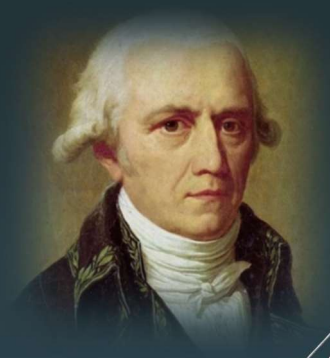
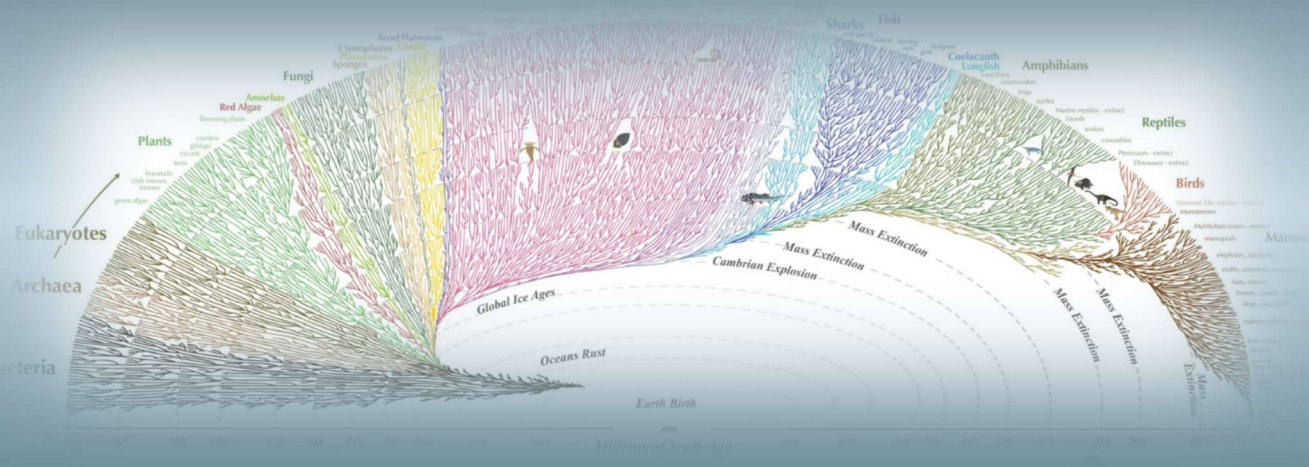
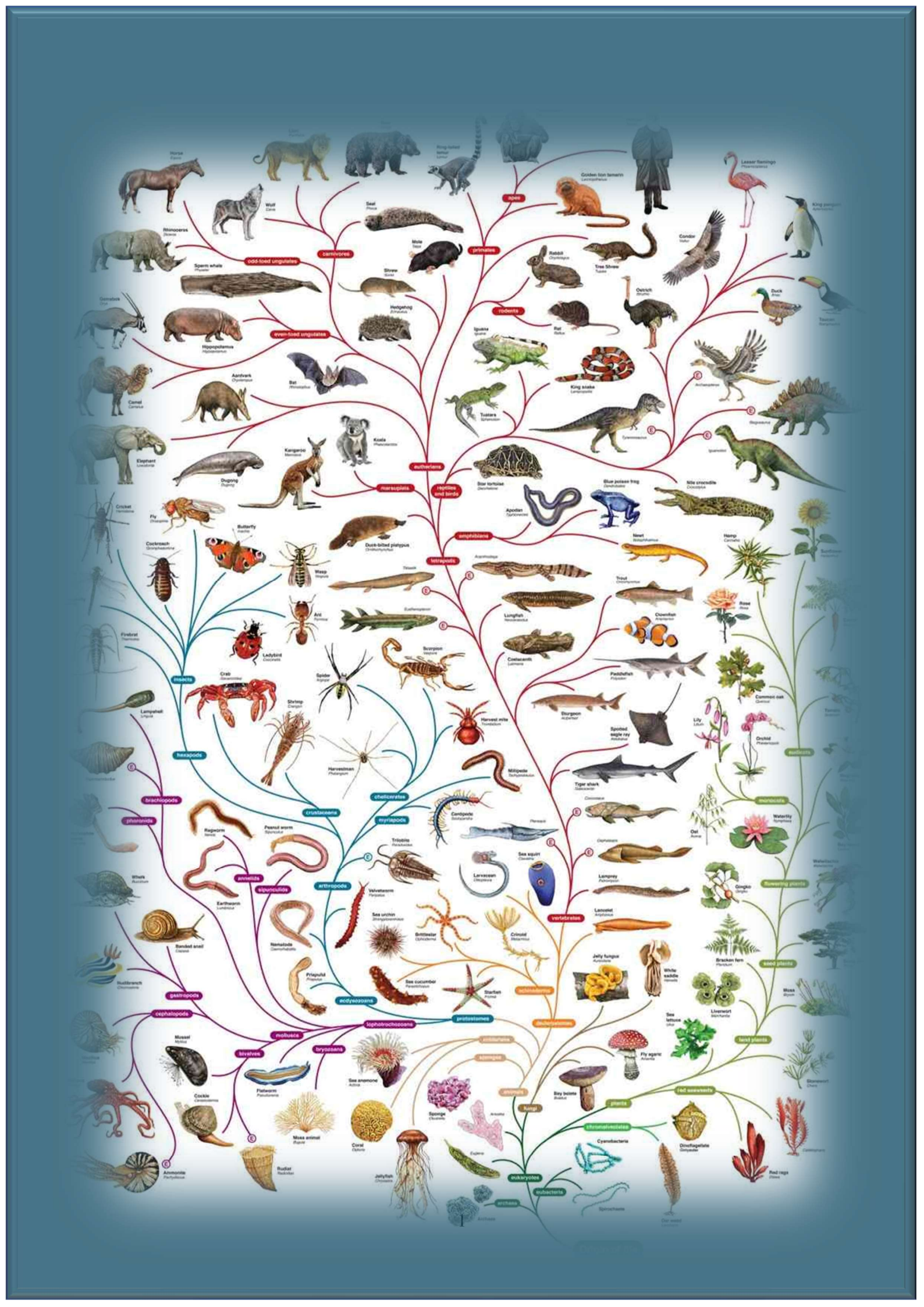


