

Az emberi evolúció ökológiai háttere

Ásóbot, házityúk, benzinkút

Előző számunkban megismertük a csimpánzzal közös őstől a mai emberi fajig vezető evolúciós út legfontosabb mérföldköveit. Megmutattuk, hogy a földi klímaváltozásnak és őseink erre adott evolúciós válaszainak döntő szerepe volt abban, hogy az ember igen gyorsan a bioszféra meghatározó szereplőjévé vált. Sikerünkhöz anatómiai és viselkedési változások is hozzájárultak. Így a két lábon járás, a beszéd és a tanulás képessége, valamint az együttműködés és a nemek közötti munkamegosztás összefonódó evolúciója is. Mindezek következtében a *Homo sapiens* evolúciója a régmúltban is hihetetlen sebességgel zajlott. Ennek adott egy újabb hatalmas lökést úgy 10-12 000 évvel ezelőtt egy új táplálékszerzési mód, a mezőgazdaság megjelenése. És innen egy egészen új történet kezdődött.

2. rész

A mezőgazdaság megjelenése és elterjedése a Föld különböző területein más és más időszakokban következett be, és különbözőképpen is zajlott le. Elsőként a Közel-Kelet termékeny félholdként ismert területén terjedt el hozzávetőlegesen 10-12 ezer éve. Ettől függetlenül, bár kicsit később Közép-Amerikában, vagy a mai Kína bizonyos részein is valódi innovációként jelent meg. Fokozatosan, akár több száz vagy ezer év alatt fejlődött ki a technológia, és jelentek meg a különböző házasított állat- és növényfajok [7]. A Föld legtöbb területére azonban már eleve mezőgazdálkodással foglalkozó népek vitték be a növénytermesztés és állattenyésztés kultúráját a házasított fajokkal és a technológiával együtt (1. ábra). Sokáig rejtélyt jelentett, hogy miért ilyen későn kezdett bele az ember az élelmiszertermelésbe, hiszen sejthető, hogy a természet szabályait korábban is jól ismerte,

azaz elvi akadály nem volt, hogy természeteni, tenyészteni tudjon. Mára már tudjuk azonban, hogy több folyamat együttesen vezetett a mezőgazdasághoz: az élelmiszertermelést, annak ellenére, hogy ma vívmányként gondolunk rá, inkább a körülmények megváltozásához alkalmazkodva kezdték meg őseink. Ugorjunk tehát gondolatban a termékeny félhold területére, és vegyük számba, mi minden járult hozzá ehhez a nagy változáshoz.

A paleolitikum végére a klíma annyira szárazzá vált ebben a régióban, hogy jelentősen elterjedtek a jó szárazságtűrűsű fűfélék, köztük a búza és az árpa ősei is. Már jóval korábbról is fennmaradtak olyan régészeti leletanyagok, amik gabonahasználatra utalnak, tehát ekkorra feltehetően általánossá vált a gabonafogyasztás. Mindeközben a népesség tovább növekedett, azaz kevesebb hely maradt a költözködésre, és megnőtt a verseny a fogyasztható forrásokért is. A népességnövekedés miatti intenzív vadászatnak köszönhetően több nagytestű emlős is kihalt a területen, és a megmaradt fajok populációi is megcsappantak. Általánossá vált, hogy az emberek egyre nagyobb csoportokban kezdtek élni, és néhol kezdetleges településeket építettek, amit tartósan csak a vadászok hagytak el. A vadászat csökkenő sikerével egyidőben a gabonafélék fogyasztásának jelentősége megnőtt. Ennek következtében a gabonamezők kezdték egyre jobban meghatározni a csoportok mozgását. A hegyoldalakon felfelé haladva pl. hosszú ideig folyamatosan hozzá lehetett jutni érett gabonához, ugyanis az egyre hűvösebb magassági szinteken az érés egyre később következett be. Az összegyűjtött gabonát aztán hazavitték őseink a táboraikba, és közben akaratlanul is elkezdtek ezeknek a fajoknak a házasítását, nemesítését. A szállítás és a felhasználás során ugyanis el-elejtettek szemeket, amik a következő évben akár ott is kihajthattak, ahol addig az adott növény nem volt jelen. Ráadásul éppen a kedvező tulajdonságú egyedeket szaporították így tovább: a nagyobb termésűeket, a könnyebben gyűjthetőket, a finomabbakat. A véletlen terjesztésből idővel természet lett, a véletlen házasításból pedig tudatos nemesítés. Ezzel együtt nemcsak a gabonafélék termesztése és házasítása kezdődött meg, hanem más haszonnövényeké is, mint

