítést Dr. Fiser Bélának, a kutatásban nyújtott segítségét, szakmai tudását és tapasztalatát Hegyi Flóra másodéves vegyészmérnök hallgatónak, a projekt mentorálását és az ötleteket pedig Dóka Erzsébet tanárnőnek.

## IRODALOM:

- [1] Y. Yang, J. Yang, W.Mi. Wu, J. Zhao, Y. Song; L. Gao, R. Yang, L. Jiang: Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests. *Environmental Science & Technology*, 2015, 12080-12086. DOI: 10.1021/acs.est.5b02661
- [2] Y. Yang, J. Yang, W.Mi. Wu, J. Zhao, Y. Song; L. Gao, R. Yang, L. Jiang (2015): Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 2. Role of Gut Microorganisms. *Environmental Science & Technology*, 2015, 2087-12093. DOI: 10.1021/acs.est.5b02663
- [3] Nagy európai természetkalauz. Összeállította és szerkesztette: Roland Gerstmeier. 2. kiadás. Budapest, Officina Nova. 1993. ISBN 963 8185 40 6
- [4] De Loof Arnold, Schoofs Liliane: Intraluminal Farnesol and Farnesol in the Mealworm's Alimentary Canal: An Unusual Storage Site Uncovering Hidden Eukaryote Ca<sup>2+</sup>-Homeostasis-Dependent "Golgicrine" Activities. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 2019, DOI: 10.3389/fendo.2019.00885
- [5] <https://www.bugburger.se/wp-content/uploads/2018/11/mealwormguide.pdf>
- [6] <https://hullomagazin.hu/hu/blog/gerinctelenek/elesegallatok-a-lisztkecske-tartasa-es-tenyestese.271.ahtml>
- [7] Pukánszky Béla, Móczó János (2011): Műanyagok. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék, [https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/38/dd/1/Muanyagok\\_animaciok\\_nelkul.pdf](https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/38/dd/1/Muanyagok_animaciok_nelkul.pdf)
- [8] <https://sites.google.com/site/adhjfhaio/home/muanyagtermeles-es-felhasznalas-napjainkban>
- [9] <https://hirmagazin.sulinet.hu/hu/tudomany/polisztirol>
- [10] <https://hirmagazin.sulinet.hu/hu/tudomany/a-poliuretan>
- [11] Pecsmány Dániel, Emma Zhang, Mester Enikő, Jánosi Benjámin, Juhász Koppány, Viskolcz Béla, Fiser Béla: Poliuretán habok szintézise cukor alapú ionos folyadékokkal, *Scientia Denique*, IX. évf., 1. kiadás, 167-18. old. [https://www.scientiadenique.net/files/books/Scientia\\_Denique11\\_IX\\_1\\_2019.pdf](https://www.scientiadenique.net/files/books/Scientia_Denique11_IX_1_2019.pdf)
- [12] Anne Sverdrup-Thygeson: *Terra Insecta*. Ford. Merkl Ottó, HVG Könyvek, 2020 ISBN 9789633049617
- [13] Jiarui Sun, Apoorva Prabhu, Samuel T. N. Aroney, Christian Rinke: Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials, *Microbial Genomics*, 2022, 8 (6), DOI: 10.1099/mgen.0.000842

A KEHOP-3.1.5-21-2021-00003 sz. projektet támogatja Magyarország Kormánya és az Európai Unió.

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Kohéziós Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

MEGSEMMISÍTETT METEORITELÉKEK

# Végzetes demagnetizáció

A meteoritok azonosítása koránt sem egyszerű feladat: hogy megállapíthassuk, melyik kő kozmikus eredetű, és melyik nem, igen nagy tapasztalatot, és számos módszert igényel. A legtöbb esetben csak jól képzett szakember tudja megmondani, mi az, ami valódi meteorit, és mi az, ami nem több, mint egy átlagos „kavics”.

Eme égből hullott kövek azonosításához többféle módon keresztül vezet az út: nagyon fontos ismertetőjel a kő formája, színei, külső jegyei, továbbá a meteorit sűrűsége is. Mielőtt a meteoritjelölt követ feldarabolnák és/vagy alávetnék különféle kémiai elemzéseknek, igen gyakran elvégzik a mágnespróbát: ha a mágnes vonzza a követ, akkor jó eséllyel meteoritot találtunk. Nemrég azonban kiderült, hogy ezzel a teszttel komoly kárt is okozunk a meteoritokban.

