

Elämä ja evoluutio

BI1 LOPS16

1. Biologia on elämän tiede

- biologia= oppi elämästä (kreik. bios, logos)

Ymmärtääkseen biologiaa, tulee tietää luonnontieteellisen tutkimuksen perusteet.

Monet mullistavat keksinnöt ovat saaneet alkunsa sattuman kautta (esim penisilliini).

Biologian rooli tieteenä on merkittävä.

Biologit työllistyvät monenlaisiin tehtäviin.

Biologian aloja

- kasvi- ja eläintiede
- lääketiede
- sienitiede
- mikro- ja molekyylibiologia
- solubiologia
- histologia
- anatomia, morfologia ja fysiologia
- ekologia
- genetiikka
- evoluutiobiologia
- etologia
- taksonomia

Biologinen tutkimus

- kohdistuu tiettyyn eliöryhmään
- tai yleisbiologiaan, geeneistä biosfääriin
- oltava toistettavissa

Biologisen tutkimuksen vaiheet

1. Tutkimuskysymys
2. Hypoteesit
3. Hypoteesien testaaminen kokein
4. Tulosten julkistaminen
5. Uusi tieto, jopa teorialat tai luonnonlait

2. Mitä elämä on?

Elämän tunnusmerkit

1. Kemiaallinen rakenne

- epäorgaaniset yhdisteet
- orgaaniset yhdisteet

2 . Solurakenne

- eliöt koostuvat yhdestä tai lukemattomista soluista
- solurakenteissa eroja ja yhtäläisyyksiä eri eliöiden välillä

3. Aineenvaihdunta

- aktiivinen aineiden otto ympäristöstä / tarpeettomat ja haitalliset poistetaan
- eliöt tarvitsevat energiaa

4. Lisääntyminen ja perinnöllisyys

- suvuton tai suvullinen lisääntyminen
- perimä koostuu DNA:sta

5. Yksilöllisyys ja elämänkaari

- yksilöt syntyvät, kasvavat, vanhenevat ja kuolevat

6. Ärtyvyys ja itsesäätelykyky

- tiedon vastaanotto ja siihen reagointi

7. Evoluutio

- evolutiivinen sopeutuminen
- sopeutuneimmat lisääntyvät eniten

- Elämää tunnetaan vain maapallolta.
- Olennaista Maan elämän kannalta:
 - sopiva lämpötila ja siksi nestemäinen vesi
 - haitalliselta säteilyltä suojaava kaasu- ja magneettikenttä
 - kiinteä kuori
 - epäorgaanisia yhdisteitä
- On mahdollista löytää johonkin muuhun kuin veden ja hiilen kemiaan perustuvia ilmiöitä.

Elämän edellytykset: lämpö, vesi, säteily, paine

Auringon säteily

- fotosynteesi perustuu valoon
- jakautuu vuodenajoittain eri tavoin eri leveyspiireillä → eliöiden sopeuduttava
- UV-, gamma- ja röntgensäteily haitallista

Paine

- ratkaisevaa paineenmuutoksen nopeus
 - vaihtelu voi aiheuttaa sukeltajantautia/ vuoristotautia

Lämpö

Vaikutus eliöihin

-eliölajien maantieteellinen levinneisyys: lajien määrä

vähenee päiväntasaajalta napoja kohti

-Suomessa syksyllä kasveilla kylmänkestävyyttä lisääviä

muutoksia:

- soluista poistuu vettä → väkevöityminen/jäätymispisteen aleneminen
- sokeripitoisuus kasvaa

-kevättalvella pakkaskuivumista

-proteiinien tehottomuutta ja tuhoutumista

+45 °C:sta →

-kasvien siemenet ja mikrobien lepoasteet kestävät
poikkeuksellista kylmyyttä/ kuumuutta