például a borsóé, vagy később a fügéé, datolyáé vagy a szőlőé. Sőt, ezidőtájt kezdték házasítani a térségben a juhok és a kecskét is. Úgy 10 ezer évvel ezelőttre kialakultak azok a falvak, amelyek alapvetően növénytermesztésből tartották el magukat, bár a vadászat továbbra is hozzájárult a megfelelő tápanyagok beviteléhez. A letelepedett életmód, ahogy ezt már korábban is említettük, maga után vont egy sor további változást: megjelent a magántulajdon, melyet örökölni lehetett, így vagyoni különbségek alapján egy rétegzett társadalom alakult ki. A gabonának van egy eddig nem említett, de igen fontos tulajdonsága: felhalmozható és hosszú ideig raktározható. Az élelmiszer raktározhatósága kiegyenlített táplálékellátást biztosított, s így a népességnövekedést is elindította. Ezzel együtt beindult a kereskedelem, hiszen esetenként tartós felesleg keletkezett, majd megjelentek a különböző mesterségek is. A társadalmak tehát nemcsak vagyoni alapon, de foglalkozási körök szerint is tagozódni kezdtek, miközben egyre több ember élt egy csoportban. Ennek az összetett folyamatnak a következménye, hogy nagyjából 6-8 ezer évvel ezelőtt kialakultak az első úgynevezett komplex társadalmak, melyeket nemcsak a társadalom rétegződése jellemezett, hanem az olyan központi vezető csoportok vagy uralkodók jelenléte, akiknek egyetlen feladata a vezetés, kormányzás volt. Megjelentek továbbá a szervezett vallások, templomok, szent helyek, a mezőgazdaságban pedig az öntözés.

Mint azt korábban említettük, a mezőgazdaság sokkal nagyobb populációkat képes fenntartani, mint a vadászat és a gyűjtögetés. Nem meglepő tehát, hogy az élelmiszertermelő társadalmak korán terjeszkedni kezdtek. A közel-keleti mezőgazdálkodás kultúrája is gyorsan elterjedt Euráziában, és hamarosan a különböző régiók között megkezdődött a házasított növény- és állatfajok csereberéje is. Mára ez a folyamat globális méreteket öltött: a világon mindenhol termelik és fogyasztják a Dél-Amerikában nemesített krumplit, a közép-amerikai eredetű kukoricát, vagy a Délkelet-Ázsiából származó tyúkot és tojását.

Összességében tehát azt mondhatjuk, hogy bár ezer évekről van szó, a neolitikumban

mégiscsak egy robbanás következett be: hirtelen megnövekedett a népesség, a társadalmak mérete és komplexitása, és az innovációk megjelenésének a sebessége is. Érdeemes hangsúlyozni azonban, hogy ez a gyors változás hátrányokat is jelentett: az emberek általános egészségi állapota egyértelműen leromlott, táplálékuk szegényessé vált, a nagy népsűrűségben szárnyra kaptak a fertőző megbetegedések, és megjelent a vagyonosok mellett a nincstelenek, kiszolgáltatottak rétege is. Néhány tízezer év alatt tehát, mely az evolúciós időskálán csupán egy röpké pillanat, egy jelentéktelennek tűnő faj, a *Homo sapiens* a földi bioszféra legnagyobb átalakítójává vált.

A legnagyobb niche-alkotó: az ember

Azt, hogy az élőlények életben maradásához megfelelő feltételekre van szükség, mindenki tudja, akinek volt már akváriuma, ékszerteknöse vagy tengerimalaca. A legtöbb szakértelem ezek közül talán az akváriumhoz szükséges. Először is helyesen kell megválasztani az együtt élő növény- és állatfajokat, ezután pedig ügyelni kell a víz hőmérsékletére, pH-jára, oxigénellátottságára, a kellő megvilágításra, a halak táplálékára, stb. Az egész közösség csak akkor fog hosszú távon fennmaradni, ha az összes fajnak megfelelő körülményeket tudunk biztosítani. Általánosan egy adott faj *niche*-ének nevezik azon igények összességét, amelyek mellett a faj képes a stabil fennmaradásra. Az igények lehetnek fizikai körülmények, pl. a víz hőmérséklete nem lehet alacsonyabb mint 10 °C és magasabb mint 30 °C, de igény lehet egy másik faj vagy fajcsoport jelenléte is, pl. a táplálékként szolgáló zooplankton megfelelő mennyisége a vízben.

A természetben is csak akkor tudnak tartósan fennmaradni a közösséget alkotó fajok, ha a számukra megfelelő niche-t el tudják foglalni (a niche magyarul fülkét jelent, innen a „niche elfoglalása” kifejezés). Természetesen minden faj a jelenlétével egyben módosítja is a többiek által elérhető niche-eket, miközben újabb niche-eket nyithat meg, így újabb

lehetőségeket teremthet további fajok számára. Valamilyen mértékben tehát minden faj niche-alkotó, ám léteznek különösen fontos alkotók is.