A RENDSZERTAN TUDOMÁNYA A BIOLÓGIAI EVOLÚCIÓ AZ ÉLŐVILÁG FŐBB CSOPORTJAINAK EVOLÚCIÓS ÚJÍTÁSAI

Készítette Vizkievicz András




Horse
Equus
Wolf
Canis
Seal
Phoca
Golden lion tamarin
Leontopithecus
Lesser flamingo
Phoeniconaias
King penguin
Aptenodytes
Rhinoceros
Ceratotherium
Sperm whale
Physeter
Mole
Talpa
Shrew
Sorex
Rabbit
Oryctolagus
Tree Shrew
Tupaia
Condor
Vultur
Ostrich
Struthio
Duck
Anas
Toucan
Ramphastos
Gemsbok
Oryx
Hippopotamus
Hippopotamus
Hedgehog
Erinaceus
Iguana
Iguana
Rat
Rattus
King snake
Lampropeltis
Archaeopteryx
Camel
Camelus
Aardvark
Orycteropus
Bat
Pteropodiformes
Tuatara
Sphenodon
Stegosaurus
Elephant
Loxodonta
Kangaroo
Macropus
Koala
Phascolarctos
Dugong
Dugong
Star tortoise
Geochelone
Blue poison frog
Dendrobates
Nile crocodile
Crocodylus
Iguanodon
Cricket
Gryllidae
Fly
Drosophila
Butterfly
Vanessa
Cockroach
Gromphadorhina
Duck-billed platypus
Ornithorhynchus
Apodan
Gymnophiona
Newt
Notophthalmus
Hemp
Cannabis
Wasp
Vespula
Tetrapodomorpha
Acanthostega
Trout
Oncorhynchus
Rose
Rosa
Firebrat
Thermobia
Ant
Formica
Lungfish
Neoceratodus
Clownfish
Amphiprioninae
Ladybird
Coccinella
Scorpion
Vaejovis
Coelacanth
Latimeria
Paddlefish
Polyodon
Common oak
Quercus
Crab
Grapsoidea
Spider
Araneae
Lamprehell
Lampra
Shrimp
Caridea
Harvest mite
Trombidium
Sturgeon
Acipenser
Spotted eagle ray
Aetobatus
Lily
Lilium
Orchid
Phalaenopsis
Harvestman
Phalangium
Millipede
Tachypodoiulus
Tiger shark
Galeocerdo
Oat
Avena
Waterlily
Nymphaea
Ginkgo
Ginkgo
Worm
Ragworm
Nereis
Peanut worm
Sipunculus
Trilobite
Paradoxides
Candipede
Scutigerina
Sea squirt
Ciona
Lancelet
Amphioxus
Lamprey
Petromyzon
Whelk
Buccinum
Earthworm
Lumbricus
Velvetworm
Peripatus
Sea urchin
Strongylocentrotus
Brittlestar
Ophiodermatidae
Crinoid
Metacrinus
Jelly fungus
Auricularia
White saddle
Russula
Bracken fern
Pteridium
Sea lettuce
Ulva
Liverwort
Marchantia
Moss
Bryum
Banded snail
Cepaea
Nematode
Caenorhabditis
Priapulid
Priapulus
Sea cucumber
Parastichopus
Starfish
Asterias
Nudibranch
Chromodoris
Mussel
Mytilus
Cockle
Cerastoderma
Flatworm
Platyhelminthes
Sea anemone
Actinia
Sponge
Porifera
Boy bolete
Boletus
Fly agaric
Amanita
Moss animal
Bryozoa
Coral
Cnidaria
Jellyfish
Chrysaora
Rudist
Rudistae
Ammonite
Parahoplites
Stonewort
Chara
Red algae
Rhodophyta
Cyanobacteria
Dinoflagellate
Gymnodinium
Euglena
Archaea
Spirochaete
Archaea
Eukaryotes
Eubacteria
Fungi
Plants
Chromalveolates
Red seaweeds
Seed plants
Flowering plants
Monocots
Eudicots
Fern allies
Moss
Liverworts
Hornworts
Lycophytes
Ferns
Horsetails
Gymnosperms
Cycads
Conifers
Ginkgoes
Gnetophytes
Angiosperms
Vertebrates
Deuterostomes
Echinoderms
Protostomes
Lophotrochozoans
Ecdysozoans
Molluscs
Bivalves
Bryozoans
Gastropods
Cephalopods
Annelids
Sipunculids
Arthropods
Crustaceans
Myriapods
Chelicerates
Insects
Hexapods
Brachiopods
Phoronids
Primates
Rodents
Carnivores
Odd-toed ungulates
Even-toed ungulates
Apes
Eutherians
Marsupials
Reptiles and birds
Amphibians
Tetrapods
Vertebrates

Tartalomjegyzék

A rendszertan (taxonómia) alapjai

Mesterséges rendszerek

A rendszertani kategóriák

A kettős nevezéktan

A természetes (fejlődéstörténeti) rendszerek

A biológiai evolúció

Történeti áttekintés

Darwinizmus

Kladisztika

Az evolúció közvetlen bizonyítékai

Fosszíliák

Abszolút (radiometrikus) kormeghatározás

Radiokarbon módszer

Relatív kormeghatározás

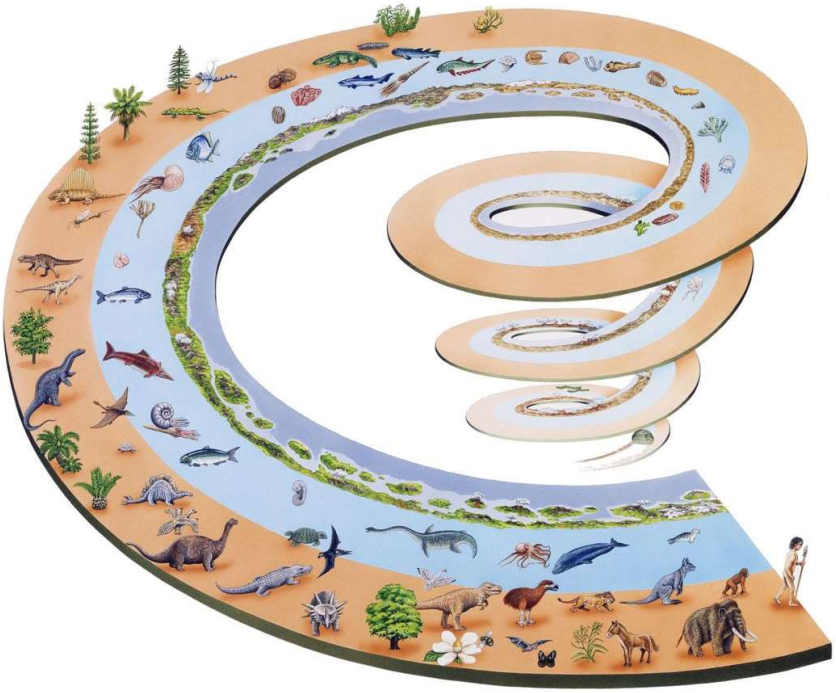
Az élőlények főbb csoportjai – hat ország elmélet

Az élővilág főbb csoportjainak evolúciós újításai

Növények evolúciója

Az állatok evolúciójának fontosabb állomásai

Kihalási események (kiegészítő olvasmány)



A rendszertan (taxonómia) alapjai

Készítette Vizkievicz András

A rendszerezés során az egyes elemeket halmazokba – csoportokba – soroljuk, majd az különféle halmazokat tovább csoportosítjuk egyfajta rendszerező elv szerint.

Az élőlények csoportosításának, a rendszerezésnek célja az élővilág áttekinthetősége.

- Több mint 500 000 növényfaj (botanika),
- min. 1,5 millió állatfaj (zoológia),
- legalább 100 000 gombafaj (mikológia) ismert,
- a mikroszkopikus élőlény fajok – mikroorganizmusok - számát még megbecsülni is nehéz (mikrobiológia).