Vaihtolämpöisyys

-n. 99 % kaikista lajeista

Tasalämpöisyys

-vain linnut ja nisäkkäät

Vesi

- kemiallisissa rakenteissa ja reaktioissa
- fotosynteesin toinen raaka-aine
- aineiden kuljettaja ja liuotin
- nestejännitys tukee etenkin kasveja
- tasalämpöisillä lämmönsäätelyä vettä haihduttamalla

-elinympäristönä

1. ensimmäisillä eliöillä
2. monilla nykyisillä
3. monilla aikuisina maaelämään sopeutuneilla alkukehityksessä
4. nisäkkäiden, lintujen ja matelijoiden sikiöillä (sikiövesi)

3. Eliömaailma koostuu miljoonista lajeista

- Maapallolla elää jopa kymmeniä miljoonia eliölajeja
- Tunnettuja eläinlajeja on noin 2 miljoonaa.
- Suomessa tunnettuja lajeja on noin 43 000.

Biodiversiteetin tasot

1. Ekosysteemien monimuotoisuus

= biotooppien runsaus.

- ekosysteemien suojelulla suojellaan myös niissä eläviä lajeja

2. Lajimonimuotoisuus

- lajimäärä pinta-alayksikköä kohti
- edustajia eri eliöryhmistä
- tärkeimpinä avainlajit
- ekologista - , eettistä – ja taloudellista arvoa

3. Lajinsisäinen eli geneettinen monimuotoisuus

→ laji sopeutuu muuttuviin olosuhteisiin

- luonnonlajien muuntelua ei ole kartoitettu

- 1960-luvulta lähtien eliökunta on jaettu kuuteen kuntaan.

Kasvit

Eläimet

Sienet

Alkueliöt

Arkit

Bakteerit

- Ongelmana monimuotoinen alkueliöiden kunta.

- Jako kolmeen superkuntaan eli domeeniin:
bakteerit, arkit ja aitotumaiset
- Uusien tutkimustulosten myötä lajeja joudutaan siirtämään toisiin ryhmiin ja perustamaan uusia ryhmiä.

Esimerkki kasvilajin luokittelusta

Esimerkki kasvilajien luokittelusta

Kunta:

Kaari:

Alaluokka:

Luokka:

Lahko

Heimo:

Suku:

Laji:

Esimerkki eläinlajin luokittelusta

Kunta:

Pääjakso:

Luokka:

Lahko:

Heimo:

Suku:

Laji:

Carl von Linné

- Lajeja ei luokiteltu systemaattisesti ennen Linnéä.
- Hän loi lajeille systemaattisen luokittelun, joka on pääosiltaan edelleen käytössä.
- Jokaiselle lajille annettiin kaksiosainen nimi (suku + laji), esim. *Corvus corone*.
- Lisäksi olemassa ns. alalajeja, esim. *Corvus corone cornix*.

Virukset - eliöitä vai ei?

- ei omaa aineenvaihduntaa, ei solurakennetta
- on nukleiinihappoa

4. Solurakenne on elämän perusominaisuus

- 1600-luvulla Anton van Leeuwenhoek näki ensimmäiset mikro-organismit.
- 1660-luvulla Robert Hooke löysi korkista kammioita (cell), joita hän nimitti soluiksi.
- 1800-luvulla todettiin kaikkien eliöiden muodostuvan soluista.
- Eliöt voivat olla joko yksi- tai monisoluisia.
- Pienimmät eliöt ja virukset kuuluvat mikrobeihin.

Solun yleisrakenne ja koko

-”yhteistä” : tuma, solulima ja solukalvo

-kasvisolulle ominaiset: soluseinä, solunesterakkulat, viherhiukkaset

-soluseinä kasveilla: selluloosaa

sienillä: kitiiniä

bakteereilla: mureiinia

-läpimitta yl. 0,01 -0,1 mm

-pieni koko etu:

1) solukalvon ala tilavuuteen nähden suuri → nopea aineiden vaihto ympäristön kanssa

2) solun sis. kuljetusmatkat lyhyet

-ikä vaihtelee (vrt. esim. valkosolu ja hermosolu)