Látványos niche-alkotók például a hatalmas korallzátonyokat kialakító korallok. Az állatok mészkőváza egy hatalmas víz alatti zegzugos labirintus, mely rengeteg további fajnak teremt élőhelyet. Bár a korallzátony egyszerűen a korallok életmódjának következménye, léteznek olyan állatok is, amelyek aktívan úgy alakítják a környezetüket, hogy az számukra kedvező legyen. Gondoljunk csak a kanadai hódokra, akik fákat döntenek ki és patakokat duzzasztanak fel maguknak tavakká, kialakítva így egy új típusú vizes élőhelyet (**2a ábra**). Talán nem ennyire ismert példa az amazóniai esőerdőkben élő citromhangya (*Myrmelachista schumanni*) által kialakított “ördögkert” (**2b ábra**): a hangya szoros, kölcsönösen előnyös kapcsolatban van a *Duroila hirsuta* nevű kisebb termetű fával. A növény bújóhelyet és nektárt biztosít a hangya számára, a hangya viszont megvédi a növényt a növényevőktől, sőt, hangyasavat fecskendezve az idegen palántákba ki is irt minden más növényt a gazdanövénye környékén. Ennek hatására az erdőben előfordulnak kisebb-nagyobb, kizárólag *Duroila hirsuta* fácskákból álló kertek annak ellenére, hogy az amazóniai esőerdőben hektáronként átlagosan csupán 6-10 példány fordul elő ugyanabból a fafajból. Hosszasan sorolhatnánk a példákat nagy hatású niche-alkotókra, ám most inkább egy olyan esetet mutatunk be, ahol megjelenik a legnagyobb “alkotó”, az ember is.

Az Egyesült Államok északkeleti részén, ahol ma zárt erdő alkotja a természetes vegetációt, 15 ezer éve még nyílt, ligetes erdők álltak. A beerdősülést nem elsősorban a klimatikus változások okozták, hanem az, hogy kihalt két nagytestű növényevő, a mamut és a masztodon. A területen nagy számban élő mamutok és masztodonok intenzíven taposták és legelték a füvet és a fákat is, így egy mozaikos, nyílt ligeterdőt tartottak fenn. Aztán 12 ezer éve elért ide is az ember. (A Bering-szoroson át érkezett Ázsiából, de nem hajón, mint az újkori felfedezők, hanem szárazon. Mivel az akkori eljegesedés miatt a tengerek szintje

lényegesen alacsonyabb volt, mint ma, így szárazföld kötötte össze Ázsiát és Amerikát.) Megérkezett az ember, és intenzív vadászatával kiirtotta mind a két jól megtermett niche-alkotót. Ennek hatására rövid idő alatt több tucatnyi kisebb testű emlős is kipusztult. Egyrészt, mert kezdett eltűnni a mamut és a masztodon által kialakított ligetes élőhely, másrészt, mert a nagyvadak kiirtásával az ember is inkább a kisebb emlősökre kezdett vadászni.

Az ember meghatározó szerepe a bioszféra alakításában már néhány ezer évvel a mezőgazdaság megjelenése előtt megkezdődött. Ekkorra ugyanis a *Homo sapiens* már az egész Földet benépesítette, és ahol megjelent, ott speciális eszközöket és módszereket alkalmazva rövid időn belül a leghatékonyabb vadásszá és növényevővé vált. Niche-ek és így fajok tömegeit tüntette el már akkor is, bár tevékenysége kialakított új niche-eket is. Aztán megjelent a mezőgazdaság, így a Földön egyedülként egy olyan fajjává váltunk, amely szinte bárhol ki tud alakítani magának “ördögkerteket”. Ráadásul a mezőgazdaság megjelenésével mind a populáció mérete, mind a niche-átalakításokhoz szükséges tudás gyors növekedésnek indult. Így tehát az ember irányította niche-alkotás (mely általában együtt járt sok más élőlény niche-ének tönkrétételével) egyre nagyobb területen jelent meg, és egyre gyorsabb, egyre jelentősebb lett.

Ökológiai katasztrófák

A földi élővilág története nem az állandóság és a folyamatos gazdagodás, kiteljesedés története. Fajok, fajcsoportok milliói keletkeztek és tűntek el az évmilliárdok során úgy, hogy közben ezek száma összességében növekedett. Azonban voltak olyan időszakok is, amikor földi léptékkal mérve rövid idő alatt rengeteg faj tűnt el. Valahogy úgy, mintha lassan építenénk egy kártyavárat, aztán egy rossz mozdulat vagy légfuvallat hatására annak egy része pillanatok alatt összeomlana. Ilyen nagy összeomlásból a leletek alapján öt kiemelkedően jelentőset és számtalan kisebbet tartunk számon. Ezek háttérében legtöbbször a bioszféra

működésétől független események állnak, mint pl. az intenzív vulkáni tevékenység, egy hatalmas meteoritbecsapódás, vagy hirtelen klímaváltozások (3. ábra). Bár a legelső tömeges kihalási hullámot az oxigéntermelő cianobaktériumok megjelenése okozta nagyjából kétmilliárd éve, ezt követően az ember megjelenéséig nem ismerünk olyan esetet, hogy egyetlen faj vagy fajcsoport az egész bolygóra kiható kihalási hullámot indított volna el, ráadásul ilyen rövid idő alatt. Mi sajnos erre is képesek vagyunk.