Alapvetően kétféle elv szerinti rendszer létezik.

- **Mesterséges: kiragadott, önkényesen választott bélyegek alapján rendszerez.**
- **Természetes:** a fajok **rokonsági viszonyait tükrözi, alapja** az élővilág törzsfejlődése, **az evolúció.**

Mesterséges rendszerek

Arisztotelész (ie.384-322) az állatokat két csoportba sorolta, vörös, nem vörös vérű állatok.
Az első **tudományos igényű rendszer** megalkotója **Karl Linné svéd orvos, természettudós** (1707 – 1778).
Fő műve:1735, Systema naturae.

Linné érdemei:

- **Rendszerének alapegysége a faj.**
- Megalkotta **a rendszertani kategóriákat.**
- Bevezette **a kettős nevezéktant.**

Linné a növényeket **önkényesen** pl. a porzók száma, portokok helyzete, párta alakja stb. alapján csoportosította.
A **rendszerezés alapegysége a faj.** Mindazon egyedek egy fajba tartoznak, melyek:

- **lényeges külső és belső tulajdonságaikban nagymértékben hasonlóak,**
- **egymással szaporodni képesek,**
- **önmagukhoz hasonló, termékeny utódot hoznak létre,**
- **(származásuk közös).**

A rendszertani kategóriák

Faj = Species	Homo sapiens – bölcs ember
Nemzettség = Genus	Homo - ember
Család = Familia	emberfélék
Rend = Ordo	főemlősök
Osztály = Classis	emlősök
Törzs = Phylum	gerincesek

Mindegyik kategóriának lehetnek alcsoportjai is, pl. alosztály, alrend stb.

A faj alatti rendszertani kategóriák

Alfaj:

Önálló földrajzi elterjedésű csoport, melynek egyedei jobban hasonlítanak egymáshoz, mint a faj többi egyedéhez (pl. emberi **nagyrasszok**).

Fajta:

Mesterségesen – nemesítéssel, tenyésztéssel - létrehozott faj alatti egység (kutyafajták).

A kettős nevezéktan

Minden faj **latin neve 2 névből áll:**

1. név: **nemzettség** neve,

2. név: **faji különbség.**

Pl. Canis familiaris – házi kutya
Canis lupus – farkas
C. aureus – sakál

A latin név egyből felhívja a rokon fajokra a figyelmet, hiszen a leszármazási kapcsolatban lévő, egymással rokon fajok egy nemzettségbe tartoznak. Természetesen Linné nem az evolúciós viszonyok szerint, hanem külsődleges jellegek alapján sorolta a hasonló fajokat egy nemzettségbe.

A természetes (fejlődéstörténeti) rendszerek

A **fajok rokonsági viszonyait tükrözi. Alapja** az élővilág törzsfejlődése, az **evolúció.**

A biológiai evolúció

Történeti áttekintés

Tágabb értelemben az evolúció egy lassú, fokozatos, bizonyos irányba haladó változást jelent.

A **biológiában** evolúciónak, törzsfejlődésnek nevezzük az **élővilág fokozatos és szüntelen történeti fejlődését.** A törzsfejlődés hátterében olyan **folyamatos változások sorozata áll**, melynek során a **fajok öröklődő jellegei nemzedékről nemzedékre változnak**.

Az evolúció során a **fajok** a **változó környezeti feltételekhez** folyamatosan **alkalmazkodnak,** melynek során **génállományuk**, ezen keresztül **tulajdonságaik szüntelenül változnak**.

Az evolúció eszmerendszere ma teljes mértékben áthatja a természettudományos gondolkodást, megkérdőjelezhetetlen rendezőelvként van jelen. (Eszme: valamilyen értékesnek tekintett jelenségről alkotott fogalom.) Ez nem volt mindig így, az evolúció világnézeti rendszerének a kialakulása egy hosszú történeti folyamat eredménye, melynek legfontosabb állomásait tekintjük át az alábbiakban.

Egészen a 18. századig általánosan elfogadott vélekedés volt, hogy a világ minden részletében egyszeri eseményként, isteni teremtés eredménye. Néhány száz évvel ezelőtt a legpontosabb becslés a Föld korára kevesebb, mint hatezer évet adott. 1654-ben James Ussher anglikán érsek - az Ótestamentum történetein alapuló számításai alapján - az i. e. 4004. október 23-át jelölte meg a teremtés pontos időpontjaként. A természettudományos gondolkodásban a paradigmaváltást a **felvilágosodás** eszmerendszere indította el. (Paradigma: általánosan elfogadott nézetrendszer egy adott korszakban.)

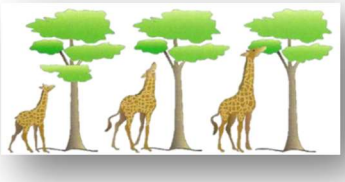
Az élővilág változatlanságával kapcsolatos nézetek megkérdőjeleződése akkor merült fel, amikor először kezdték tudományosan vizsgálni a különféle fosszíliákat. A **fosszíliák** vagy **ősmaradványok** **az élőlények különbözőképpen megőrződött maradványai.** Az ilyen irányú kutatások terén úttörőmunkát végzett Georges de **Cuvier** (1769 –1832) francia természettudós, akit ma az **őslénytan atyjának tekintünk**.

Megfigyelte, hogy a különböző földtani rétegekből előkerült fosszíliák különböznek egymástól, minél mélyebbről kerül elő egy maradvány, annál régebbi, ill. annál jobban különbözik a jelen élő képviselőktől. **Nem hitt a folytonos változásokban**, azt gondolta, hogy az állatfajok állandóak és nem változnak. Tapasztalatát **katasztrófaelmélettel** magyarázta, mely szerint a kihalt élőlények katasztrófák során pusztultak el, s az új fajok a pusztulás után másként fejlődtek ki.

Cuvier katasztrófaelmélete szemben állt kortársa, **Jean-Baptiste de Lamarck** jövőbe mutató evolúciós elméletével.

Jean-Baptiste Antoine de Lamarck, (1744-1829) francia orvos, Darwin előfutára. **Először fogalmazta meg**, **hogy az élőlények nem állandóak**. Ő használta először a biológia kifejezést.

Lamarck úgy gondolta, hogy az **élőlények egy megváltozott környezetben új viselkedésformákat alakítanak ki, amelyek aztán felépítésbeli változásokat vonnak maguk után, amelyek átöröklődnek az utódaikra,** azaz **szerinte a szerzett tulajdonságok öröklődnek** (lamarckizmus: a szerzett tulajdonságok örökölhetősége). Lamarck szemléletét később sokáig elvetették, azonban újabban az epigenetikai kutatások fejlődésével ismét a tudósok látókörébe került.

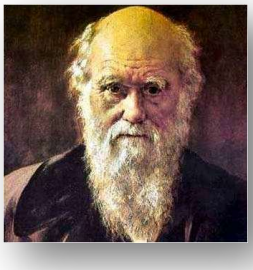


Lamarck szerint az életformák lépcsőzetes sort alkotnak a legegyszerűbbtől a legbonyolultabb élőlényekig a kialakulásuk sorrendjében. Úgy gondolta, hogy az élőlények mindig alkalmazkodnak a környezetükhöz, melynek eredményeként folyamatosan változnak, átalakulnak egymásba, új és új formáik jönnek létre.