Solun tärkeät orgaaniset yhdisteet

hiilihydraatit

lipidit

proteiinit

nukleiinihapot

Yhteyttäminen

Kemosynteesi

- bakteerit hapettavat epäorg. aineita → energiaa → yhteyttävät hiilidioksidista ja veden (tai muiden yhdisteiden) vedystä org. yhdisteitä
- syvällä meressä ja maaperässä

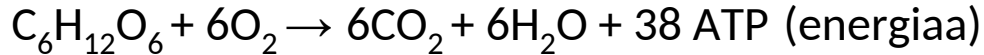
Fotosynteesi

- tapahtuu viherhiukkasissa eli kloroplasteissa, joihin säteily absorboidaan
- tapahtumasarja, jossa energiansiirtoa ja tilapäisvarastointia suorittavat runsasenergiset yhdisteet

Fotosynteesi tapahtuu kahdessa vaiheessa

Solun energiaa soluille käyttökelpoiseen muotoon

- solun energiantarve
- aerobisissa oloissa glukoosista tai rasvahapoista
- tavallisesti polttoaineena glukoosi, jota eläimillä veri kuljettaa kudoksiin



- jos reaktio tapahtuisi suoraan, lämpöä vapautuisi räjähdysmäisesti → solun tuho
→ energia puretaan hengityssentsyymien avulla pieninä annoksina

Käymisreaktiot

Anaerobiset olosuhteet (ei happea)

→ käyminen

1) Alkoholikäyminen → alkoholi + CO_2 + 2 ATP

-hiivasieni

-monien mikrobien ainoa energiansaantimuoto

2) Maitohappokäyminen → maitohappo + 2 ATP

-esim. lihassoluissa rasituksen aikana → hapen puute → happivelka, maitohappoa kertyy

→ kipu

5. Solun toimintaohjeet ovat geeneissä

Kromosomiluku

-lajispesifinen,	ihmisellä	46
	banaanikärpäsellä	8

1) somaattiset = kasvulliset solut

2n diploidinen kromosomiluku (46 ihmisellä)

*jakautuvat mitoottisesti tytärsolut emosolujen kaltaisia

2) sukusolut

n haploidinen kromosomiluku (23 ihmisellä: siittiö/munasolu)

DNA:n (+RNA:n*) rakenne

= deoksiribonukleiinihappo

-koostuu nukleotideista, joissa

1) sokerimolekyyli	2) fosfaattiosa	3) emäsosan vaihtoehdot
deoksisiriboosi		adeniini (A) tymiini (T) guaniini (G) sytoosiini (C)
*RNA:ssa riboosi		*RNA:ssa T:n paikalla urasiili (U)

- peräkkäiset nukleotidit muodostavat juosteita
 - > liittyvät toisiinsa emäsparien avulla -> kaksoisjuoste
- DNA-molekyyli kiertyy pituusakselinsa ympäri
 - > kiertyy edelleen valkuaisainehiukkasten ympärille (kromatiinirihma)

DNA:n kahdentuminen

- entsyymien vaikutuksesta emästen väliset sidokset katkeavat
 - > kaksoisjuoste avautuu
 - > kummankin juosteen viereen rakentuu (tumassa valmiina olevista nukleotideista) emäspariperiaatteen mukaisesti vastinjuoste

-> 2 kaksijuosteista molekyyliä
(nukleotidijärjestys sama kuin alkuperäisessä info säilyy)

-jos yksikin nukleotidi saa väärän parin, juoste virheellinen

-> geenimutaatio

-> mikäli solun entsyymit eivät korjaa heti, periytyy se solusukupolvelta toiselle

-DNA:n kahdentumisen jälkeen solu jakautuu
tytärsolut saavat omat DNA-molekyylit

Mitoosi kuvina

- VÄLIVAIHE:

- Vilkas aineenvaihdunta
- Solulima jakautuu
- Uusia soluelimiä syntyy
- Soluelimet kasvavat ja jakautuvat
- DNA kahdentuu

- TUMANJAKO:

- Esivaihe
- Esikeskivaihe
- Keskivaihe
- Jälkivaihe
- Loppuvaihe

Proteiinisynteesi

-DNA sijaitsee solun tumen kromosomeissa (alkeistumallisilla bakteereilla myös plasmideissa) ja RNA enimmäkseen solulimassa ja ribosomien pinnalla

-RNA:

*3 eri laatua: lähetti-RNA (l-RNA), siirtäjä-RNA (s-RNA) ja ribosomi-RNA (r-RNA)

*yksijuosteisia (yleensä)

*muodostuvat tumassa DNA:n ohjeen mukaan

*osallistuvat proteiinien valmistukseen

-synteessissä valmistuu proteiineja solun DNA:n määräämien ”valmistusohjeiden” mukaisesti

1.solun tumassa DNA avautuu ja sen toisen juosteen vierelle rakentuu sen kopioksi lähetti-RNA

2. kopiointi alkaa ns. aloituskolmikon (TAC) kohdalta

ja jatkuu kunnes koko geeniä vastaava DNA:n alue on kopioitu

3.lähetti-RNA poistuu tumasta tumakelmun aukkojen kautta ja siirtyy solulimaan, jossa kiinnittyy ribosomiin (ribosomi-RNA)

4.solulimassa vapaana liikkuvat siirtäjä-RNA:t kuljettavat niihin liittyneitä aminohappoja ribosomin ja lähetti-RNA:n luo

5.siirtäjä-RNA:ssa oleva tunnistuskolmikko (UAC) tunnistaa lähetti-RNA:n aloituskolmikon (AUG) ja kiinnittää aminohapot lähetti-RNA:n määräämässä järjestyksessä toisiinsa kiinni... proteiini alkaa muodostua

6.aminohappojen liittäminen loppuu, kun lähetti-RNA:n lopetuskolmikko tulee kohdalle, sillä siirtäjä-RNA:lla ei ole vastaavaa aminohappoa... valmis proteiini on muodostunut

Lopetuskolmikko ACT tai ATC tai ATT DNA:ssa (jokin näistä kolmesta)
UGA tai UAG tai UAA lähetti-RNA:ssa

geeni -> proteiini -> ominaisuus (esim. herneen muoto, ihon väri)

= geenit tuottavat vaikutuksensa proteiinisynteesin kautta

Entsyymit

- katalysoivat solun aineenvaihdunnan reaktioita
 - *nopeuttavat (myös alhaiset lämpötilat/laimeat liuokset)
 - *eivät itse kulu
- useat proteiineja tai proteiini + koentsyymi
(vitamiini tai metalli-ioni)
- kukin vaikuttaa vain tiettyyn substraattiin (=kohdeaine/
-alusta)
tiettyyn tapahtumaan
- lämpötila- ja pH-optimi
- myrkyt inhibiittoreita (esim. häkä punasoluissa
hemoglobiinin hapen paikalle -> häkämyrkytys)

6. Lisääntyminen on elämän tärkeimpiä tunnusmerkkejä

Suvuton lisääntyminen

- yksinkertaisin lisääntymisen muoto
- perustuu mitoosiin
- uusi yksilö syntyy emoyksilöstä tai sen osasta ilman sukusolujen muodostumista kloonin
- mutanttisolun jakautuessa uudet tytärsolut perivät mutaation
- nopea lisääntymismuoto (etu)
- yleisempää alkeellisissa eliöryhmissä

Jakautuminen

- yksisoluiset: esim. bakteerit
- monisoluiset: esim. lattana

Kuroutuminen = silmikoituminen

- esim. hiivasienet (yksisoluiset)
- emoyksilön pullistumasta kuroutuu irti tytäryksilö
- myös monisoluisilla, esim. polyyppi
- tytäryksilöt voivat jäädä kiinni emoon runkokunnat (esim. korallit)

Monisoluiset kasvit

- kasvulliset osat; esim. silmut, sipulit, varren tai lehden osat, maavarren osat jne.
- hyödynnetään kasvinviljelyssä ja jalostuksessa