Korábban már említettük, hogy a termékeny félholdban és Észak-Amerika egyes területein a vadászó ember a nagytestű emlősök kihalását okozta. Módszeres elemzések rámutattak, hogy a paleolitikumi ember megjelenését több kontinensen is a nagytestű emlősök tömeges kihalása követte (**4. ábra**). Hogy pontosan miért és hogyan történt ez, azt nem tudjuk, de az időbeli egybeesés alapján úgy gondoljuk, hogy az ember volt az oka a tömeges kihalásoknak. A *Homo sapiens* tehát már az őskőkorszakban a Föld történetének első olyan állatfajává vált, melynek hatása az egész bioszférára kiterjedt. Persze erre nem lehetünk nagyon büszkék, mert ezzel kezdődött az élővilág történetének hatodik, máig is tartó nagy kihalási hulláma, amit minden kétséget kizáróan egyedül az ember okoz. A zsákmányállatok kihalása azonban nem csupán egy fontos élelemforrás eltűnését jelentette, hanem megváltoztatta magát az élőhelyet is. Az élőhely megváltozása viszont arra kényszerítette az embert, hogy teljesen új táplálékszerzési módszerek után nézzen. Sejthető, hogy az alkalmazkodás nem lehetett minden esetben zökkenőmentes.

A mezőgazdaság kiteljesedésével új problémákkal kellett szembenéznie az embernek. Idővel az élelmiszertermelés egyre hatékonyabbá vált, ami lehetővé tette, hogy egy adott területen sokkal többen éljenek, mint korábban. Ugyanannyi energia megszerzéséhez kisebb terület is elegendőnek bizonyult, valamint rövid távon a táplálék mennyiségének ingadozása is csökkent a vadászó-gyűjtögető életmódhoz képest. Ez az új ökológiai rendszer azonban hosszabb időtávon még kevésbé volt stabil, mint az ezt megelőző. A korai mezőgazdaságon

alapuló társadalmak népességszám-alakulását nyomon követve egyértelműen kimutatható, hogy a folyamatos népességnövekedési periódusokat gyors összeomlások követték. Az ilyen összeomlások háttérében többféle folyamat is meghúzódhatott. Ahogy korábban láttuk, pusztán a körülmények (például a klíma) változása is vezethet a népesség drámai csökkenéséhez, főleg ha az adott populáció egy-egy, a klímára érzékeny természetű vagy tenyésztett fajból látja el energiaszükségleteinek nagy részét. De összeomlásnak nemcsak külső, hanem belső okai is lehetnek. A populáció méretének gyors növekedése, a megnövekedett népsűrűség és a szabad területek hiánya hozzájárulhatott egy-egy súlyosabb járvány megjelenéséhez, a földhasználat miatti erózióhoz, egy kártevő tömegessé válásához vagy a fegyveres konfliktusok gyakoribbá válásához. Nemrégiben *Shennan és munkatársai* [9] kimutatták, hogy Európa sok egymástól távol eső területén a mezőgazdaság megjelenését hasonló mintázatú, drasztikus népességszám-ingadozások követték, amelyek nagy valószínűséggel nem külső környezeti, hanem belső, populációdinamikai okokra vezethetők vissza.

A gazdálkodás feltételeinek a leromlása (pl. erózió miatt) a kisebb, szárazföldtől távol fekvő szigeteken okozhatta a legnagyobb problémát. Hiszen, ha egy ilyen szigeten nem lehet elég élelmiszert termelni, akkor nincs hova terjeszkedni. A helyben okozott ökológiai összeomlást ilyenkor ott helyben kell(ene) valahogy kezelni. Érdekes „történelmi” példa a szigetek túlnépesedésének megoldására a polinéz expanzió: néhány ezer évvel ezelőtt Délkelet-Ázsiában a polinézek mezőgazdasága nagy népességnövekedést tett lehetővé. A polinézek a mezőgazdaság mellett ügyes kereskedők voltak, hiszen kitűnően hajóztak. Hajózási tudományukat a túlnépesedés elkerülésére is hatékonyan alkalmazták. Ha egy szigeten már túl sokan laktak, egy új, általában lakatlan szigetet kerestek, és így pár ezer év alatt az egész délkelet-ázsiai szigetvilágot benépesítették. Olyan távoli helyekre is eljutottak, mint Hawaii vagy a Húsvét-sziget. A polinézek tehát elvándorlással oldották meg a

túlnépesedés problémáját – amíg volt hová továbbhajózni. De ez a lehetőség az utolsó benépesített szigeteknél már nem állt rendelkezésre.

Jól ismert példa a szigetek nehéz helyzetére a Húsvét-sziget társadalmának összeomlása. Sokáig tartotta magát a nézet, hogy a Húsvét-szigeten a túlnépesedést követően és ennek következtében a túlzottan intenzív erdőirtás és a mezőgazdaság nagyon komoly eróziót okozott. A talaj teljesen elszegényedett, a mezőgazdaság összeomlott. A visszafordíthatatlan ökológiai változás tömeges éhínséghez és éhhalálhoz vezetett. Érdekes, hogy a legújabb adatok nem erősítették meg ezt a hipotézist, bár az összeomlást közvetve valóban az ember okozta [8]. A Húsvét-szigetre ugyanis polinéz hajósok akaratukon kívül magukkal hozták a polinéziai patkányt is. A patkánynak semmilyen természetes ellensége nem akadt a szigeten, ezért elképesztően elszaporodott, letarolva a sziget erdeinek teljes maghozamát. Eltűntek az erdők, a madarak, és ezután a talaj is. Az itt élő emberek pedig alkalmazkodtak a sivár körülményekhez: ették a patkány húsát és zöldségeket termeltek a maradék talajon.