Miként a földi kőzetekben, úgy a meteorikus testekben is található olyan ásványok, melyek mágnesesek, továbbá az ezekben rögzült gyenge mágneses tér igen sokat elárul keletkezésének körülményeiről. Míg a Föld esetében például az óceánfenéki kőzetek váltakozó mágneses polaritása az egyik fő bizonyíték lett a kőzetlemezek mozgásával kapcsolatban, addig a vasmeteoritok a bolygók, valamint a kis- és törpebolygók fejlődéséről szolgáltatnak felbecsülhetetlen értékű információkat. Mágnességük tanulmányozása sokat elárul egy égitest létrejöttéről, a protoplanetáris korongban történő akkrécióról, a különböző sűrűségű anyagok szétválásáról (differenciálódásáról), vagy éppen egy esetleges mágneses tér létéről. A mágneses térnek való kitettség érdekes hatást gyakorolhat a ferromágneses ásványokra. Egy égitest kialakulása során a mágneses ásványokban lévő kristályok igazodhatnak a mágneses mezőhöz, és bizonyos esetekben maguk is mágnesessé válnak, így információt nyújtanak az okozó mágneses mező erősségéről és orientációjáról.

Az amerikai MIT és a franciaországi Paris Cité Egyetem tudósai megállapították, hogy a ritkaföldfém-mágnesek, például a neodímium mágnes használata törli és felülírja a meteoritok ferromágneses ásványaiba zárt mágneses „információt”. Mivel sok Földre hulló meteorit jelentős vastartalommal rendelkezik, ez azt is jelenti, hogy fontos adatokat veszítünk arról, hogy e meteoritok milyen körülmények között jöttek létre, illetve a világűr mágneses mezői hogyan változtatták meg ezeket a meteoritokat az év-milliárdok során.

Az NWA 7034 jelű meteorit, azaz a „Fekete Szépség”  
(Forrás: NASA)





Meteoritkutatók munkában az Antarktiszon  
(Forrás: H. Raab)



Kutatók az Atacama-sivatagban mágneses szuszceptibilitás-mérővel vizsgálják egy meteoritot (Forrás: Gabriel Pinto)

„E mágneses rekordoknak a bolygótudomány fejlődésében rejlő potenciálját erősen akadályozza egy széles körben alkalmazott technika: a kézi mágnesek alkalmazása a meteoritok osztályozásának segítésére. Egy meteorit mágnessel való megérintése a mágneses rekord szinte azonnali megsemmisülését eredményezi.” — írja Foteini Vervelidou, az MIT bolygókutatója, a kutatócsoport vezetője.

Híres példa erre a 2011-ben, Marokkó sivatagi homokjából előkerült NWA 7034 katalógusszámú meteorit, ismertebb nevén a *Black Beauty*, azaz Fekete Szépség. Ez a kő a második legrégebbi ismert marsi meteorit: néhány darabja 4,4 milliárd éves, melyek a fiatal Marsot ért nagy erejű becsapódásokról, illetve a bolygónak az élet kialakulásához kedvező időszakáról tudnának tanúskodni. A meteoritról a tudósok úgy gondolták, hogy a Mars néhai globális mágneses dinamójának nyomait kellene megőriznie ebből az időből, de amikor ellenőrizni akarták a kőzetdarabok mágnességének nyomait, semmit nem találtak. Bármilyen mágneses rekord is maradt az NWA 7034 meteoritban a Marsról a Földre vezető útja után, azt a meteoritvadászok által a leleteik ellenőrzésére használt mágnesek eltüntették.

Ezt a jelenséget már számos meteoriton megfigyelték, azonban senki sem vizsgálta meg rendszerszerűen, hogy hogyan történik. Vervelidou és kollégái ezért többlépcsős elemzést végeztek, amelyben kombinálták a numerikus modellezést, a földi bazalt kézi mágnesekkel történő átmágnesezését és az NWA 7034-et is létrehozó anyameteorit kilenc darabjának vizsgálatát. Először is kiszámították, mekkora mágneses mező van egy kézi mágnes körül, és hogy ez a mező milyen hatással van a különböző méretű kövekre. Ezután számításaik eredményeit földi bazaltdarabokon tesztelték, megmérve

a kőzet mágneszettségét a neodímium mágnesnek való kitétség előtt és után. Sok darab, miután ki lett téve a mágneseknek, teljesen demagnetizálódott, azaz elvesztette mágneses terét, míg más kövek a meteoritoknál is megfigyelt részleges demagnetizáción estek át.