Munkáiban két "törvényt" állapít meg:

- Az első szerint, a **szervek tökéletesednek az ismételt használat során**, és gyengülnek akkor, ha nem használják őket.
- A második törvény szerint, **a szervek környezet által meghatározott változása öröklődik**, azaz megőrződik a szaporodás során, és átkerül az új egyedekbe is. Szerinte a zsiráf első lába és nyaka azért nyúlt meg, mert az állat folytonosan nyújtózkodott az élelemért. A megnyúlt nyakat az egyedek tovább örökítették.

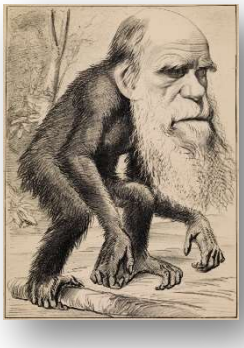
Darwinizmus



Az **evolúcióelmélet kidolgozója** és névadója **Charles Darwin** (1809 – 1882) angol természettudós.

Nem Darwin fogalmazta meg az evolúció elméletét, jelentősége nem ebben áll, hanem ő volt az, aki először **megalkotott egy tudományosan kidolgozott mechanizmust az evolúció magyarázatára.**

A fajok átalakulását a tudósok jelentős hányada elfogadta Darwin előtt is, azonban meggyőző magyarázatot Darwin adott **A fajok eredete** (1859) című művében a fajok kialakulására, az élőlények sokféleségére. A mű fogadtatása a várakozásoknak megfelelően elutasító volt, de később a tudományosan megfogalmazott elmélet lassan elfogadottá vált. (*A mű teljes címe: A fajok eredete természetes kiválasztás útján, vagyis az előnyös változatok fennmaradása a létért folyó küzdelemben*.)



A 22 éves Darwin természettudományos gondolkodására óriási hatást gyakorolt Beagle nevű hajóján tett 5 évig tartó világkörüli tudományos expedíciója, melynek során jutott el a Galápagosi-szigetcsoportra is. Mire hazaért, már valóban biztos volt abban, hogy az evolúció létezik, de még nem találta meg működésének mechanizmusát.

Később, Lamarck gondolatait a **természetes kiválasztódás, a természetes szelekció** elméletével egészítette ki.

A természetben a fajon belül az egyedek nem egyformák, Darwin szerint a **természetes szelekció** (kiválogatódás) során a **létért való küzdelemben** az alkalmas változatok – a **rátermettebbek - fennmaradnak**, tulajdonságaikat tovább örökíthetik, míg a **kevésbé alkalmasak elpusztulnak**, kiszelektálódnak.

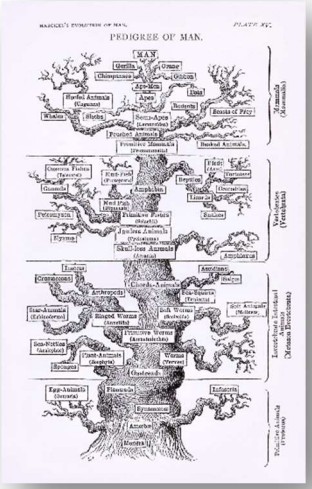
A folyamatban az élőlények öröklődő tulajdonságai közül az **előnyös jellegek gyakorisága nő**, az **előnytelenek gyakorisága pedig csökken** az egyes nemzedékek során. Ha az előnyös ismertetőjegyek az öröklődés során átadódnak a következő nemzedéknek, akkor idővel túlsúlyra juthatnak a populáción belül, és a változások **új faj létrejöttét eredményezhetik**.

Az **élőlények ezáltal alkalmazkodnak – adaptálódnak - az adott környezethez**. A környezeti tényezők megváltozása azonban új alkalmazkodási folyamatot igényel, melynek során előtérbe kerülhetnek korábban semleges vagy akár hátrányos tulajdonságok is a populációban.

Tehát az **evolúció olyan folyamatos változások sorozata**, melynek során a **fajok öröklődő jellegei nemzedékről nemzedékre változnak**.

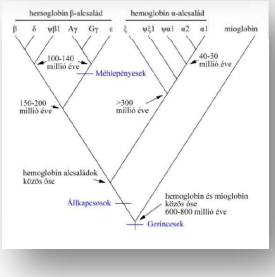
A Manchester környéki **nyírfaaraszoló lepkéknek** világos és sötét mintázatú változatai ismertek. A 18. század első felében e lepkének szinte csak a világos példányai fordultak elő, mivel a nyírfák világos kérgén a sötét mintázatú egyedeket a madarak könnyen észrevették és elfogyasztották (kiszelektálták). A sötét színű egyedek gyakoriságát a szelekció folyamatosan alacsonyan tartotta. Az ipari forradalom idején sötét koromszennyezés borította be a fák kérgét, aminek köszönhetően a világos egyedek váltak feltűnővé, ezért néhány évtized alatt a környék nyírfaaraszoló populációiban a sötét és világos példányok aránya megfordult.

Az élőlények csoportosítását **rendszerezésnek** nevezzük. **Darwin** munkássága nyomán alakulnak ki a **fejlődéstörténeti rendszerek**, melyekben a **csoportosítás alapjául** a **fajok leszármazási** – rokonsági – **viszonyai** szolgálnak.



Régebben – a XX. század végéig – a különféle rendszerek az **élőlények külső és belső megfigyelhető** tulajdonságainak összehasonlításával próbálták a rokonsági viszonyokat megítélni (fenetika). Ez alapján ún. **törzsfákat** készítettek, melyek **szemléletesen tükrözik az egyes csoportok rokonsági kapcsolatait**.

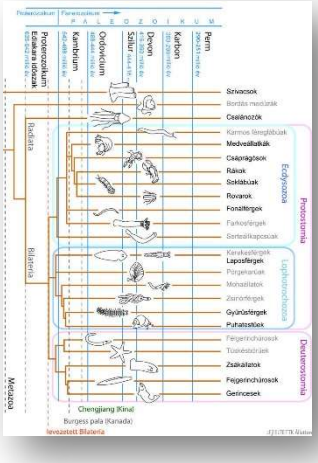
A **modern ún. filogenetikai** – élőlények törzsfejlődésének történeti folyamatán alapuló - **rendszerek** készítésekor, már bizonyos **molekulák** – **nukleinsavak (DNS), fehérjék - szerkezetének** az összehasonlításával következtetnek a tudósok az élőlények leszármazási kapcsolataira. **Minél nagyobb a hasonlóság két faj adott molekulái** – pl. gerincesek esetén a hemoglobin aminosav-sorrendje – **között**, **annál közelebbi rokoni kapcsolatban állnak**.



Ezek segítségével a kutatók ma már **molekuláris törzsfákat** készítenek. A **DNS vizsgálatának óriási előnye**, hogy matematikai módszerekkel is elemezhető, így **sokkal pontosabb**, mint az egyes önkényesen kijelölt, külsődleges jellegek értékelése alapján megbecsült leszármazási viszony.