Itiöt

- itiöt eivät ole sukusoluja vaan lisääntymissoluja, joista kasvaa uusi kasvi ilman hedelmöitystä (esim. saniainen)

Suvullinen lisääntyminen

- uusi yksilö syntyy naaras- ja koiraspuolisten sukusolujen (gameettien) yhtyessä uusia geeniyhdistelmiä perintöaines muuntelee
- gameetit syntyvät eläimillä sukurauihasissa, kasveilla heteissä ja emissä
- meioosi -> sukusoluihin haploidi peruskromosomisto (n)

Kaksineuvoisuus

- kasveilla yksikotisuus: heteet ja emit samassa yksilössä
- *itsepölytys mahdollinen
- *pyrkimys ristipölytykseen
- kastemato hermafrodiitti= naaras ja koiras samassa yksilössä itsesiitos

Yksineuvoisuus (eri sukupuolet)

- kehittynyt piirre

- kasveilla kaksikotisuus: heteet ja emit eri yksilöissä

- *ristipölytys (hyönteiset/tuuli)

- eläimillä hedelmöitys:

- *kutu (esim. kalat, sammakkoeläimet) ulkoinen hedelmöitys

- *parittelu sisäinen hedelmöitys

Partenogeneesi

- uusi yksilö saa alkunsa munasolusta ilman hedelmöitystä
- esim. lehtikirvat, vesikirput

Joillakin lajeilla suvuton ja suvullinen lisääntyminen vuorottelevat

Sukusolujen synty - meioosi

- Meioosissa (sukusolut, itiöt) kromosomimäärä puolittuu (n)
- Meioosissa on kaksi jakoa:
 - vähennysjako, jonka aikana kromosomimäärä puolittuu,
 - tasausjako, jossa kahdentuneet kromosomit jaetaan syntyviin sukusoluihin.
- Hedelmöityksessä sukusolut yhtyvät tsygootiksi ($2n$)

7. Evoluutio perustuu muunteluun ja luonnonvalintaan

Luonnonvalinta

- populaation yksilöt **kilpailevat** ravinnosta, elintilasta, lisääntymiskumppaneista jne.
- kilpailussa menestyvät parhaiten ympäristöön sopeutuneet eli **kelpoisimmat** yksilöt
- **kelpoisuus eli fitness:**
 - yksilö säilyy elossa lisääntymisikään asti
 - yksilön tehokas lisääntyminen
 - jälkeläisten hedelmällisyys
- **luonnonvalinta**
 - karsii heikommin menestyneiden ja suosii parhaiten menestyneiden yksilöiden ominaisuuksia
 - vaikuttaa alleelien lukusuhteisiin populaatiossa

Luonnonvalinnan toiminta

- populaation yksilöihin kohdistuu **valintapainetta**
- parhaimmilla yksilöillä on **valintaetu**

Tasapainottava valinta

- ympäristöolot muuttumattomat
- yleisimmät muodot keskivertotyyppisiä
- muuntelu pysyy samana tai vähenee

Suuntaava valinta

- ympäristöoloissa tapahtuu muutos tai populaatio siirtyy uudelle alueelle
- toisen ääripään yksilöt karsiutuvat, toisen lisääntyvät voimakkaasti
- aiemmin harvinaiset ominaisuudet alkavat yleistyä
- esim. teollisuusmelanismi perhosten värimuodon muutoksista, jalostus

Hajottava valinta

- olosuhteet muuttuvat populaation eri osissa erilaisiksi tai laji levittäytyy uusille alueille
- erilainen valintapaine populaation eri osissa
- suosii molempia ääripäitä
- lisää muuntelua
- populaatioista voi kehittyä eri lajeja

Seksuaalivalinta

- eri sukupuoliin eri tavalla kohdistuva valintapaine
- esim. lintukoiraiden menestykseen vaikuttavat väritys, ääntely, koko
- naaraalle edullista vaatimaton väritys (suojaväri)