A fent említett tanulmány az NWA 7034-ről megállapította, hogy a kő eredeti mágneses mezeje törlődött, de az anyameteorit többi darabja még megőrizhette az eredeti mágnesség nyomait. A kutatás következő lépése tehát a többi töredék vizsgálata volt. Sajnos Vervelidou és csapata azt találta, hogy a töredékek közül egyetlen darab sem őrzi az eredeti mágnesség nyomát.

A kutatás azonban kimutatta, hogy ez a mágneses „bomlás” fokozatosan megy végbe, és minden esetben hasonló demagnetizációs görbét követ. Így a meteoritok mágneszettségét tanulmányozó tudósok a jövőben iránymutatást kaphatnak arra vonatkozóan, hogy a demagnetizáció milyen mélyen megy végbe, ami lehetővé teszi számukra, hogy olyan mintákat találjanak, amelyek fosszilis mágneses mezőt őriznek.

Közben már léteznek olyan technikák, amelyek a meteoritok azonosítását a kényes belső információk elpusztítása nélkül segíthetik. „A mágneses szuszceptibilitás-mérők használata számos tanulmány szerint pontos és roncsolásmentes meteorit-azonosítási és osztályozási technikának bizonyult. Nemcsak a meteoritok és a földi kőzetek közötti különbségtételre, hanem a különböző meteorittípusok megkülönböztetésére is kiválóan használhatók.” — írják a kutatók. „Továbbra is reménykedünk abban, hogy a közeljövőben több olyan NWA 7034, illetve más meteoritlelet darabjai válnak elérhetővé, amelyek mentesek az átmágnesezés hatásaitól.”

KOVÁCS GERGŐ

## JÉGSZEGÉNY ANTARKTISZ LEHET AZ ÚJ NORMA



Az elmúlt években többször is rendkívül alacsony volt az antarktisi tengerjég kiterjedése egy új kutatás szerint. Az elmúlt években többször is tapasztalt rekord nem valami kilengés, hanem az új norma lehet. Az antarktisi tengerjég a minimumát február közepe, március eleje időszakában éri el, és 2023 februárjában minden korábbi rekordnál alacsonyabb volt a kiterjedése (36 százalékkal, több mint egymillió négyzetkilométerrel kisebb, mint az 1979-2022 átlaga), egy 7 éve megkezdődött trend folytatásaként. Ezt a nyári rekordot aztán később őszi és téli is követte, a műholdas megfigyelések kezdete óta a legnagyobb anomáliaként. Most ausztrál kutatók vizsgálták meg, hogy vajon mi okozhatta ezt a rekordokat halmozó időszakot.

A kutatók az elemzéseiket 2023 júliusában végezték, s eddig az egész év rekord alacsony jeget produkált – azóta tudjuk, hogy a tendencia a déli félteke téli tengerjég-kiterjedésben is folytatódott, az augusztusi adatok alapján. A júniusi adatok szerint 2,33 millió négyzetkilométerrel volt az átlag alatti a jég kiterjedése, ez a műholdas mérések kezdete óta a legnagyobb negatív anomália. Az 1978 novemberéig visszanyúló műholdas mérési adatok és havi klimatológiai adatok elemzése alapján a kutatók úgy látják, a több évtizedes változékonyságon túlmutatnak azok a változások, melyeket tapasztalunk.

Az adatok szerint három időszakot tudtak elkülöníteni: 2007 augusztusig tartó, a 2007-2016 augusztusa közti, és az ez utóbbi dátumot követő, amelyek statisztikailag megkülönböztethető tendenciákat mutatnak. Ezek közül a harmadik, a 2016-ban kezdődő volt az, ami a gyors lefelé ívelő tendenciát mutatja. A klimatológiai tényezőket öt, a déli féltekei régióra vonatkozó index (SAM, SOI, IPO, IOD, AMO) segítségével vizsgálták meg. Az adatokról azonban nem lehetett azt kijelenteni, hogy a különböző modellszámításokban jelzett ingadozásokat tükrözik, nemcsak a mostani csökkenés, de a 2014-ig tapasztalt növekedés sem. Ez utóbbit a kutatók szerint egy még működő pozitív visszacsatolás tarthatta fenn, azonban 2016-tól igen gyors lejtmenetbe kapcsol a tengerjég.