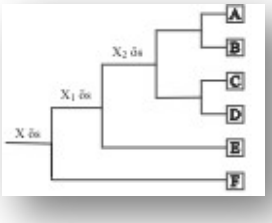
Kladisztika (kiegészítő tananyag kizárólag haladóknak)

Olyan rendszerezési eljárás, amelyben az élőlényeket kládoknak nevezett rendszertani csoportokba osztják be az evolúciós leszármazási kapcsolataik alapján.



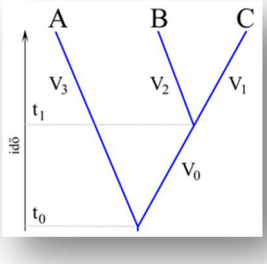
A rokonsági viszonyok elemzésénél a **különbségek számítanak,** tekintve, hogy a fajok közti különbségek a törzsfejlődés során időben egymást követő hasadásokból keletkeztek. Az evolúciós leszármazást feltüntető diagram a **kladogram**; ez kettéágazó ágakból álló fára emlékeztető rendszer. Az elágazások minden egyes pontja egy közös ősből kiinduló szétváló fejlődést mutat.

A leszármazási viszonyok ábrázolására szolgáló fastruktúra sokféle változata ismert. Pl.:



- Az A-tól F-ig jelölt fajok alkotnak egy kládot, mivel van egy közös X ősük;
- az A-tól D-ig tartó betűkkel jelölt fajok egy másik ranggal rendelkező kládot alkot, mivel a közös ősük az X_2.
- A C-től az F betűig jelölt fajok nem alkotnak kládot, mivel egy kládnak a közös őstől eredő összes leszármazottat magába kell foglalnia.

Az ábra egy három egységből (A-C) – fajból - felépülő filogenetikai fát szemléltet.



A gyökér helyzetét itt egy vonal jelzi a fa alján. A fának a gyökér mellett egy további belső csomópontja és négy ága van, melyek hosszát v_0, v_1, v_2 és v_3 jelöli. A belső csomópont a B és C csoportok utolsó, kizárólagos közös ősének feleltethető meg, amely nem őse az A egységnek.

Egyes esetekben a csomópontokhoz idő is rendelhető, esetünkben t_0 a közös őstől való elválás kezdetét, vagyis A, illetve B és C közös ősének szétválását, t_1 pedig a B és C egységek később bekövetkező elkülönülésének kezdetét jelzi.

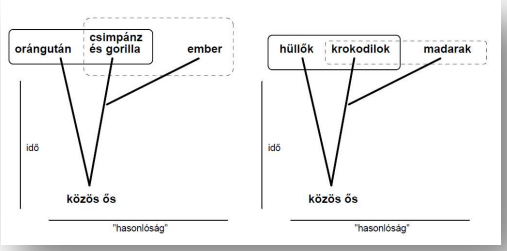
Mivel B és C egységek későbbi közös őssel rendelkeznek, közelebbi rokonai egymásnak, mint B az A vagy C az A egységnek.

Egy törzsfaj kettéhasadásakor két utódfaj keletkezik. Az egyik rendszerint megtartja **ősi** vonásait, a másik a megváltozott életkörülményekhez való alkalmazkodás során **új vonásokat** fejleszt ki. Ezek a **testvércsoportok** vagy testvérfajok. Ezeknek **azonos kategóriaranggal kell rendelkezniük**. A filogenetikai rokonság értelmében két faj csak akkor van szorosabb rokonságban egymással, mint egy harmadik fajjal, ha egy törzsfajból vezethetők le, amely ugyanakkor nem törzsfaja a harmadiknak is. A három faj közös törzsfajának tehát idősebbnek kell lennie, mint a két faj törzsfajának. A kladogram időbelileg egymásra következő elágazásai ily módon meghatározzák a kategóriák sorrendjét.

Fenetikus vs. kladisztikus osztályozás Forrás: Korsós Zoltán

Külső hasonlóság alapján azt tartjuk, hogy az ember jól elkülönül az emberszabású majmoktól, csakúgy, mint a madarak a hüllőktől (beleértve a krokodilokat is); ez megfelel a hosszú idő óta elfogadott, közismert osztályozásnak (folytonos vonalú keret). Ezt a nagyobb különbséget mutatja az ábrán a vízszintes koordináta („hasonlóság”) mentén ábrázolt nagyobb távolság.

Egyes fosszilis adatok, majd újabb genetikai és biokémiai vizsgálatok azonban mindkét példánál a hagyományostól eltérő csoportosításhoz vezettek. Eszerint az elgondolás szerint az „ember” vonal időben később vált el a csimpánztól és a gorillától, mint azok az orángutántól; hasonlóképpen a madarak csak később különültek el a hüllőktől korán levált krokodiloktól (függőleges koordináta: „idő”).



A régebbi, tradicionális értelmezésben (fenetika) az osztályozás alapját a morfológiai hasonlóság képezi, és ez, ahogy a „törzsfa” mutatja, nem felel meg a valódi leszármazási kapcsolatnak; az újabb, evolúciós értelmezésben (kladisztika) viszont olyan bélyegeket választunk az osztályozás alapjául, amelyek jobban tükrözik a törzsfejlődést, ezért a rajtuk alapuló osztályozás a valódi leszármazási kapcsolatoknak felel meg. Az embert tehát a gorillával és a csimpánzzal, a madarakat pedig a krokodilokkal közös csoportba kell sorolni, ami érthető módon még ma is meglehetősen felkavarja a közvéleményt (szaggatott vonalú keret). Az „emberszabású majmok” és a „hüllők” csoportnevek pedig leszármazási értelemben nem léteznek.

Az evolúció közvetlen bizonyítékai

Az evolúció közvetlen bizonyítékaiként az **egykor élt élőlények maradványai** szolgálnak.

1. **Fosszíliák**, az élőlények különbözőképpen megőrződött maradványai, amelyek lehetnek:

   - **kövületek**: valamikor élt élőlények **megkövesedett** maradványai, ill.
   - **lenyomatok**: az egykor élt élőlények testének lenyomatai (archeopteryx),

   - **borostyánkövekben** (megkövesedett gyanta) **zárványként** főleg ízeltlábúak maradványai,
   - **hideg által konzervált ősmaradványok** (mamutok, Ötzi).

   - **Élőkövületek**, olyan **élőlények**, amelyek **túlélték azt az időszakot, amelyben virágkorukat élték** (bojtosúszós hal, hidasgyík, páfrányfenyők, stb.).