A XXI. században az ember számára az egész bolygó egyre inkább egyetlen nagy sziget, ahonnan nincs hová továbbhajózni, ha az életfeltételek leromlanak. Itt kell megakadályozni az összeomlást, mielőtt megkezdődne az alkalmazkodás keserves időszaka.

Összegzés, jövőbe tekintés, megrémülés

Írásunk elején bemutattuk, hogy vélhetően a klimatikus változások indították el a hominin fajok evolúcióját: az erősebben ingadozó, hidegebb és szárazabb klímához a hominin fajok eredményesebben alkalmazkodtak. Több millió éves történetének végén a *Homo sapiens* hihetetlen sebességgel vált a teljes földi ökoszisztéma meghatározó fajává. Kulturális evolúciójának segítségével nem csupán arra volt képes, hogy minden elképzelhető élőhelyhez alkalmazkodjon, hanem eközben a teljes bioszférát is alapvetően átalakította. A

mezőgazdaság megjelenése előtt ez a hatás még nem volt olyan szembeszökő, annak ellenére, hogy az ember különösen hatékony mindenevőként már ekkor is jelentős változásokat okozott. A mezőgazdaság elterjedésével az ember által kezelt mesterséges ökoszisztémák elkezdtek egyre dominánsabbá válni a Földön. Az újabb gyökeres változást az olcsó, hatalmas mennyiségben felhalmozódott biológiai alapú energia, a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása és általában az ipari forradalom okozta. Egy modern gazdaság ma már elképzelhetetlen traktor és gázolaj nélkül. Jelen pillanatban a szárazföld 38 százalékán folyik mezőgazdasági termelés, ezzel szemben az erdős területek aránya (melyek jelentős része nem természetes erdő, hanem ültetvény), 30 százalék alatt van. Míg a mezőgazdaság megjelenése előtt maximum 1-10 millió embert tartott el a Föld, addig az ipari forradalom előtt, a XV. században már 5-600 millió ember élt itt. A szénbányászat kezdetén, az 1800-as évek elejére körülbelül 1 milliárd lett a Föld lakossága, majd az olajkitermelés beindulásnak idején, 1960 táján már 3-3,5 milliárd, és már átléptük a 7,5 milliárdot (5. ábra).

Múltunk egy elképesztő sikertörténet, azonban ha számba vesszük az előttünk álló kihívásokat, bizony semmi okunk az ünneplésre. Éppen azzal, hogy ilyen domináns, a teljes földi ökoszisztémát átalakító faj vagyunk, drámai módon elszegényítettük a maradék, többé-kevésbe természetes életközösségeket is. Becslések szerint az ember közvetlenül vagy közvetve évente több ezer faj eltűnését okozza. Ez azt jelenti, hogy évente a Földről legalább ezerszer több faj tűnik el véglegesen pusztán emberi hatások miatt, mint az összes többi természetes ok következtében. A probléma mára már olyan súlyos, hogy olyan alapvető ökológiai szolgáltatások is akadoznak, mint a virágok beporzása, a talaj szerves anyagainak a lebontása, a kártevők természetes féken tartása vagy az egész bolygó klimatikus egyensúlyának fenntartása. Ezek a jelzések sajnos előrevetítik egy globális ökológiai katasztrófa rémképét. Az emberi populáció folyamatos növekedése és még ennél is gyorsabban növekvő energiaigénye mellett a jelen pillanatban nem látható, hogyan lehetne

egy hosszú távon stabil földi ökoszisztémát kialakítani. Bizonyos, hogy ezek a problémák mindannyiunkat érintenek és csak közösen tudjuk őket kezelni. Ezért a megoldás is csak teljes földi méretű összefogással lehetséges. Bízunk benne, hogy az összefogás és a felhalmozott tudáson alapuló innováció együtt sikerre vezet. Ennek hatására talán megállítható a további növekedés, valamint a biológiai és a nyersanyagkincs kizsákmányolása, és sikerül egy globálisan fenntartható életet kialakítani hazánkban, a Földön.

A cikk megírásában a szerzőket az OTKA K100299 és a GINOP 2.3.2-15-2016-0057 pályázata számú pályázata támogatta.

Scheuring István: Ökológiai Kutatóközpont, Evolúciós Rendszerek Kutatócsoport, Tihany és MTA-ELTE Elméleti Biológiai és Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport, Budapest

Vásárhelyi Zsóka: Ökológiai Kutatóközpont, Evolúciós Rendszerek Kutatócsoport, Tihany

Irodalom

[2] Boivin, N. L és mtsai 2016. Ecological consequences of human niche construction: Examining long-term anthropogenic shaping of global species distributions. PNAS, 113; 6388-6396

[3] Erwin, D. H. 2008. Macroevolution of ecosystem engineering, niche construction and diversity. TREE, 23; 304-310.