A vizsgálatokban az óceán vízhőmérsékleti adatait is elemezték, ezekről 2004-2023 közti mérések álltak rendelkezésre, amelyeket az Argo merülő-lebegő automata mérőállomások hálózata segítségével gyűjtöttek.

Erről annyit érdemes tudni, hogy a jeget nem bírták korábban a műszerek, így a tengerjég határától kissé északabbaiak a legközelebbi méréseik is. Az egyes korábbi évek kiugró alacsony értékeit ugyan hozzá lehet rendelni egyedi légköri eseményekhez, azonban az elmúlt évek tendenciái nem ezeket az eseményeket tükrözik.



Például mind a 2022-es, mind a 2023-as rekord alacsony tengerjég-minimum szinte teljesen átlagos légköri körülmények közepette állt be.

Azonban a mérések szerint a tengervíz hőmérséklete szokatlanul magas volt, egy korábbi, független kutatás szerint már a 2016-17-es nyári rekord alacsony tengerjég is az óceán melegedése miatt állt be. A mostani elemzés szerint a 100-200 méteres mélységekben végzett mérések alapján egyértelmű melegedés látható azóta, amióta rendelkezésre áll ilyen adatsor, a melegedés 2015-ben kapcsolt nagyobb sebességre. 2016-tól pedig szorosan együtt jár a felszín alatti víz melegedése és a tengerjég csökkenése, az óceán melegedése hatására következett be a kutatók szerint a rezsimváltás. Az Argo mérésekben körülbelül egy évvel előzte meg a vízhőmérséklet-emelkedés a tengerjég kiterjedésének csökkenését a sarkvidék körüli vizekben.

Ugyan a klímamodellek már korábban jelezték, hogy az antarktisi tengerjég se örök, de talán bizakodtunk, mivel később kezdett fogyni, mint az északi megfelelője. Nehéz lenne azonban a tengerjég kiterjedésének csökkenését csupán helyi légköri tényezőkkel magyarázni. A folyamatok és az összefüggések mélyebb megértéséhez rengeteg további mérés és vizsgálat szükséges, mielőtt még túl késő.

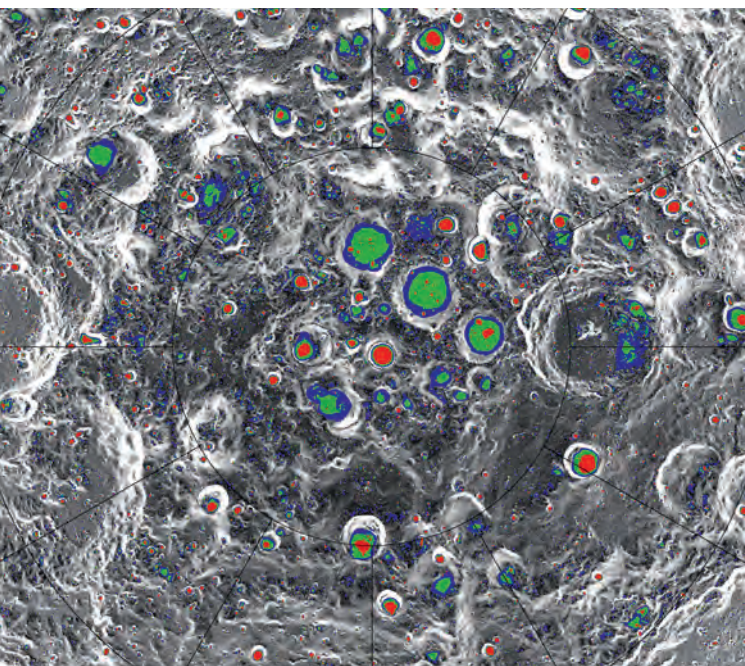
*(Communications Earth & Environment, 2023. szeptember)*

## MIÓTA GYŰLHET A VÍZJÉG A HOLDI SARKVIDÉK KRÁTEREIBEN?

### ScienceAdvances

Jelenleg a holdi sarkvidékeken a Nap csak 1,5 fokal magasságig emelkedik a horizont fölé, ez teszi lehetővé, hogy a kráterekben kialakulhasson az az árnyékos terület, s ezzel a rendkívüli hideg, ahol a vízjég felhalmozódhat. Azonban ez a múltban más volt, az *állandó árnyék* területe sem volt mindig ugyanott.