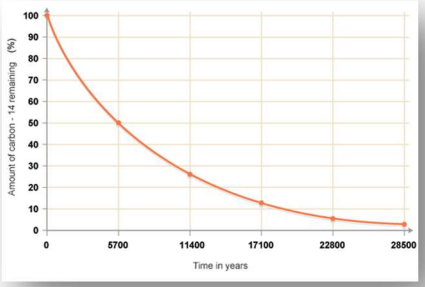
Az **ősmaradvánnyá válás egyik feltétele** a **szilárd váz** megléte, mert a lágy részek kivételes esetektől eltekintve, elbomlanak. A fosszilizáció **másik feltétele** a gyors **betemetődés**, amely megvédi az elhalt szervezetet a pusztulástól. Ez a feltétel ott biztosított, ahol a **lerakódó** üledék magába zárja és megóvja az elpusztult élőlények maradványait. A fosszíliák nagyrészt a tengeri üledékes kőzetekben találhatók.
A megkövesedés során a betemetődött szervezet üregei ásványokban gazdag talajvízzel töltődnek meg, amelyből később az ásványok kiválnak, megszilárdulnak és kitöltik az üregeket, aminek köszönhetően kirajzolódik a maradvány formája.

2. **Abszolút (radiometrikus) kormeghatározás**

A kőzetekben található **radioaktív elemek segítségével** történő kormeghatározás. A módszer alapjául a radioaktív **elemek lebomlási ideje** szolgál. A **radioaktív és a stabil anyag arányából** következtetni lehet az anyag korára.

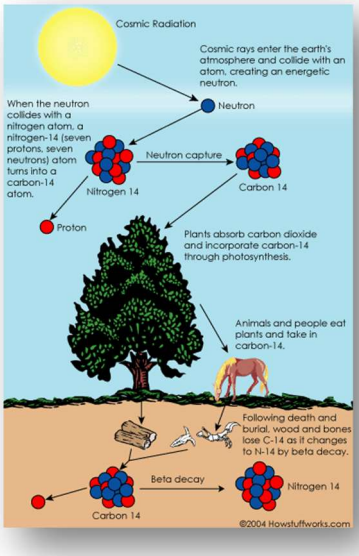
Radiokarbon módszer

A természetben a **stabil szén-12** és a **radioaktív szén-14 izotóp aránya meghatározott** és **állandónak** vett. Az élőlényekbe az egyes elemek természetes arányukban épülnek be az életük során. Ha azonban elpusztulnak, akkor további ^{14}C beépítésére nincs lehetőség, így a stabil szénatom, a C-12 és a radioaktív szén 14-es számú izotóp aránya csak a radioaktív bomlás miatt változik, ezért a **^{14}C koncentrációja** a felezési időnek megfelelően exponenciálisan **csökken**. **Tehát a vizsgálandó leletben a ^{14}C és a ^{12}C arányát kell meghatározni,** amiből a felezési idő ismeretében következtetni lehet a fosszília korára**.**



A szén izotóp felezési ideje **5730** év. Ennek az ismeretében a régészeti leletek kora kielégítő pontossággal meghatározható (kb. **70.000** évig visszamenőleg, 100 év eltéréssel).

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{14}_{6}C^{*} + ^{1}_{1}p \qquad ^{14}_{6}C^{*} \rightarrow ^{14}_{7}N^{*} + ^{0}_{-1}e^{-}$$



A **kálium-argon** módszer is nagyon elterjedt, mert a kálium nagyon sok kőzetalkotó ásványban előfordul. Az egészen fiataltól a legidősebb **kőzetek vizsgálatára** is felhasználható. Kálium 1,3 milliárd év alatt feleződik.

3. Relatív kormeghatározás

Akkor használatos, ha **nincs lehetőség abszolút kormeghatározásra**. Az egymásra települt kőzetek alulról felfelé haladva egyre fiatalabbak. A relatív kormeghatározás legmegbízhatóbb, legpraktikusabb módszere az üledékes kőzetekben talált ismert korú **ősmaradványok** felhasználása. Az egy szintben elhelyezkedő fosszíliák azonos korúnak tekinthetők.

Ősmaradványok:

- **Trilobita**: háromkaréjú ősrák. A földtörténeti **óidő** fontos vezérkövülete.
- **Ammoniteszek**: a jura elején éltek, a földtörténeti **középkor** szintjelzői. Vezérkövületek. Akadt közöttük 1/2 cm-es törpe és 3 méteres óriás is.

Az élővilág főbb csoportjainak evolúciós újításai

Az élővilág kialakulásáról már volt szó korábban, a prokarióták megjelenésétől egészen a többsejtű eukarióták létrejöttéig. Az alábbiakban a többsejtű növények, ill. az állatok evolúciójának fontosabb állomásait tekintjük át.

Növények evolúciója

Az **első többsejtű növények moszatok** (algák) **voltak**, melyek a korai óidő tengereiben jelenhettek meg. A magasabb rendű szárazföldi növények kialakulásának szempontjából az algák közül a **legfontosabbak az ősi zöldmoszatok voltak**. A szárazföldön egészen addig nem jelenhetett meg az élet, amíg az oxigénszint el nem érte kb. a mai értéket, aminek köszönhetően az ózonréteg vastagodása miatt a halálos UV sugarak elnyelése olyan mértékű lett, hogy a szárazföldön megjelenő élőlényeket már nem károsította. Ez nagyjából a szilur időszak végén, kb. **400 millió évvel ezelőtt** következett be, s így a tengerek árapály zónájában élő **ősi zöldmoszatokból kialakulhattak egymással párhuzamosan a mohák és a harasztok**. Ezzel kezdetét vette a szárazföld meghódítása.

A **mohák fejlett teleptestes szerveződésűek, a szövetes szerveződési formát nem érték el.** Az **evolúció egyik zsákutcáját** képviselik, **fejlődésük megrekedt**, a magasabb rendű növények felé semmiféle kapcsolatot nem mutatnak.

A **harasztok** megjelenése az evolúció történetében merőben új fejezetet jelentett, amennyiben a **harasztok voltak az első valódi szövetes és az első valódi hajtásos – valódi szervekkel rendelkező – növények (a hajtás a leveles szár).**

A **valódi szövetek, a növényi szervek kialakulását a szárazföldi életmódra való áttérés indukálta.**

Amíg a növény vízben élt

- **nem volt szüksége gyökérre**, hiszen benne élt a tápoldatban, a **tápanyagok felszívását egész testfelületen végezte**, ennek következtében
- **szállító szöveteket sem tartalmazott**,
- **nem volt kitéve a kiszáradás veszélyének** sem, így a bőrszövetek kialakulása sem következett be,
- **mechanikai szövetek sem alakultak ki**, hiszen nem kellett a növényi testet tartani.

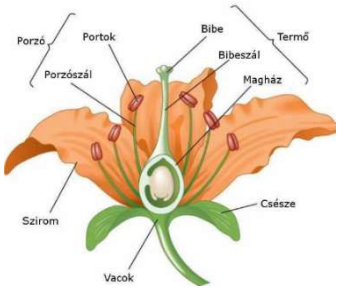
A harasztok első képviselői virágkorukat a karbonban élték, hiszen az akkori meleg, csapadékos klíma kedvezett elterjedésüknek (hiszen szaporodásukhoz víz kell), majd e korszak vége felé, a Föld klímájának szárazabbra fordulása miatt hanyatlásnak indultak, fajaik többsége kihalt.