[6] Diamond, J. 2009. Összeomlás. Typotex kiadó, Budapest

[7] Diamond, J. 2010. Háborúk, járványok, technikák. Typotex kiadó, Budapest

[8] Hunt, T és Lipo, C. 2009. Ecological catastrophe, collapse, and the myth of ‘ecocide’ on Rapa Nui (Easter Island) In P.A. McAnany and N. Yoffee, Editors, *Questioning Collapse:*

Human resilience, ecological vulnerability, and the aftermath of empire, Cambridge University Press, pp. 21-44.

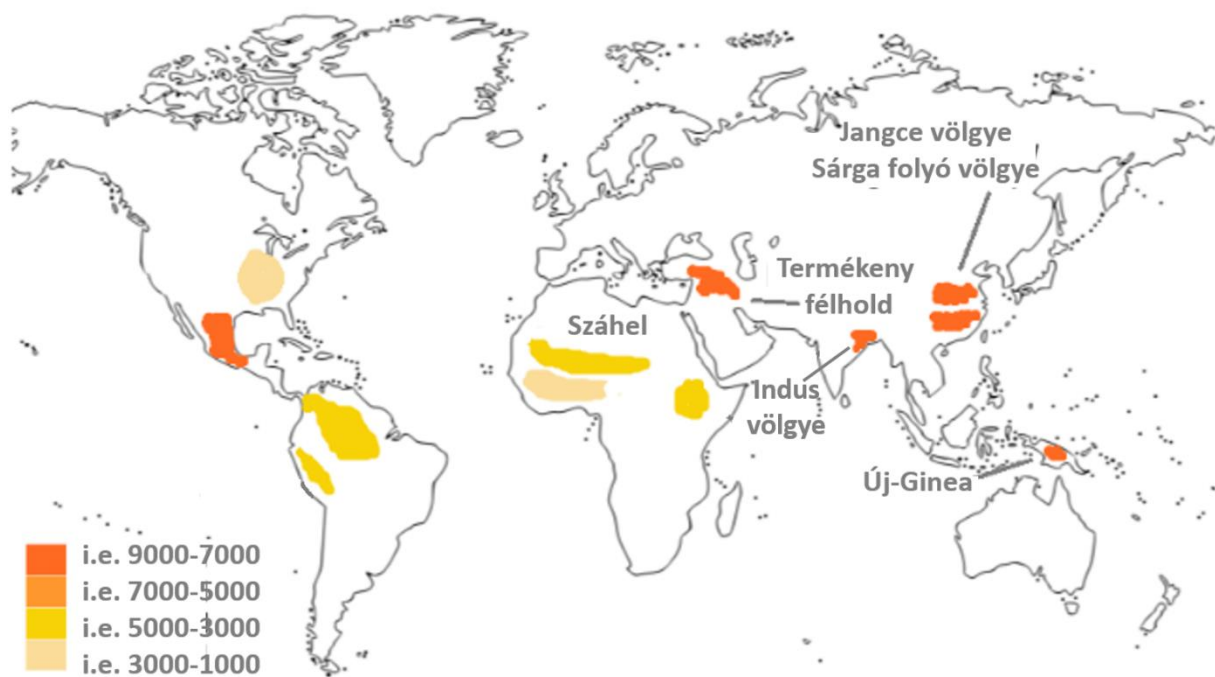
[9] Shennan, s és mtsai 2013. Regional population collapse followed initial agriculture booms in mid-Holocene Europe. *Nature Com.* doi:10.1038/ncomms3486

Nyitóképek:



Aratás: Részlet Sennedjem sírkamrájának falfestményeiből. (i. e 1200)

forrás: <https://www.sciencesource.com/archive/Ancient-Egyptian-Agriculture--1200-BC-SS2789307.html>



1. ábra. A mezőgazdaság kialakulása. A kezdeti mezőgazdasági központok és azok megjelenésének ideje különböző színnel jelölve. Néhány, fontosabb vagy kevésbé ismert központot meg is neveztünk. Az azóta megváltozott klíma miatt egyes területek, mint például a Száhel övezet ma már egyáltalán nem kedveznek a mezőgazdasági termelésnek.