Holdunk nemcsak folyamatosan távolodik tőlünk, de a múltban a tengelyferdesége is eltért a mostanitól. Ez azonban azt is jelenti, hogy a sarkvidéki kráterek, amelyekben a vízjég képes fennmaradni, a múltban egyáltalán nem ugyanúgy voltak árnyékban, ahogy ma. Ahhoz, hogy kiderüljön, miként változhatott az árnyékos részek elhelyezkedése, tudni kell, hogy pontosan mikor és milyen volt a múltbéli tengelyferdeség, amelyre az árapályerők is hatnak, azt pedig a Hold-Föld távolság határozza meg, ám ennek pontos múltbéli alakulásáról sokáig nem voltak adatok. Nemrégiben egy francia kutatócsoport rendkívül precízen modellezte az árapályerők hatását és a Hold távolodását a földi óceán-kontinens elhelyezkedések aránya segítségével (az embernek talán nem is jut elsőre eszébe, hogy a Hold-Föld távolságot befolyásolja, van-e szuperkontinens, és az merre helyezkedik el a bolygónkon). A Hold-Föld rendszer dinamikus változásai alapján aztán már lehet tovább számolni, ez esetben a Hold sarkvidéki krátereinek állandó árnyékait.



Bár maguk a kráterek, amelyek a felmérések szerint vízjeget tartalmaznak, körülbelül 4 milliárd évesek, a számítások szerint azonban a folyamatos árnyékos biztosító pontok csak 3,4 milliárd éve kezdtek megjelenni. Vagyis a vízjég, ami a kráterek mélyén rejtőzik, nem eredhet a Hold kialakulása körüli időkből, így például nem kerülhetett ide a Naprendszer korai időszakában lezajlott becsapódások során sem. A víz, ami ebben a korai időszakban érkezett a Holdra, réges-régen eltűnt.

A legkorábban örök árnyékos kráterek a Shackleton, a de Gerlache, az Idel'son I voltak, de például a Sverdrup és az Amundsen csak a közelebbi múltban kapta meg árnyékát. A kutatók számításai alapján az örök árnyékban lévő területek nagysága 3,1 milliárd éve negyed akkora, 2,2 milliárd éve pedig fele akkora volt, mint ma. A sarkvidéki kráterek állandó árnyékos területeinek átlagos kora mindössze 1,8 milliárd évnél adódott, de van olyan vizet mutató helyszín is, aminek az árnyéka 1 milliárd évnél is fiatalabb. A Shackleton esete különösen szerencsésnek tűnik, e kráter az Artemis-program egyik tervezett leszállóhelye. A számítások alapján itt már 3,4 milliárd éves az örök árnyék és ezzel egyidős vízjég is előfordulhat.

A LCROSS szándékosan a Holdba csapódó holdszonda leérkezési helye, a Cabeus-kráter volt, ahol a becsapódást követően kidobott anyagban a mérések szerint jelen volt a víz, és más illó anyagok is. A most elvégzett számítások szerint e kráterben a becsapódás helyén az állandó árnyékos rész igen fiatal, 0,9 milliárd éve még nem létezett. Ez azt jelenti, hogy az itt talált víz is az elmúlt 900 millió évben halmozódhatott csak fel.

A holdi víz legnagyobb része azonban korábbi lehet, mint a hidegcsapdák e kráterek örök árnyékában. Elméletileg a Holdra 24-szer több víz jutott égi kísérőnk sarkvidékeire 4,25-3,75 milliárd éve, mint ezt követően. Mind az üstökösök, mind a vízben gazdag kisbolygók becsapódásai ezt megelőzően voltak gyakoriak, még abban az időszakban, amikor gyakorlatilag nem léteztek a jelenlegi hidegcsapdák. A vulkanizmus csúcsideje is 3,7-3,5 milliárd éve volt, bár nem ért véget ekkor. A napszél hatására a felszínen keletkező vízmolekulák is jelentős mértékben hozzájárulhatnak a vízkészlethez.