A harasztok ősi képviselői nagytermetű, fás szárú növények voltak, törzsük átmérője a 2 m-t, magasságuk a 30 m-t is elérte. Óriási **mocsárerdőket** alkottak. Ide tartoztak a **pikkelyfák** és a **pecsétfák**, melyek nevüket a levelek lehullása után a törzsön visszamaradó jellegzetes alakú levélcsonkokról kapták. E növények maradványaiból alakultak ki a mai **kőszéntelepek** **anaerob bomlás** eredményeképpen, továbbá óriási jelentőségük, hogy ugrásszerűen **megnövelték a légkör oxigén tartalmát**.

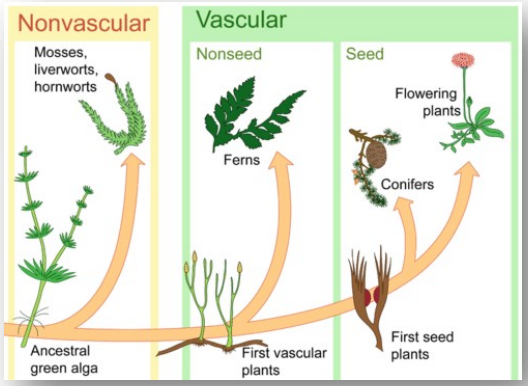
A következő nagy evolúciós ugrás a **virág és a mag megjelenése** volt, aminek köszönhetően a **megtermékenyítéshez már nem volt szükség vízre**. A földtörténet során **elsőként megjelenő virágos, magvas növények a nyitvatermők** voltak, melyek kb. **250 millió évvel ezelőtt** alakultak ki ősi harasztokból.

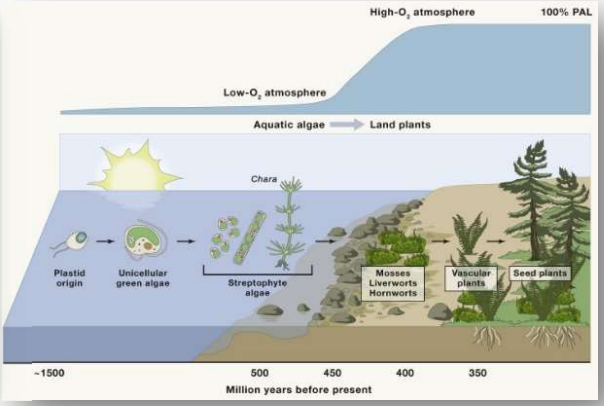
Mivel a szaporodásuk függetlenné vált a víztől, továbbá **viaszos leveleik** miatt kiválóan szabályozták vízháztartásukat, így a növények közül **elsőként hódították meg a szárazföldeket**. Mivel jól bírták a vízhiányt, a földtörténeti középkor meleg, száraz klímája kedvezett elterjedésüknek.

A ma élő legfejlettebb növények a **zárvatermők**, **ősi nyitvatermőkből jöttek létre**. Első képviselőik a **kréta** korban jelentek meg, kb. **120 millió éve**. A törzs a nevét a **zárt termőről** kapta.



A zárvatermőknél megjelenő evolúciós újítások: virágtakarólevelek, termő, zárt magház, termés, szállítócsövek, gyökérszőrök.

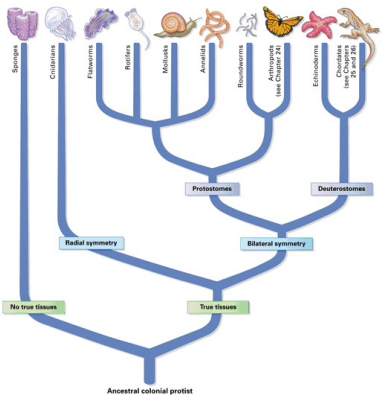




Az állatok evolúciójának fontosabb állomásai

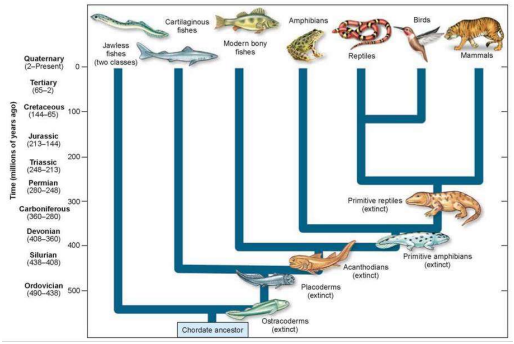
A legelső többsejtű állatok a **szivacsok** voltak, melyek azonban nem érték el a szövetes szerveződési szintet, **álszövetesek** maradtak. Első képviselőik kb. **550-580 millió éve jelentek meg**. A szivacsok **nem fejlődtek tovább**, így a fejlettebb állatok evolúciójában nem játszottak szerepet, kialakulásuk **zsákutcának** tekinthető.

A **legelső szövetes állatok** a sugaras szimmetriájú **csalánozók** voltak.



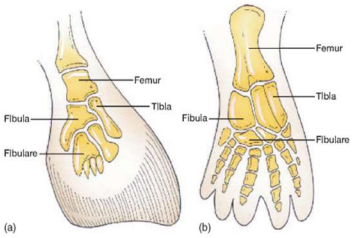
Ősi **bordásmedúzákból** jöttek létre azok az ősi **férgek**, ahol **megjelentek a testtájak** (hasi-, ill. hátioldal, a feji és a farki vég), továbbá **kialakult a kétoldali szimmetria** (bal, ill. a jobb oldal). Ezeknél az **ősi férgeknél az állatok törzsfejlődése két nagy ágra vált szét**, megindult az **ősszájú állatok** – férgek, ízeltlábúak, puhatestűek - és az **újszájú állatok** – tüskésbőrűek, gerinchúrosok, gerincesek - evolúciója.

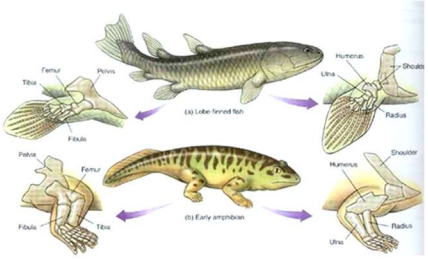
Az első szárazföldi növények – mohák, harasztok – kb. 400 millió évvel ezelőtti megjelenése lehetővé tette az állatok térhódítását a szárazföldeken. Legelsőként az **ízeltlábúak** képviselői – ezerlábúak, pókszabásúak ősei – hagyták el ebben az időszakban a tengereket.



A legegyszerűbb, **állkapocs nélküli,** halszerű **gerincesek** mintegy **500 millió** éve alakultak ki. A legprimitívebb **állkapcsos gerincesek kb. 420 millió éve jelentek meg.** A legősibb csoportjukat a későbbiekben teljesen kihalt **páncélos őshalak** alkották, melyeknek kezdetleges formáikból indulhatott ki az egyik ágon a porcos vázú – ráják, cápák -, a másik ágon a csontos vázú halak fejlődése.

