

A prokarióták szétterjedése és az eukarióta sejt megjelenése.

# Terminológia

- **Biológia** (bios-élet, logos-tanulmányozása) az élőlényekkel foglalkozó tudomány.
- Első élőlények – **Prokarióták** (baktériumok, kékmoszatok)
- Sejtjeikben nincs körülhatárolt sejtmag (görög: pro-előtt, karion-mag)
- **Eukarióták** – (görög: eu-valódi, karion-mag) sejtjeikben már körülhatárolt, valódi sejtmag van

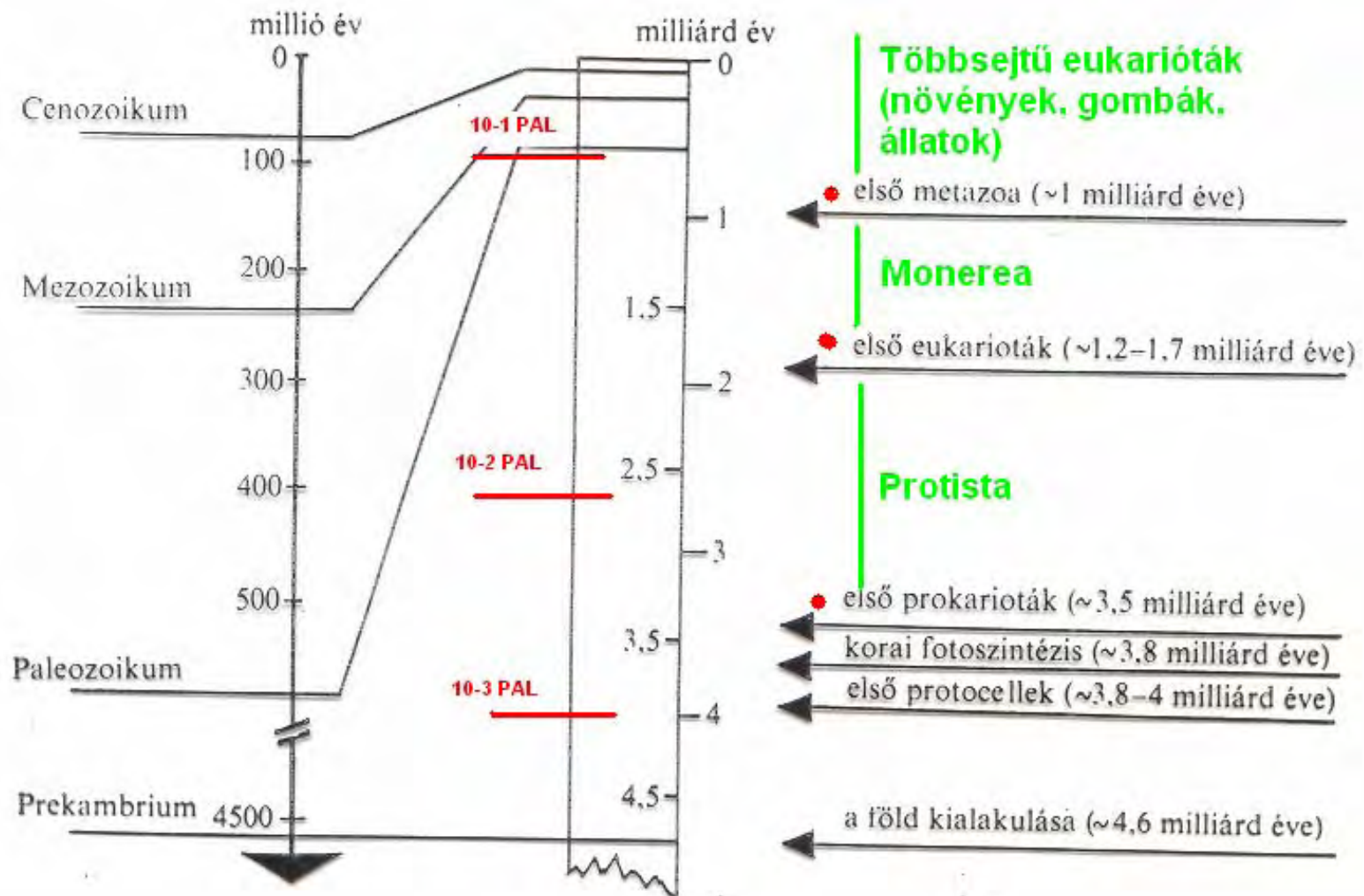
- Az autotróf protocell vonalon az ősprokarióták két ágon fejlődtek tovább. Létrejöttek a heterotróf és az autotróf prokarióták.
- Az első prokarióták **3,5** milliárd évvel ezelőtt jelentek meg, az első eukarióták pedig **1,2-1,7** milliárd évvel
- A két esemény közötti **2-2,5** milliárd év alatt meghódították a föld valamennyi élőhelyét.

# Autotrófia

**Az anyagcseréhez nincs szükség szerves anyagokra:**



# Az élet megjelenésének eseményei a földtörténeti skálán - vázlat



- A kimerülő forrásokkal párhuzamosan szerezték meg a szén C és a nitrogén megkötésének képességét és áttértek az anaerobról az aerob anyagcserére.
- Az aerob anyagcsereutak energiahasznosítása hatékonyabb (pl. az aerob légzés hússzor több energiát szolgáltat, mint az erjedés)

# Anyagcsere

- A három legfontosabb tápanyagféleség: szénhidrátok, zsírok, fehérjék.
- A **szénhidrátok** és **zsírok** lebontása során széndioxid és víz keletkezése közben energia keletkezik (a széndioxidot kilélegezzük, a vizet pedig szervezetünkben felhasználjuk).
- A sejtek számára a hasznosítható energiát az **ATP** termelése jelenti.

# Anaerob anyagcsere

- A glükóz lebontásának van egy olyan szakasza (a **glikolízis**), amely nem igényel oxigént, és akkor is működik, amikor a sejtek oxigénhiányos környezetbe kerülnek. Ilyenkor a lebontás csak piroszőlőssavig történik, amelyből tejsav keletkezik, és eközben 1 molekula glükózból 2 molekula ATP keletkezik.
- Ez egy ősi útvonal, minden sejt képes rá, az olyan sejtek, amelyekben nincs mitokondrium - mint például a vörösvértestek -, kizárólag így jutnak a glükózból energiához.



# Aerob anyagcsere

- Oxigén jelenlétében a glükózból piroszőlősav, majd a mitokondriumokban acetyl-CoA képződik, ami a citrát-körben és a terminális oxidáció folyamataiban oxidálódik, összeségében 36 ATP molekulát képezve glükózonként. Ez a glükóz-oxidáció energiamérlege aerob körülmények között, a mitokondriumokat tartalmazó sejtekben.

# Az ózonpajzs szerepéről

- Az oxigén ( $O_2$ ) ultraibolya sugárzás (UV) hatására ózonná alakul, az ózonban viszont elnyelődik az UV sugárzás, így károsító hatása alól fokozatosan kikerültek a mélyebb, majd a sekélyebb vizek és később a szárazföldek is.
- Az ózonpajzs fejlődése kiterjesztette a bioszféra határait. A prokarióta szervezetek így a sekélyebb vizeket és a szárazföldeket is birtokukba vehették. Az anaerób élőhelyek és szervezetek azonban nem tűntek el.