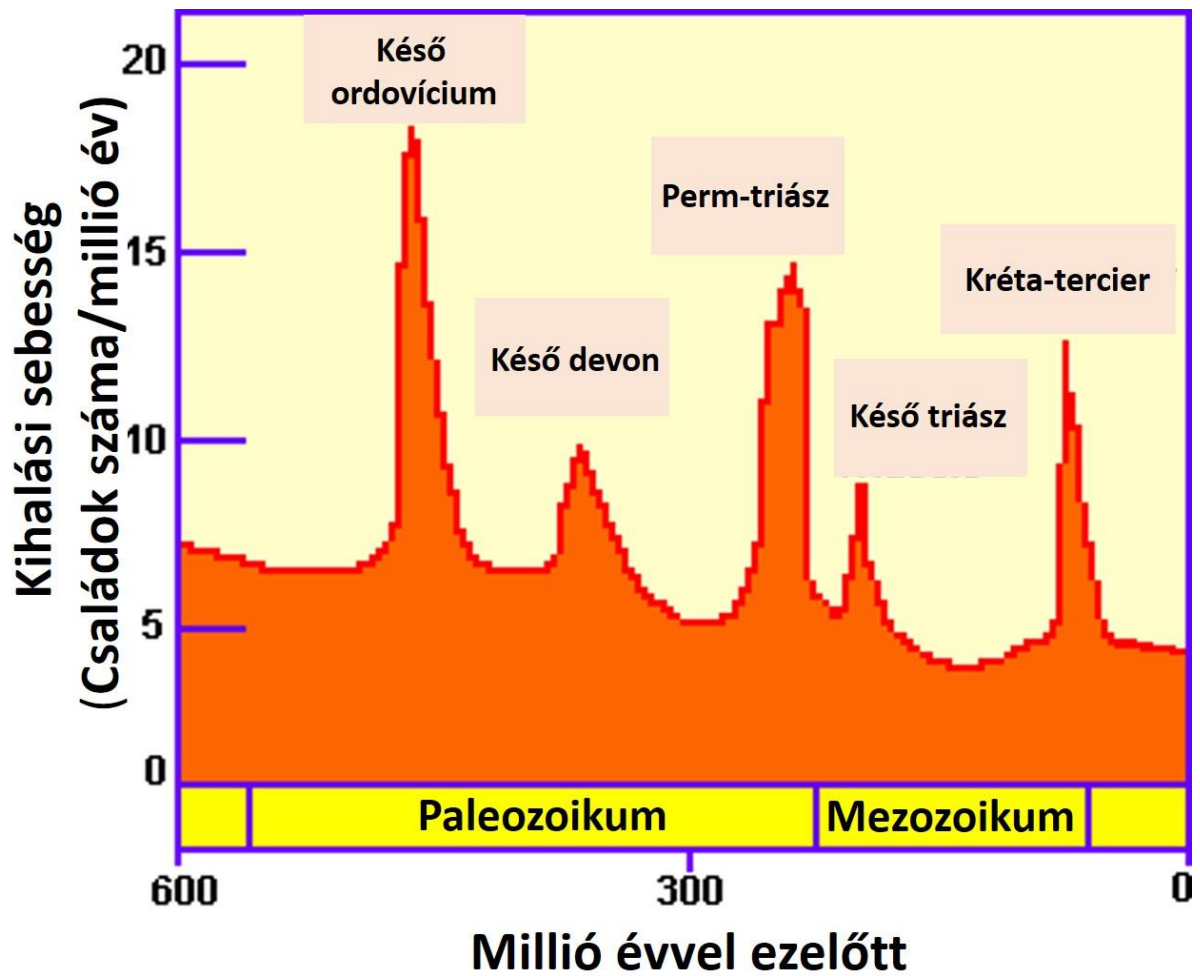


2a ábra. Egy kanadai hód (*Castor canadensis*) által készített gát és tavacska.
(Forrás: http://papabearnewyork.com/papabear/Day2007_October_VT_NH.html)