A **szárazföldi négylábú gerincesek** törzsfejlődése az **ősi bojtosúszójú halak** ágától vált le, kb. **350 millió** évvel ezelőtt. A kövületek alapján az ősi bojtosúszójúak páros úszóinak belső, csontos felépítése megegyezik a magasabb rendű gerincesek végtagvázának alapszabásával, ezért a halaktól a kétéltűekhez vezető átmeneti formának tartják őket. **Páros úszóik** a szárazföldi **ötujjú végtagtípus előfutárai**, mert minden irányban **izmokkal mozgatható**, **belső csontos vázzal** rendelkeztek.





Video

https://drive.google.com/file/d/0B15KJwYa2uMFak5IS1pqWWk1MzQ/view?usp=sharing

https://drive.google.com/file/d/0B15KJwYa2uMFMHB5NEpsLVlfTVE/view?usp=sharing

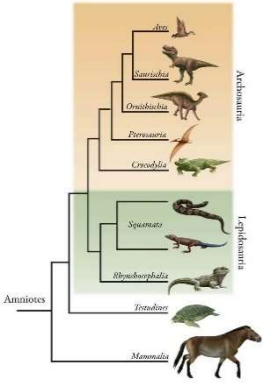
https://drive.google.com/file/d/0B15KJwYa2uMFRXZySGVwUEFRYjQ/view?usp=sharing

Az **első szárazföldi gerincesek kétéltűek** voltak. A **szárazföldi életmódra való áttérés** szükségessé tette:

- a szárazföldön való mozgáshoz az **ötujjú végtagtípus** kialakulását,
- a kiszáradás ellen a **bőr hámrétegének elszarusodását**,
- a légköri levegőből a gázcsere lebonyolítását végző **tüdő** kialakulását.

A kétéltűek a két világ – víz és szárazföld - határán élnek, idejük legnagyobb részét a szárazföldön töltik, ugyanakkor **testfelépítésük és főleg szaporodásuk miatt életük vízhez, nedvességhez kötött.**

Mintegy 320 millió évvel ezelőtt ősi kétéltűekből kialakultak az első **magzatburkos gerincesek,** a **hüllők**. A **hüllőkön kívül** a **madarak** és az **emlősök** tartoznak még ebbe a rendszertani csoportba. A **magzatburkok az embrió védelmét és táplálását biztosító képződmények**, **megvédik a fejlődő embriót a kiszáradástól** és így **lehetővé teszik a szaporodás, egyedfejlődés víztől történő elszakadását**.



A három csoport közös sajátsága a **szárazföldi életmódhoz való tökéletes alkalmazkodás**, az elsődleges vízi életmódtól való teljes elszakadás, amely egyrészt

- a **kültakaró hámrétegének erőteljes elszarusodásának** (amely gátolja a kiszáradást),
- másrészt a **szaporodás víztől függetlenné válásának** köszönhető (**magzatburkok, belső megtermékenyítés**).

A **hüllők** virágkorukat kb. 200 millió évvel ezelőtt a **jura** időszakban élték, az egész Földet meghódították a szárazföldektől a vizeken át a levegőig. **Legsikeresebb csoportjuk** a **dinoszauruszok** voltak, amelyek kb. 65 millió évvel ezelőtt a kréta időszakban máig vitatott körülmények között – legvalószínűbb elképzelés szerint egy meteorit Földdel való ütközése miatti klímaváltozás következtében – kipusztultak.

https://drive.google.com/file/d/0B15KJwYa2uMFOC14X2pSZS1RMFU/view?usp=sharing

A **tollas dinoszauruszokból alakult ki a legkorábbi ismert madár**, a **jura**kori (150 millió éve), galamb nagyságú **Archaeopteryx**. **Testfelépítése átmenetet mutat a mai madarak és az egykori hüllők között**, mindkét csoportra jellemző sajátságokat mutat (egyesek szerint a madarak a hüllők egyik csoportja, másképp, a túlélő dínók egy csoportja).

A madarak testfelépítése jól tükrözi a repülő életmódhoz való alkalmazkodást:

- mellső végtagjaik **szárnyakká** módosultak,
- **csontjaik üregesek**, **légzsákokat** tartalmaznak, könnyűek,
- testüket **tolltakaró** borítja,
- az állatvilág **legfejlettebb tüdejével** rendelkeznek,
- **nagy**, **négyüregű szívük**, **szeparált két vérkörük** van, ezért **testhőmérsékletük** viszonylag **magas** és **állandó.**

Ezenkívül jellemzően **fejlett az ivadékgondozásuk.**

Az állatvilág legfejlettebb képviselői az **emlősök**, melyek ősei ősi **emlősszerű hüllők** voltak. Az **emlősszerű hüllők** (pl. a Dimetrodon) kialakulása mintegy **300 millió évvel ezelőtt, a karbonkor végén** vette kezdetét.

A **legelső ismert emlősök** mintegy **200 millió évvel ezelőtt** jelentek meg, többségük **apró termetű**, valószínűleg **éjjel aktív, ragadozó** (rovarevő) életmódot folytató, rágcsálószerű állat lehetett.

Bár földrajzi elterjedésük széles volt, csak kevés életteret töltöttek be, hiszen ebben az időszakban a hüllők számítottak az uralkodó életformának. A tömeges fajpusztulás, az ún. kréta esemény következtében a korai emlősök életlehetőségei számottevően növekedtek, mivel számos olyan élettér, amelyet korábban hüllők töltöttek be, megüresedett.

A fentiek következtében a kréta kor végétől az emlősök szinte az összes életteret és kontinenst meghódították. Az **eltérő környezethez való alkalmazkodás következtében óriási változatosságra** tettek szert (adaptív radiáció, divergencia).

Az emlősök legfontosabb megkülönböztető jellegzetességei:

- Testüket **szőr** borítja.
- Kültakarójuk számos **bőrmirigyet** tartalmaz (**verejtékmirigy, faggyúmirigy, tejmirigy**).
- Vérkeringésüket **két vérkörbe** kapcsolt **négyüregű szív,** valamint a fánk alakú, **mag nélküli vörösvértestek** jellemzik.
- **Testhőmérsékletük** szűk határok között **állandó** (kivétel: téli álmot alvók esetében).
- **Elevenszülők, anyatejjel táplálják az utódaikat, fejlett az ivadékgondozásuk.**

Kihalási események (kiegészítő olvasmány)

Az élővilág törzsfejlődése során többször következett be kisebb-nagyobb ún. **kihalási esemény**. Az utóbbi 550 millió évben legalább öt nagy kihallási hullám söpört végig az élővilágon. Ilyen volt pl.:

- a 360 millió évvel ezelőtti késő devonkori kihalási esemény, amely a fajok mintegy 70%-ával végzett.
- 251 millió éve, a "Nagy Kihalás" következményeként a perm és a triász időszakok határán a tengeri fajok 96%-a és a szárazföldi fajok mintegy 70%-a tűnt el. Az esemény fontos evolúciós következményekkel járt: a szárazföldön elvezetett a dinoszauruszok uralmához.
- 65 millió ével ezelőtt következett be a legismertebb, ún. kréta-tercier kihalási hullám, amely végzett a dinoszauruszokkal. A kihalási esemény a fajok mintegy felével végzett. Ennek a kihalási hullámnak óriási jelentősége volt, hiszen megnyitotta az utat az emlősök térhódítása előtt a szárazföldeken.