# Légköri változások

- A Föld történetében rendkívül fontos és a Naprendszerünkben egyedülálló volt az a folyamat, hogy a redukáló őslégkör oxidáló jellegűvé alakult át.
- A mai 21 térfogat %-nyi oxigénszint (jelölése az angol elnevezés rövidítése alapján: PAL = Present Atmospheric Level) két lépcsőben keletkezett.
- A szabad oxigén megjelenése az őslégkörben az ósóceánból elpárolgó vízmolekulák intenzív ultraibolya (UV) sugárzás hatására történő disszociációjával kezdődött
- $UV \rightarrow H_2O \rightarrow H_2 + „O”$

# Légköri változások

- A vízből felszabadult atomos (nascens) oxigén nagyobb hányada azonnal oxigén-molekulává egyesült. Egy része pedig szintén UV sugarak hatására ózonná alakult át:
- $UV \rightarrow O_2 \rightarrow 2 \text{ „O”}$
- $O_2 + \text{„O”} \rightarrow O_3$
- A hidrogén - mivel igen könnyű gáz - a Föld légteréből a kozmikus térbe illant. Az oxigén viszont a szilárd kéreg közelében maradt.

# Légköri változások

- A növekvő szabad oxigén-ózon mennyiség egyre nagyobb mértékben leárnyékolta a felszínt, az UV-sugarak egyre kisebb mértékben érintkeztek a vízmolekulákkal, így egy bizonyos vastagságú ózon-oxigén rétegnél (a mai oxigénszint ezredrészénél = Urey-szint =  $10^{-3}$  PAL) a fotodisszociáció megállt.
- A légkör oxigénben való dúsulásának ez a fizikai-kémiai útja minden vizes bolygón le-játszódik.
- A földi légkör oxigénszintjének további emelkedése, az élővilág fotoszintetikus tevékenységének eredménye.

# Légköri változások

- A fotoszintézis melléktermékeként jelentős mennyiségű oxigén keletkezett. Mintegy 2,7 milliárd évvel ezelőtt elérté a mai légkör  $O_2$ -szintjének századrészét. A légkör így már **oxidáló jellegű** lett s lehetővé tette, hogy a lebontó anyagcserében számos élőlény áttérjen az erjedésről a sokkal gazdaságosabb légzésre (e folyamatot kísérletileg Pasteur igazolta, ezért a  $10^{-2}$  PAL oxigénszintet Pasteur-szintnek nevezik).

# Légköri változások

- A légzésre való áttéréssel az élőlények tömege ugrásszerűen megváltozott, s rövid időn belül kitöltötték az ósóceán minden részét.
- Ekkor tehát a bioszféra még csupán a hidroszférával volt egyenlő. Mivel a légzéshez az élőlények nagy mennyiségű oxigént használtak a fotoszintézis termékéből; a légkör  $O_2$ -dúsulása lelassult.

# Légköri változások

- Több mint két milliárd évre volt szükség ahhoz, hogy a légköri oxigén-szint elérje a  $10^{-1}$  PAL-t, azaz olyan vastag ózonpajzs alakuljon ki, amely már a szárazföldi életet is képes megóvni a halálos sugárzástól. Az ekkor már több mint 10 km magasságban elhelyezkedő ózonréteg védelmében, mintegy **600 millió** évvel ezelőtt az élet kilépett a tengerből és benyomult a másik két földi szervetlen szférába, a litoszférába és az atmoszférába.
- Közben a légkör széndioxidtartalma csökkent. A szén mind nagyobb része a földkéreg szerves üledékeiben és a karbonátos kőzetekben raktározódott el.



- **Mind az aerob mind az anaerob vonalon léteznek heterotróf és autotróf szervezetek.** Pl. a zöld baktériumok és a bíbor kénbaktériumok anaerób szervezetek, de fotoszintézisük útja eltér a kékalgákétól és a magasabb rendű növényekétől.
- A nem kén bíborbaktériumok anaeróbok és fotoszintézisre is képesek. Ha kevés a fény és az  $O_2$ , akkor áttérnek a heterotróf aerób életmódra.

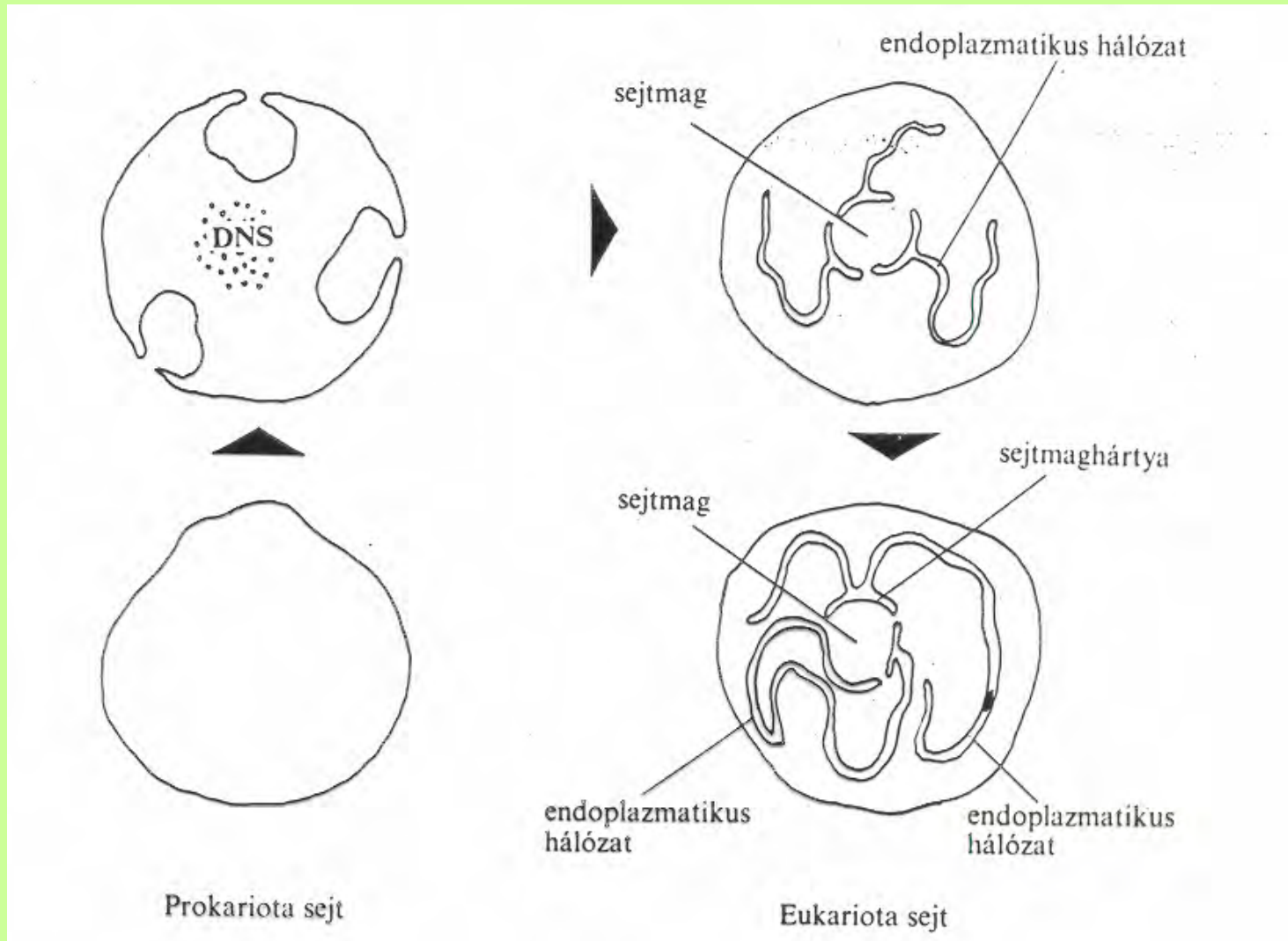
# Az eukarióta sejt megjelenése

- A különböző prokarióta szervezetek sajátosságait egyesíti.
- Az eukarióta sejt 1,5 milliárd év alatt az egyszerű amöboid sejtípustól eljutott a mai legbonyolultabb szerveződésű és működésű biológiai struktúrákig, köszönve az új típusú sejt tulajdonságainak.