A víz, amelyet ma a holdi árnyékos kráterek tartalmazhatnak, nem lehet régebbi a mai árnyék koránál, de nem zárható ki az sem, hogy a korábbi eredetű víz a mélyebb rétegekben még fennmaradhatott. A kutatók által készített árnyék-térkép segítséget adhat ahhoz, hogy ezek jelenlétét felkutassák.

(*Science Advances*, 2023. szeptember)

## PROBLÉMAMEGOLDÓ ÉNEKSMADARAK

### Science

Hangokat megtanulni nem tűnik túl nagy feladatnak, ám ezt mesteri szinten művelni már ritkaság. Csak egy egészen kis állatközösség képes rá rajtunk kívül: az emlősök közt az elefánt, a denevér, a cetek és a fókák ilyenek, a madárvilágban az énekesmadarak, a papagájok és a kolibrik. Egy új kutatásban az énekesmadarak képességeit mérték fel és hasonlították össze más tulajdonságaikkal. Már korábban felmerült, hogy azok a fajok, amelyek képesek a komplex hangtanulásra, a



legtelligensebb és a legjobb problémamegoldó és kognitív képességű fajok is egyúttal (ilyen az ember, a cetek, a varjúfélék, a papagájok), azonban mindez idáig nem került sor arra, hogy számos fajon teszteljék is ezt az elméletet. Egyedi fajok esetében voltak ilyen vizsgálatok, ám ellentmondásos eredményekkel.

Az énekesmadarak esetében három fő képesség van, amelyek a komplex hangtanulást jellemzik: nagy repertoár, élethosszig tartó hangtanulási képesség, valamint más fajok hangjainak utánzása (ezt nálunk főként a seregélyek és a szajkók művelik, és nem is csak állatfajok hangjait utánozzák). A madarak kognitív képességeit laborban lehet különféle feladatokkal tesztelni, a problémamegoldás e képességek közt az, amely a madár élete során felmerülő valós helyzeteken

átsegítheti, rá kell jönnie az állatnak, miként juthat túl egy adott kihíváson – például így lehet képes a madár a környezeti zavarokat átvészelni.

A vizsgálatokat most összesen 21 vadon élő és 2 tenyésztett énekesmadár-faj 214 képviselője segítségével végezték el. A madarakat a Hudson-folyó közeli védett területen, a Rockefeller Egyetemhez tartozó terepi kutatóközpontban fogták be, ahol emberekkel csak korlátozott mértékben találkoztak. A három éves kutatási időszak során a madárhálós befogások közt azokkal a fajokkal foglalkoztak, amelyekből minimum 12 hím (az énektanulás miatt fontos tulajdonság) került a hálóba. A befogott egyedeket három napon át szoktatták az ideiglenes rabsághoz a vizsgálatok előtt. Minden faj esetében egy hat jellemzőből álló lista alapján besorolták a madarakat. A már leírt három képességen túl a továbbiak az ének és a hívóhang repertoárjuk külön-külön és együttes méretére vonatkoztak.

A felmérést megelőzően néhány órát (az aktuális éjszakának megfelelően) éhezettették a madarakat, majd hat napon át ugyanabban a sorrendben kapták a feladatokat. Különbő akadályokat kellett eltávolítaniuk, egyre bonyolultabb helyzetekben. Ezen felül a madarak önkontrollját is felmérték az ehhez szokásos akadálymegkerülő feladatokkal, valamint azt is, hogy milyen gyorsan tanulják meg egy-egy szín jelzését az élelemmel azonosítani.

A hangtanulás terén csúcsteljesítményt nyújtó örök tanulók jelentősen jobbak voltak a problémamegoldó feladatokban is, és az utánzóművészek végeztek az élen, és a legnagyobb repertoárral rendelkező fajok szintén a kiváló problémamegoldók közt voltak (e csoportok közt jelentős volt az átfedés is). A vizsgált fajok közül az Amerikába behurcolt seregély (*Sturnus vulgaris*), a kék szajkó (*Cyanocitta cristata*), valamint a macskamadár (*Dumetella carolinensis*) voltak a legprofibbak. A többi feladat sikeres megoldásával nem mutattak összefüggést az egyes hangtanulási tulajdonságok.