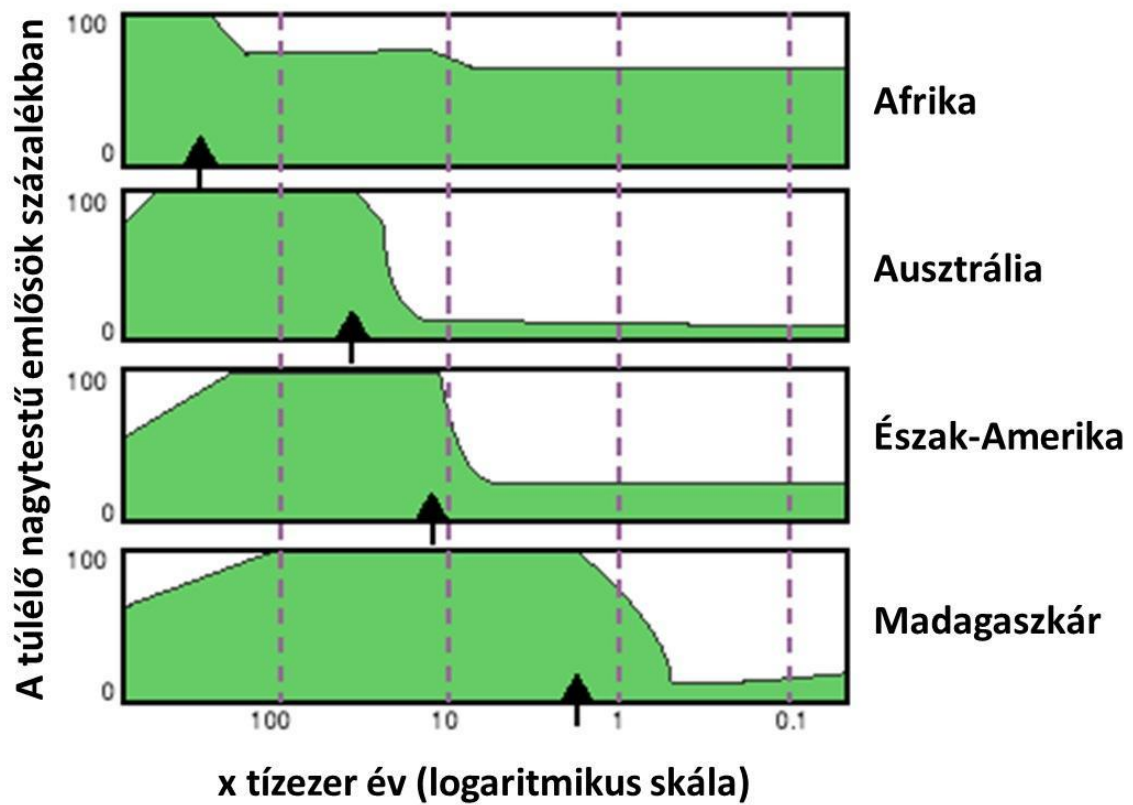


2b ábra. Az ördögkert. A képen látható *Duroila hirsuta* fácskákat körbeveszik a nyiladék szélén álló magasabb fák.

(Forrás: <http://news.stanford.edu/news/2005/september28/devil-092805.html>)

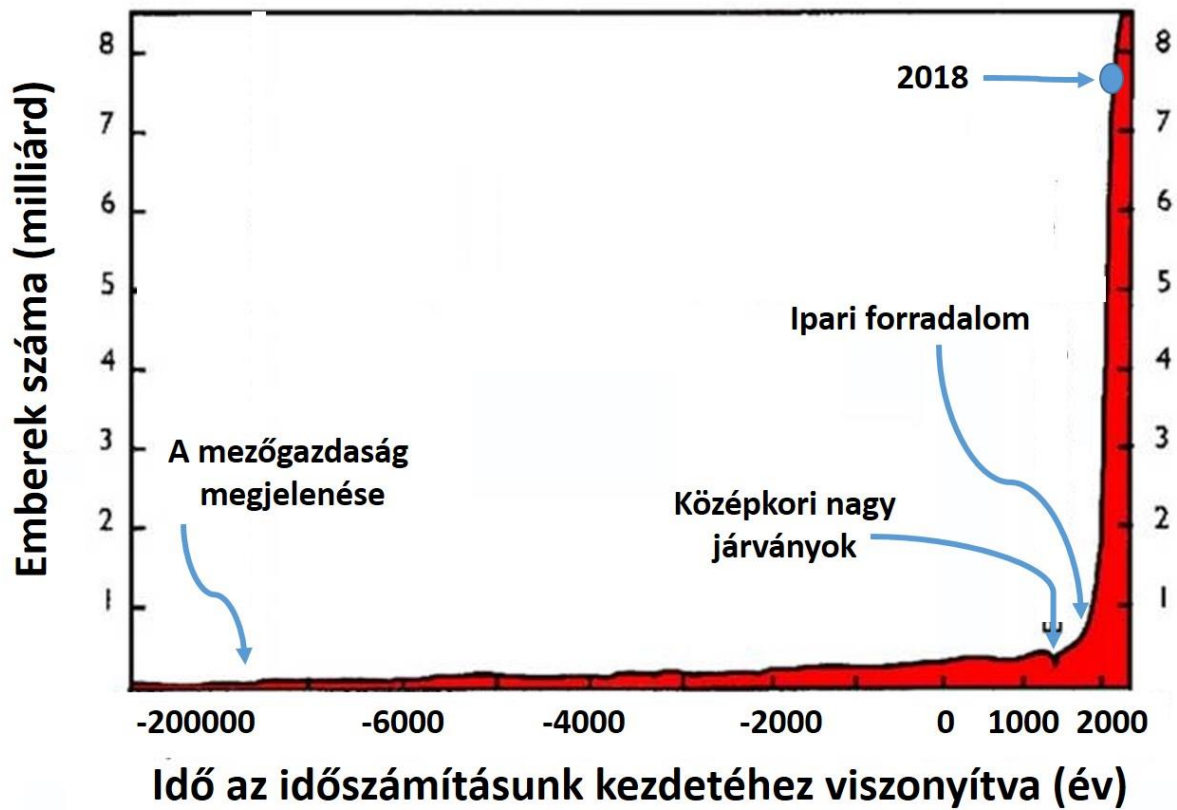


3. ábra. Az öt nagy tömeges kihalás az elmúlt 600 millió évben. A kihalási csúcsok fölött a hozzájuk tartozó földtörténeti korok olvashatóak. Az ember hatására a hatodik nagy tömeges kihalási hullám éppen most zajlik, de ezt itt nem ábrázoltuk. Az ábra Raup és Seipkovski (1982) adatai alapján készült.



4. ábra. A *Homo sapiens* megjelenése három kontinensen és Madagaszkáron, és a nagytestű emlősök ezt követő kihalása. Látható, hogy Afrikában, ahol régóta együtt éltek a hominin fajok a többi emlőssel, sokkal kisebb zavart okozott az ember megjelenése. Az ábra jobb szélén a jelen van, balra haladva megyünk vissza az időben.

(Forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/Quaternary_extinction_event)



5. ábra. Az emberi populáció változása a kezdetektől napjainkig. A mezőgazdaság megjelenésével fokozatos, de lassan növekedett az emberiség lélekszáma. A robbanásszerűen gyors növekedés az ipari forradalommal kezdődött el.