# Az eukarióta sejt újdonságai

- **Sejtmaghártya** – a sejtosztódást lebonyolító apparátus az eddigieknél sokkal gyorsabb genetikai kombinálódáshoz és az adaptív jellegű tulajdonságok elterjedéséhez vezetett.
- **Ostor** – a könnyebb helyváltoztatást segítette és fokozta az alkalmazkodóképességet a közvetlen környezethez.
- Organellumok: **Mitokondrium** – a sejtet képessé tette az aerob légzésre – a hatékonyabb energiahasznosítás az oxigéndús környezet meghódítását segítette.
- **Kloroplasztisz** – a szűkös szervesanyag forrásoktól függetlenítette a sejtet, mert a fotoszintézis útján szerves anyaggal látja el.
- Tehát az organellumok szükséges feltételei a fejlődésnek.

# A sejtmag és az endoplazmatikus hálózat kialakulása



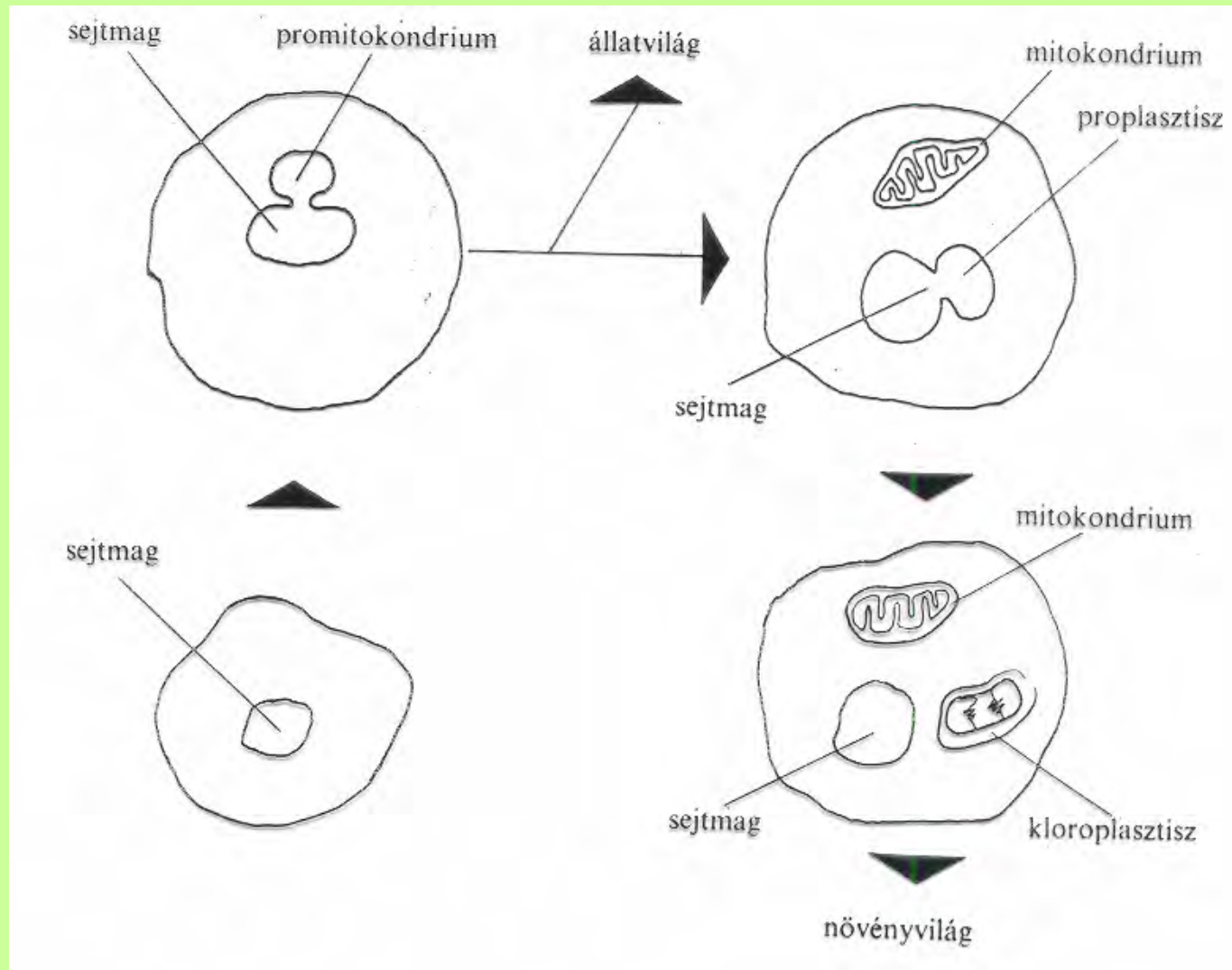
# Az eukarióta sejt organellumainak kialakulása

- Autogén vagy endogén elmélet
- Szimbionta elmélet
- Hibrid elmélkedések

# Autogén vagy endogén elmélet

- Az organellumok a sejtmaghártyáról lefüződő vezikulumokból alakultak ki.
- Lefűződés közben magukkal viszik a rájuk tapadt DNS darabokat.
- A membránrészlet organellumokká, a bezáródó DNS-organelláris DNS-é alakul.

# Autogén vagy endogén elmélet



# Szimbionta elmélet

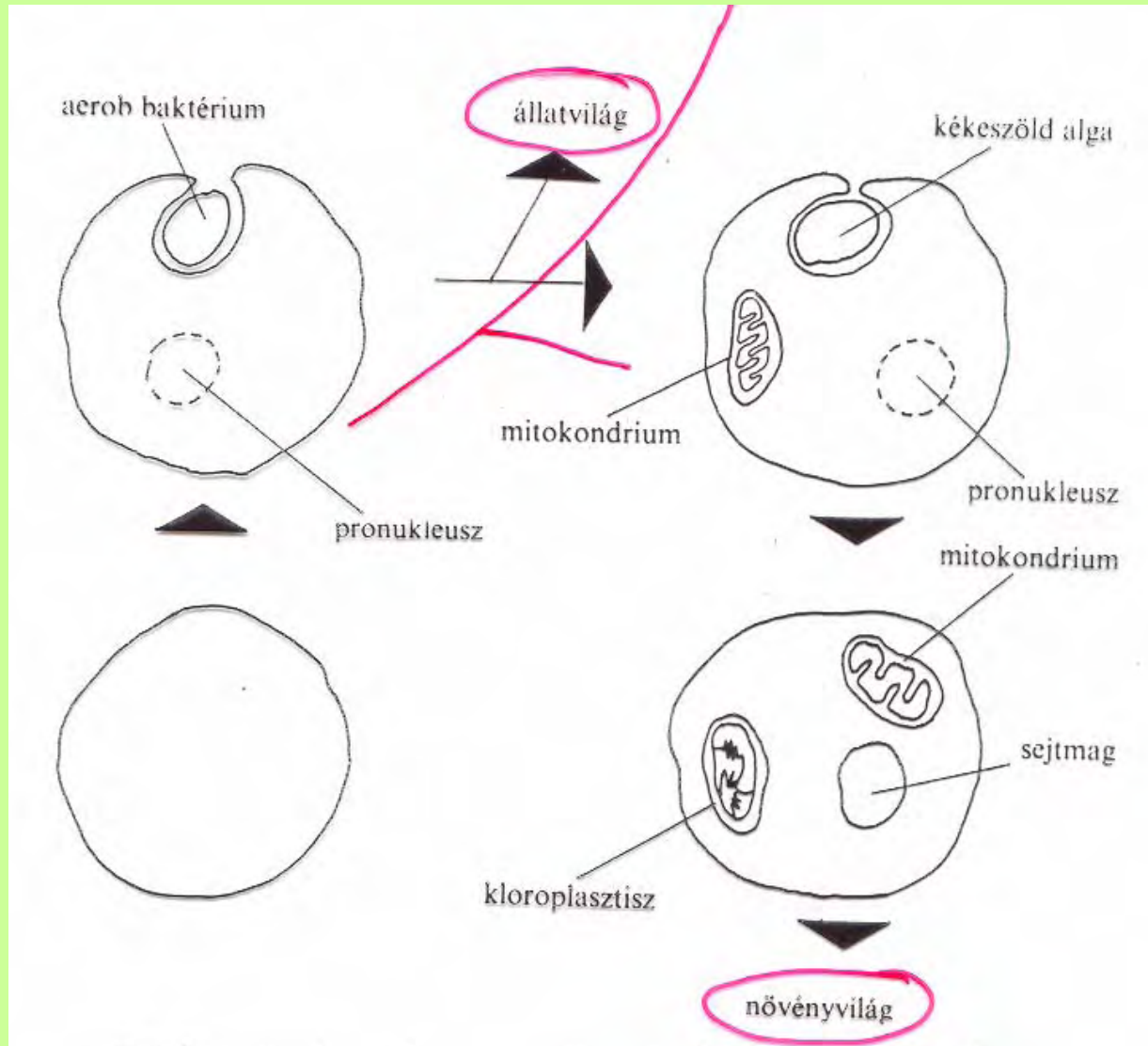
- A kloroplasztiszra és a mitokondriumra nagyfokú önállóság, ún. szemiautonómia jellemző.
- Szembetűnő a sejtmagtól független genetikai rendszer és fehérjeszintetizáló apparátus – prokarióta jellegű.