Az eredmények összegzése alapján a kognitív, problémamegoldó képességek és a hangtanulás komplexitása közt összefüggést lehetett találni. Ezen felül még az egyes fajok testhez viszonyított nagyobb agyméretével és egyes agyterületek nagyobb neuronsűrűségével is összefüggött az örök hangtanulás képessége, így biológiai alapja is meglehetősen jobb hangtanulásnak, jobb problémamegoldásnak. A profi dalnokok motoros képességei is jobbak voltak, képesek voltak a testmozgásokat szinkronizálni a hallott zenével (gyakorlatilag táncoltak) és ez is összefüggött a jobb problémamegoldással. A kutatás eredménye számos további, neurológiai és evolúciós kutatáshoz teremti meg az alapokat.

(*Science*, 2023. szeptember)

# Mobiltelefonok újrahasznosítása

Egy 2018-ban indított magyarországi kampány eddigi eredményeivel együtt mára összesen 1111 gyűjtőpont részvételével, több mint 7,5 tonnányi használaton kívüli mobiltelefon gyűlt össze – a fenntarthatóbb környezet és a körforgásos gazdaság erősítése érdekében.

Ötödik éve tart a „Passzold vissza, Tesó!” elnevezésű, használt mobiltelefon visszagyűjtő kampány, amelyet a Jane Goodall Intézet, a KÖVET Egyesület, az Afrikáért Alapítvány és a Védegylet közösen hirdetett meg. Idén is csatlakoztak további gyűjtőpontok a kampányhoz. Számos, a gyűjtésben résztvevő szervezet belső kommunikációs kampányt, szemléletformáló eseményeket, előadásokat szervezett, így tudták aktívan mozgósítani a környezetüket, hogy minél több mobiltelefont adjanak le a gyűjtődobozokba. A gyűjtők munkáját tavasszal tájékoztató webinárral és animációs videó filmmel segítették a szervezők. A cél a kampánnyal, hogy minél több adatmentes, már nem használható mobilkészüléket, GPS-t vagy táblagépet és ezekhez használt töltőket vegyenek át adományként, elősegítve ezzel a körforgásos gazdaságot, és segítve ezáltal a kongói főemlősök élőhelyének megmentését és a helyi közösségek életét. A használt készülékek kincset rejtenek, többek között 17 féle fémeket lehet visszanyerni belőlük, például aranyat, ezüstöt, palládiumot, rezet. A mobiltelefonok előállításához szükséges nyersanyagok, például a koltán bányászata Afrikában veszélyeztetett fajok (kiemelten a gorillák, bonobók és csimpánzok) élőhelyét, fennmaradását és a helyi közösségek érdekeit fenyegetik.

Ezt a folyamatot szeretnénk megfékezni, ha ugyanis a használt mobiltelefonokban található fémek újrahasznosítása nagyobb mennyiségben valósul meg, akkor az előállításukhoz szükséges ércek bányászata várhatóan csökkenni fog. A kampányhoz csatlakozott közel 1111 gyűjtőpont között vannak visszatérők és sok



helyszín csatlakozott újonnan. Köztük találhatók iskolák, óvodák, civil szervezetek, intézmények, üzletek, irodák, szálloda, könyvtár, színház, kutatóintézet, nemzeti park, múzeum, kereskedelmi, ipari és agrárkamara, minisztérium, bíróság. „A plakátok, az előadások, a számtalan sajtómegjelenés felhívta a figyelmet azokra a konfliktusos ásványokra, melyek mindennapjaink szerves részét képezik, észre sem vesszük őket, pedig bányászatuk ökológiai és társadalmi problémákhoz vezet Afrikában. A kampány nem titkolt célja a figyelemfelhívás ezekre a problémákra, a körforgásos gazdaságra és az életvitelünk környezeti hatásaival kapcsolatos szemléletformálásra.” – mondta Herner Katalin, a KÖVET Egyesület ügyvezető igazgatója.

A kisméretű elektronikai eszközöket a legnehezebb visszagyűjteni, de éppen ezért min-

dent meg kell tenni és felhívni a társadalom, a lakosság figyelmét a problémára és a megoldására – vallják a szervezők. Az ilyen kampányok segíthetik elő, hogy tudatosabban éljenek, vásároljanak az emberek.

A KEHOP-3.1.5-21-2021-00003 sz. projektet támogatta Magyarország Kormánya és az Európai Unió.

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Kohéziós Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE



Illusztrációk a  
*Gyakori frontok és viharok* című cikkhez  
(Hérincs Dávid felvételei)