# Szimbionta elmélet

- A prokarióták evolúciója során számos sejttípus differenciálódott:
  1. amöboid, fagocitózissal táplálkozó anaeróbok
  2. gyors mozgású prokarióták (mint a spirohéták)
  3. aerób légzésre képes prokarióták (mint a bacillusok)
  4. oxigéntermelő, fotoszintetizáló prokarióták (mint a kékalgák)

# Szimbionta elmélet



# Szimbionta elmélet

- Az amöboid prokarióták táplálkozás céljából a környezetből különböző sejteket vettek fel.
- Szimbiózisból származó előnyök kiszélesíthették a gazdaszervezet életterét.

## Az eukarióta és prokarióta sejt jellemzői

Tulajdonság	Prokariótáknál	Eukariótáknál
Sejtmagmembrán	nincs	van
Mitotikus orsó	nincs	van (nincs) <sup>1</sup>
Meiózis	nincs	van (nincs) <sup>2</sup>
Kromoszómaszám	egy	2 vagy több
Hisztón és savas jellegű fehérje — DNS kapcsolat	nincs	van (nincs) <sup>3</sup>
DNS szerveződése	cirkuláris	lineáris
Replikáció	folyamatos	szakaszos
Mitokondrium	nincs	van (nincs) <sup>4</sup>
Kloroplasztisz	nincs	van (nincs) <sup>5</sup>
Sejtmembránba épült metabolikus enzimek	van	nincs
Ostor, csilló 9 + 2-es filament szerkezettel	nincs	van vagy nincs
Endoplazmás hálózat	nincs	van
Vakuólumok a citoplazmában	nincs	van vagy nincs
Golgi-apparátus	nincs	van
Fagocitózis	nincs	van vagy nincs
Citoplazma-riboszómák mérete	70 S	80 S
Organelláris riboszómák mérete	—	70 S

<sup>1</sup> Az úgynevezett mezokariótáknál még nem alakult ki mitotikus orsó, ilyen például némely *Dinoflagellata*.

<sup>2</sup> A többsejtű szervezetek vegetatív testi sejtjei általában nem képesek meiózusra, a spóraanya-sejt, a gametocita kivételével, mely redukciós osztódással hozza létre a spórákat.

<sup>3</sup> Egyes *Euglenophyta* fajokban hisztón — DNS kapcsolat nem alakul ki, kromoszómájuk hisztónmentes.

<sup>4</sup> Az anaerob amőboid szervezetek sejtseiben nem található a citoplazmában mitokondrium.

<sup>5</sup> A heterotróf életmódot folytató eukarióták sejtjeiben nincsenek kloroplasztiszok, ilyenek például az állati szervezetek és a gombák.

# Az eukarióta sejt magja

- Az eukarióta sejtek magja a prokariótákhoz képest több nagyságrenddel hosszabb DNS láncokat tartalmaz.
- Az ember egy testi sejtjében pl. 2000 -szer több DNS van, mint egy átlagos baktériumban.
- Ha a DNS-t mint folytonos cérnát kihúznánk egy baktériumból, kb. másfél mm hosszú szálat kapnánk, szemben az emberi sejtből kihúzható 2 méteres "cérnával".

# Az eukarióta sejt magja

- Egy ilyen hosszúságú molekula lánc meghatározott szakaszait fölismerni, működését szabályozni, másolni, a sejt osztódásakor kétfelé osztani nem lenne képes a sejt, ha a sejtmag kicsi terében a lánc strukturálatlanul, "összegubancolódva" helyezkedne el.
- Az interfázisban lévő eukarióta sejt örökítő anyagának strukturális felépítése (kromatin) fénymikroszkóppal nem látható.
- A DNS molekula kisebb szakaszai ún. hisztonfehérjék köré csavarodnak fel, és ezeket, mint gyöngyöket a láncban, fel nem csavarodott szakaszok választják el.

# A kromoszómákról

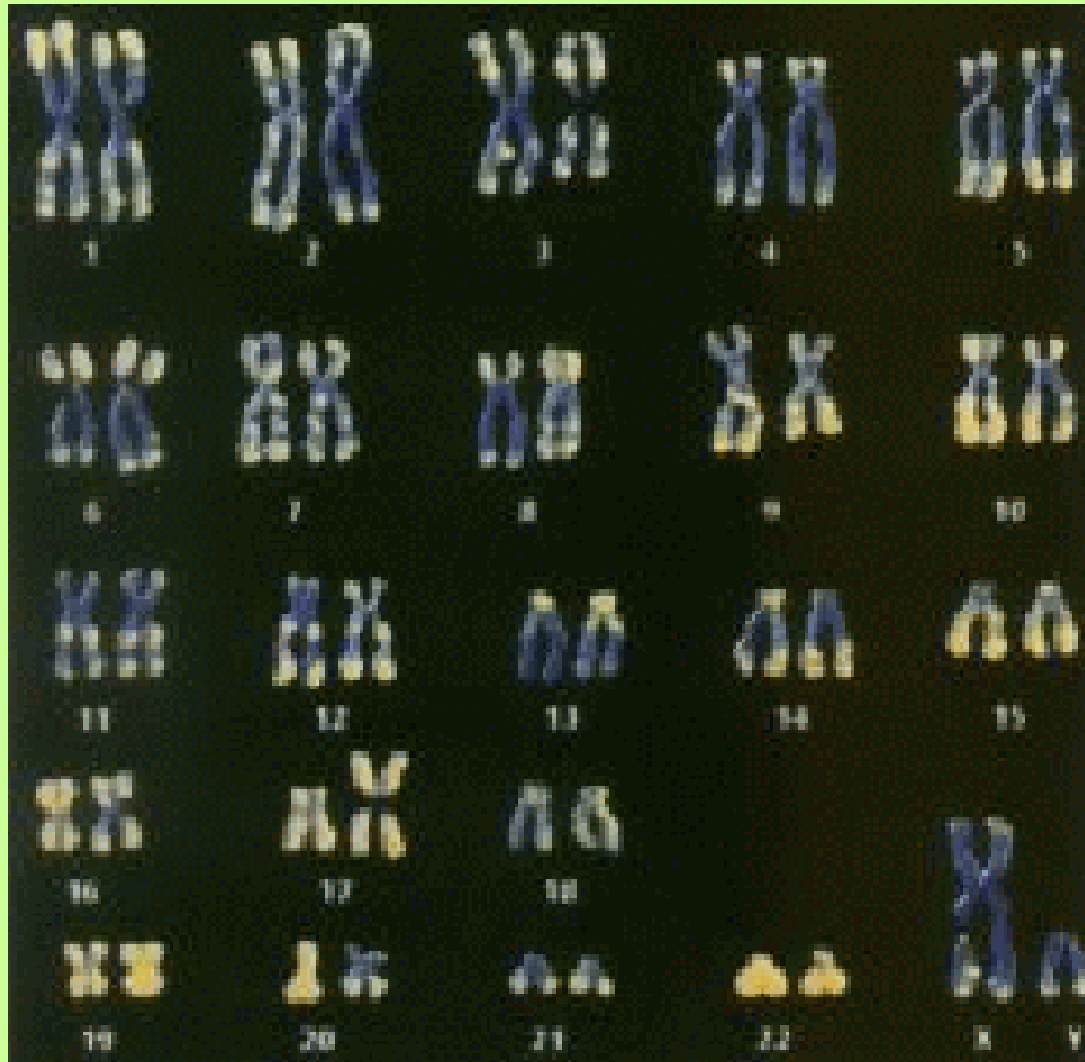
- Sejtosztódás előtt a DNS megkettőződik és a hozzá kapcsolódó fehérjékkel együtt további szabályozott felcsavarodással kondenzálódik.
- Így jönnek létre a fénymikroszkóppal is látható pálcika alakú **kromoszómák**, amelyek az örökítő anyagot két példányban, két **kromatidában** tartalmazzák.
- A kromatidákat a **centromeron** kapcsolja össze.

# A kromoszómákról

- A kromoszómák legegyszerűbben a centromeron elhelyezkedése alapján azonosíthatóak: a **metacentrikus** kromoszómán a centromeron nagyjából a kromoszóma közepén, az **akrocentrikus** kromoszómán az egyik véghez közelebb, a **telocentrikus** kromoszómán közvetlenül a végen helyezkedik el.



# Humán kariogram



# A kromoszómákról

- A kromoszómák mérete és alakja fajon belül állandó és a fajra jellemző.
- A kromoszómák festéssel tehetők láthatóvá, egyes szakaszai erősen festődnek (**heterokromatin**), más részei kevés festéket vesznek fel (**eukromatin**).
- Újabb festési technikák alkalmazása kimutatta, hogy az eukromatin régió maga is heterogén és számos nagyobb, különféleképpen festődő csíkokba osztható. A csíkok bizonyos bázisok túlsúlyát jelzik a szekvenciában.

# A kromoszómákról

- A kromoszómák száma fajra jellemző, és rendkívül nagy változatosságot mutat: a *Parascaris* féreg egyetlen kromoszómájától az ember 23 kromoszómáján keresztül az *Eupagurus hermita* rák 127 db. kromoszómájáig.
- A rokonfajok kromoszóma száma többnyire nem mutat nagy eltérést, bár ebben is vannak kivételek.

# A soksejtűek kialakulása

- Az egysejtű eukarióták megjelenése óta 600 milliót év telt el a soksejtűek kialakulásáig.
- Valószínű, hogy egymástól függetlenül, szinte azonos időben, számos csoportból alakulhattak ki a soksejtűek.
- Valószínű, hogy min. 16 soksejtű vonal létezik, amelyek a protistákból (egysejtű eukarióta) származtathatók.

# A származási vonalak az asszimiláció szerint csoportosíthatók:

- Autotróf szervezetek vonalai – belőlük fejlődtek ki a **magasabbrendű növények**
- Heterotróf szervezetek vonalai – belőlük fejlődtek ki a **gombák és a többsejtű állatok.**

# AMITÓZIS

- A sejtmegosztódás legegyszerűbb formája
- A sejtmagvacska kettéválik
- A sejtmaghártya befűződik
- A sejtmag kettéválik
- A kromoszómák nem válnak láthatóvá

- Ritkán fordul elő
- Többnyire sokmagvú sejtekből álló és osztódás közben is folyamatosan működő szövetekben.
- Pl.: csillárkamoszat több cm-es tengelysejtjeiben több ezer sejtmag-mindben azonos mennyiségű DNS
- Pl.: a szívizom sejtjeiben!

# Csillárkamoszat





# MITÓZIS

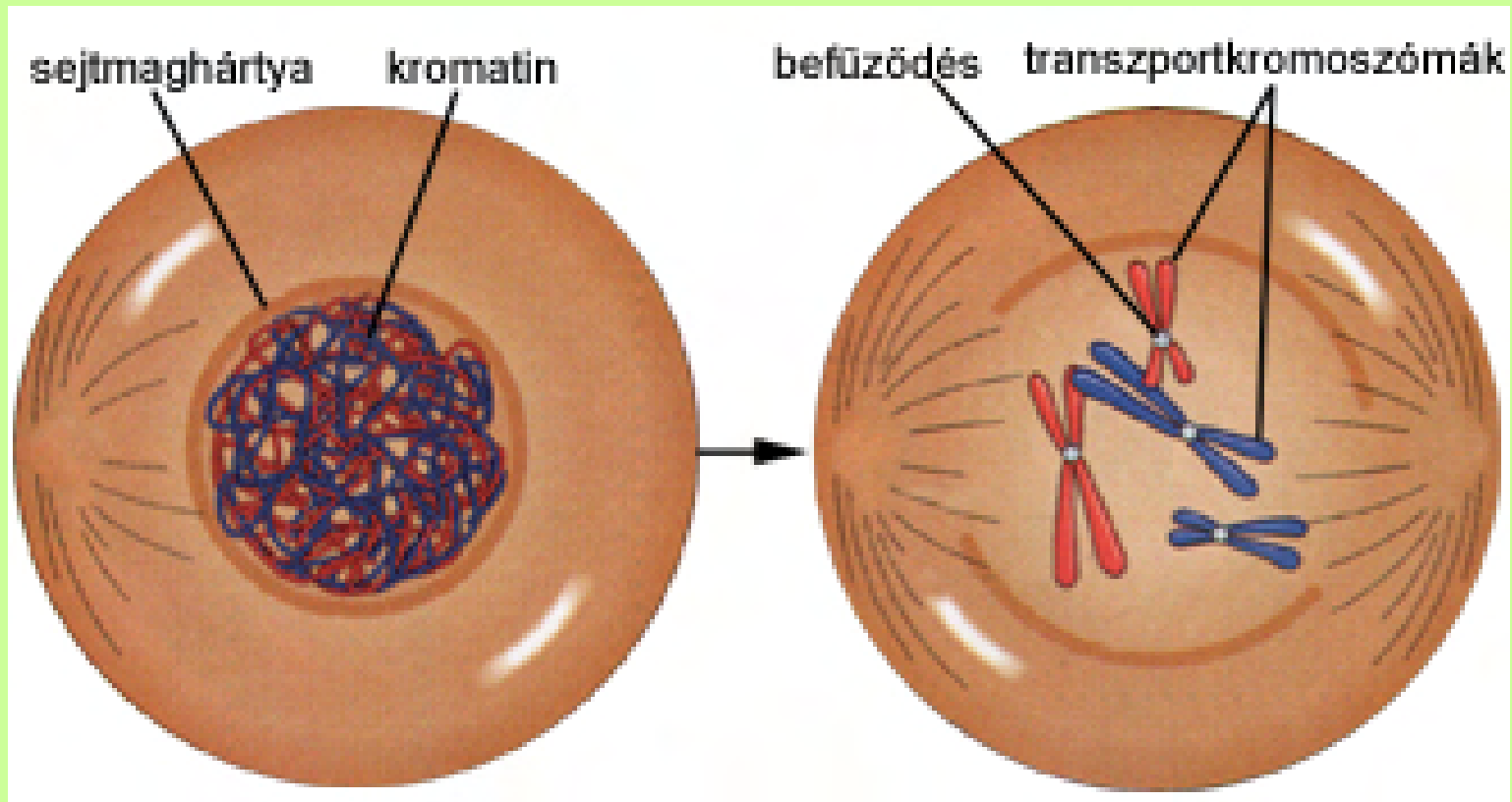
A mitózis **számtartó osztódás**, tehát két, a kiindulási sejtével megegyező kromoszómaszámú utódsejtet eredményez.

Lényege az, hogy a sejtciklus szintézis fázisában megkettőződött DNS-tartalom egyenlően szétoszlik az utódsejtek között.

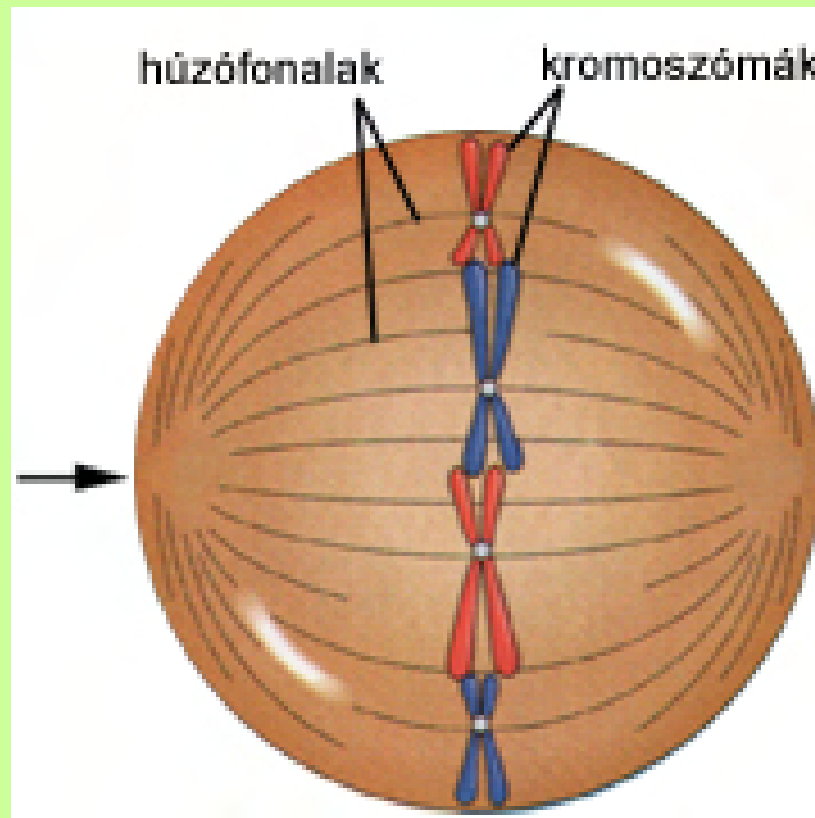
A DNS-ben rögzített genetikai információ változatlanul adódik át az utódsejtekbe.

- A sejtciklus nyugalmi szakaszában a DNS megkettőződésekor kialakul a kromoszómák 2-2 egyforma kromatidája.
- A mitózis előszakaszában (profázis) a kromatinállomány transzportkromoszómákká tömörül.

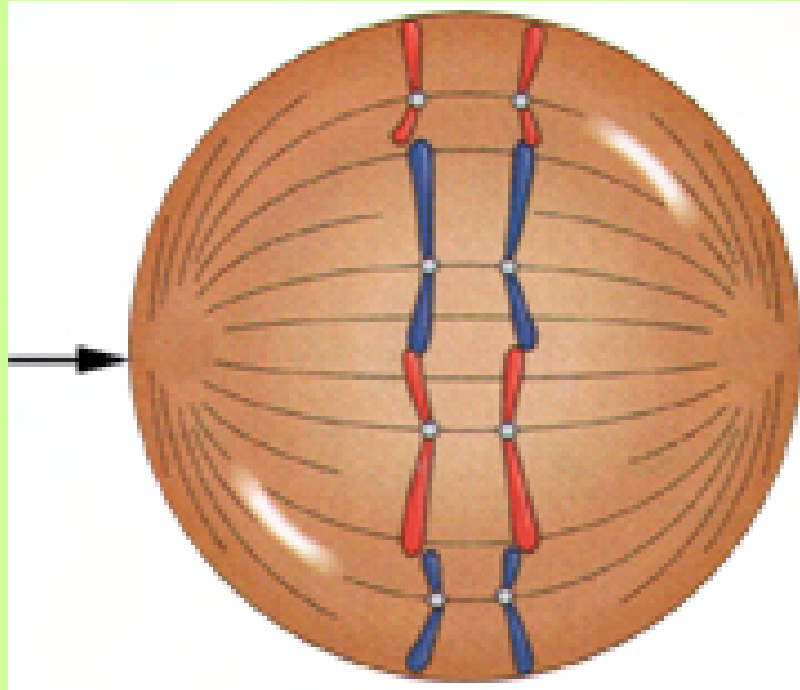
A mitózis előszakaszában (**profázis**) kialakulnak a transzportkromoszómák és lebomlik a maghártya.



A középszakaszban (**metafázis**) a kromoszómák a sejt középső síkjába rendeződnek és mindkét kromatidájukhoz egy-egy fehérjefonal, úgynevezett húzófonal kapcsolódik.

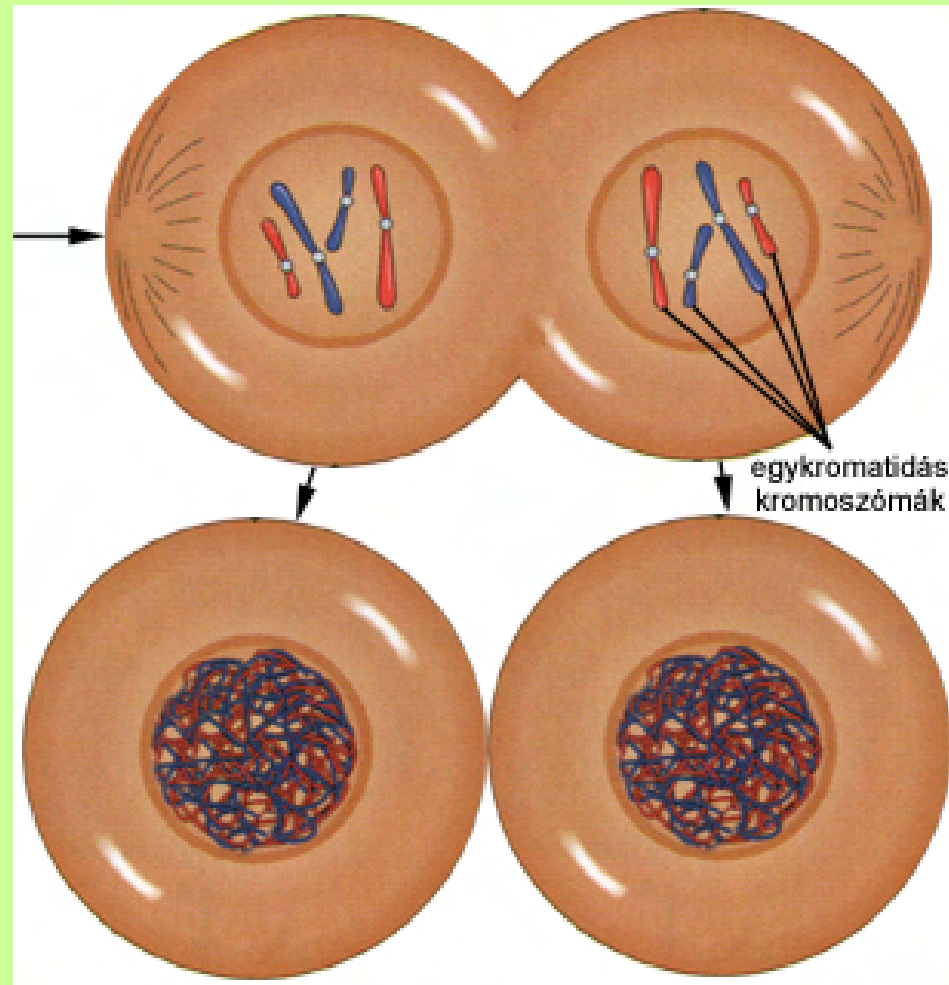


Az utószakaszban (**anafázis**) a fehérjefonalak húzó hatására a kromoszómák kromatidái elválnak egymástól és a sejt ellentétes pólusai irányába mozognak.



A két utódsejtbe így azonos genetikai információ kerül.

A végszakaszban (**telofázis**) az egykromatidássá alakult kromoszómák széttekerednek, kialakul a két sejtmaghártya, és kettéválik a citoplazma is.



- Mitózissal szaporodnak az egysejtű eukarióták.
- Ez az osztódás eredményezi a többsejtű eukarióták növekedését, és pótolja az elöregedett, elhalt sejtjeiket is.
- A mitózis gyakorisága és időtartama fajoként és sejtípusonként eltérő.

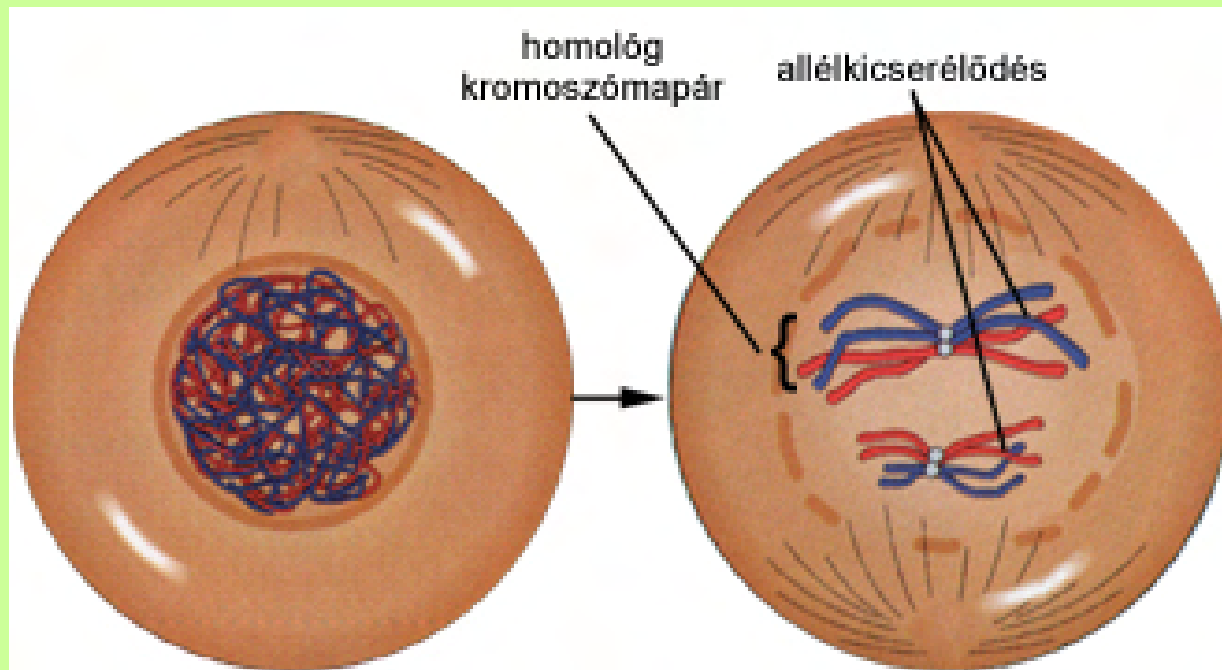
# MEIÓZIS

- A meiózis **számfelező** sejtosztódás, ami azt jelenti, hogy a kétszeres kromoszómakészletű, diploid kiindulási sejtekből egyszeres kromoszómakészletű, haploid utódsejtek keletkeznek, amelyeknek a szaporodásban van szerepük.
- A meiózis folyamata két fő osztódási szakaszból áll.



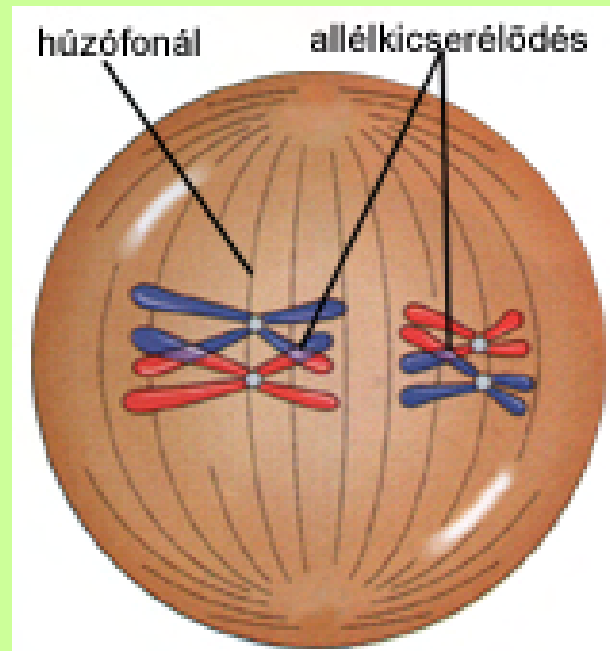
# Első főszakasz

A kromoszómák tömörödnek. A homológ kromoszómák szorosan egymás mellé simulnak, és egyes szakaszaik kicserélődnek, ez a folyamat az allélkicserélődés. Végül lebomlik a maghártya.



# Az első középszakasz

A homológ kromoszómapárok a sejt középső síkjába rendeződnek, minden kromoszómához egy-egy fehérjefonal, a húzófonal kapcsolódik.



# Az első utószakasz

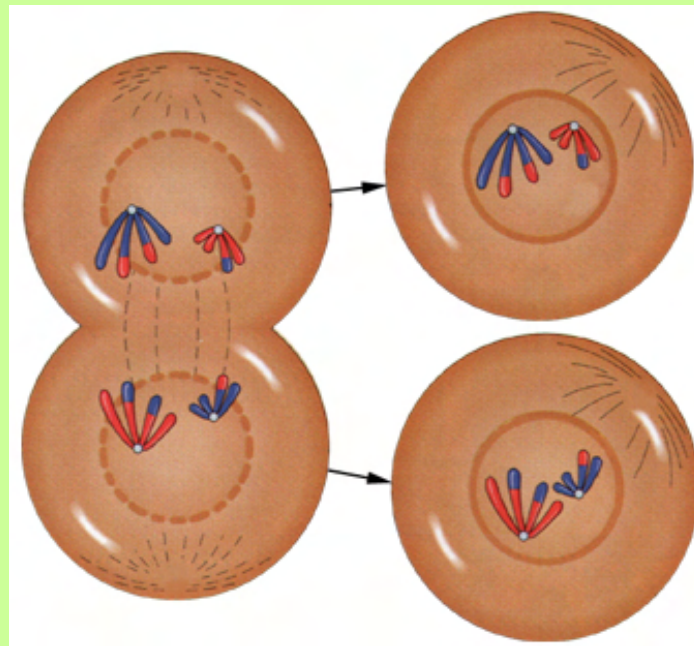
A homológ kromoszómapárok tagjai elválnak egymástól és a sejt ellentétes pólusai felé mozognak.

A kromoszómapárok tagjainak szétválása véletlenszerű, tehát esetleges, melyikük vándorol az egyik, és melyikük a másik pólusra.

# Az első végszakasz

Kialakul a két sejtmaghártya és kettéválik a citoplazma is.

Az utódsejtek haploidok, a kromoszómák kétkromatidások.

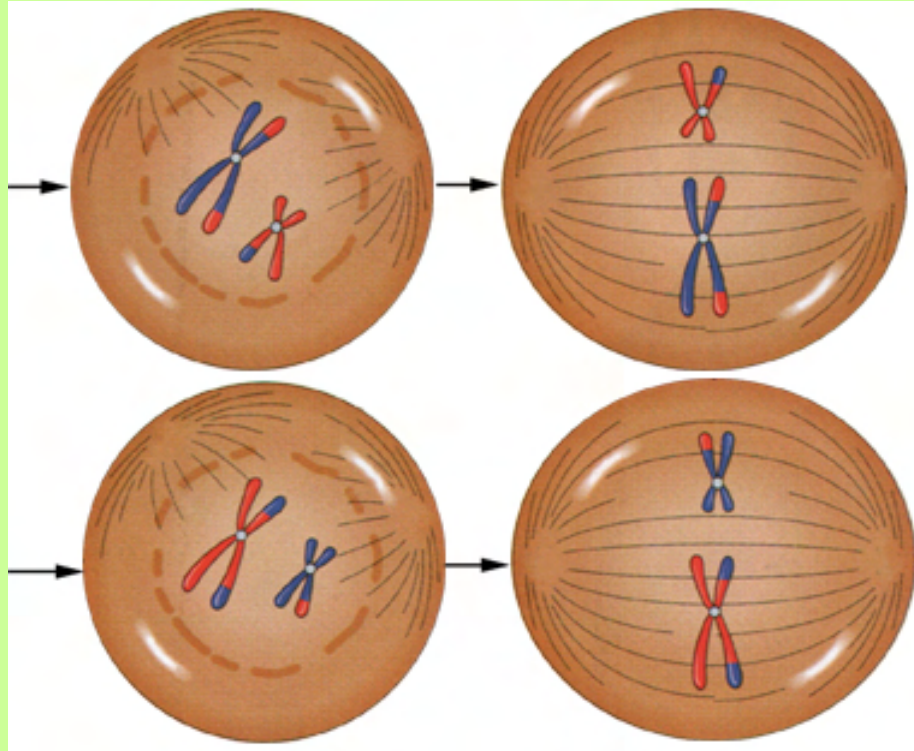


# A második főszakasz

Lényegében mitózis zajlik le az első főszakaszban képződött mindkét sejtben.

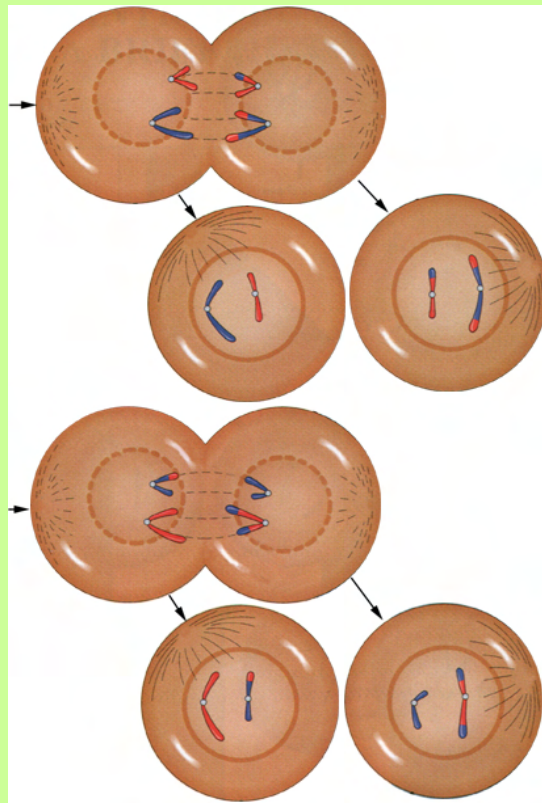
A folyamat során a kromoszómák kromatidái válnak szét.

A **második előszakaszban** ismét kialakulnak a transzportkromoszómák és lebomlik a maghártya.



A **második középszakaszban** a kromoszómák a sejt középsíkjába rendeződnek.

A **második utószakaszban** a kromoszómák kromatidái elválnak egymástól.

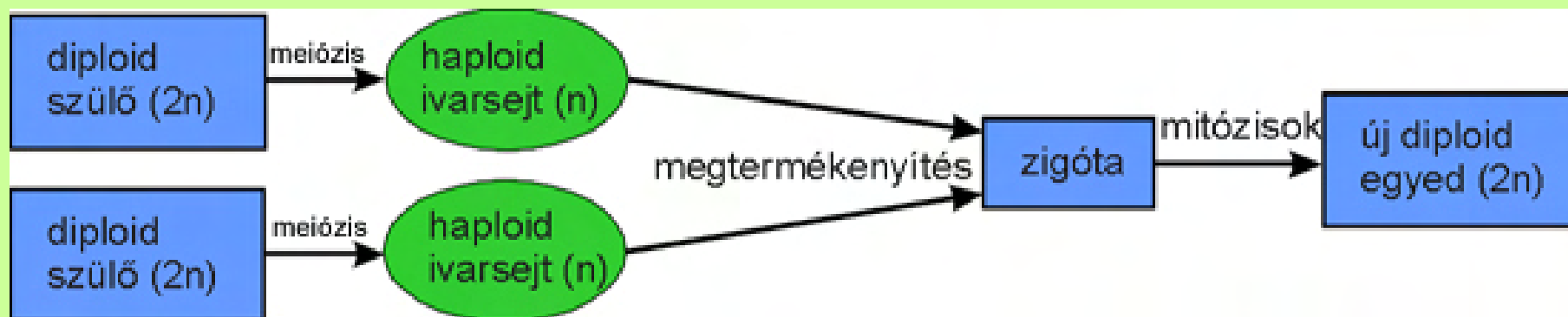


A **második végszakaszban** az egykromatidássá alakult kromoszómák széttekerednek, kialakul az utódsejtekben a sejtmaghártya, és kettévál a citoplazma.

- Az első fázis elején a homológ kromoszómák egyes kromatidái között allélcserélődés zajlik le. Az így megváltozott összetételű homológ kromoszómapárok véletlenszerűen válnak szét. A második fázisban — a mitózishoz hasonlóan — a kromoszómák kromatidái különülnek el egymástól, így végül négy haploid utódsejt alakul ki.
- A meiózissal keletkezett haploid sejtek az állatoknál ivarsejtekké alakulnak. A növények esetében meiózissal spórák képződnek, amelyekből később számtartó osztódások, mitózisok sorozatával alakulnak ki az ivarsejtek, ezek tehát szintén haploidok.
- A meiózis az **ivaros szaporodás** szempontjából alapvető jelentőségű.



# Az ivaros szaporodás



A haploid ivarsejtek az ivaros szaporodás során egyesülnek egymással, és így a megtermékenyített petesejtben, a zigótában kialakul a testi sejtekre jellemző diploid állapot.

A zigóta diploid kromoszómakészletének egyik fele a hím ivarsejtből származik, tehát apai eredetű, a másik fele pedig a petesejtből, vagyis anyai eredetű.

A zigótából mitózisos osztódások sorozatával létrejönnek a szervezetet felépítő diploid testi sejtek.

- Az ivaros szaporodással létrejött egyedek genetikai változatossága a meiózissal magyarázható:
- 1. Az apai és az anyai eredetű homológ kromoszómák közötti **allélcicserélődés** révén a képződő szaporítósejtekben az eredetitől eltérő, új allélsorozatok alakulhatnak ki.
- 2. Az második fázisban az apai és anyai eredetű homológ kromoszómapárok véletlenszerűen válnak szét egymástól, és ez — a fajra jellemző kromoszómaszámtól függően — nagyon sokféle ivarsejt kialakulását eredményezi.