8. Populaatiosta voi vähitellen kehittyä eri lajeja

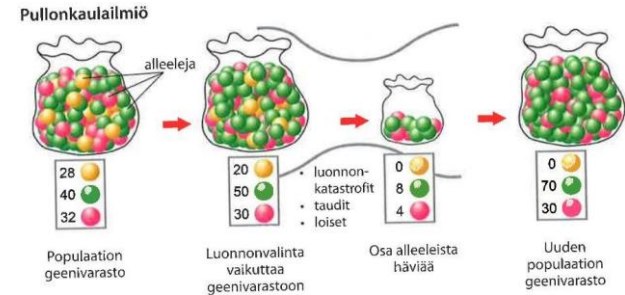
- populaation geenivarastoon vaikuttavat mutaatiot, suvullinen lisääntyminen ja **geenivirta (muuttoliike)** aiheuttaa)
- lajin eri populaatioilla hieman erilainen **geenipooli eli -varasto**
- luonnonvalinnan vaikuttaessa populaatioissa tapahtuu **mikroevoluutiota** (alleelien runsaussuhteet muuttuvat)
- lajit vaikuttavat toistensa evoluutioon = **rinnakkaisevoluutio eli koevoluutio**
- populaatiot voivat kehittyä eri lajeiksi = **makroevoluutio** (eri populaatioiden yksilöt eivät voi saada lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä)

Sattuman vaikutus

- populaatio voi tuhoutua osittain tai kokonaan suuressa luonnonmullistuksessa
- on merkittävä pienissä populaatioissa
- ihminen vaikuttaa metsästämyllä populaation kokoon
- hengissä selvinneiden yksilöiden perimä ei aina olosuhteisiin nähden paras mahdollinen —————> **satunnaisajautuminen** (geneettinen ajautuminen), jossa evoluutio etenee populaation geenien määräämään suuntaan

Pullonkaulailmiö

- on satunnaisajautumista
- populaation yksilöiden määrä tilapäisesti vähenee
- esim. Suomen hirvipopulaatiossa **pullonkaulailmiö** 1900-luvun alkupuolella, hankosarvisten hirvien enemmitys
- esim. ihmisen kehityksessä pullonkaulailmiö



Perustajavaikutus

- on satunnaisajautumista
- populaatio saa alkunsa muutamasta perustajayksilöstä
- esim. suomalaiset polveutuvat pienestä populaatiosta

Lajiutumistavat

Isolaatio

- populaation yksilöiden joutuessa erilleen alkaa vähittäinen lajiutuminen (uuden lajin synty)
- **lisääntymiseste** estää geenivirran populaation yksilöiden välillä
- geenivirran katkeaminen **maantieteellisen isolaation** seurauksena (meri, vuoristo, aavikko, jäätikkö tms.)
- esim. saimaan-, itämeren- ja laatokannorppa kehittyneet jäämerennorpasta sen alalajeiksi

- hidas tapahtuma etenkin isoilla nisäkkäillä
- **hajottavan valinnan** vuoksi populaatioiden
perimät muuttuvat erilaisiksi
- lisääntymisesteitä mm. erilaiset lisääntymisajat,
soidinkäyttäytyminen, sukuelinten erilaisuus

Polyploidia (kromosomiluvun moninkertaistuminen)

- on nopeaa lajiutumista
- yleensä kasveilla
- lajeja syntyy lähisukuisten lajien risteytyessä
- yleensä lisää kasvin kokoa ja kasvunopeutta, on hyötyä äärioloissa

Sopeutumislevittäytyminen

- yhdestä kantamuodosta kehittyy aika nopeasti uusia lajeja
- lajin yksilöt leviävät uudelle alueelle esim. sukupuuton jälkeen
- hajottavan valinnan seurauksena populaatiot sopeutuvat omiin ympäristöihinsä
- geenikoostumus muuttuu, populaatioista alalajeja ja uusia lajeja
- edellytyksenä usein **avainsopeuman** syntyminen esim. lintujen lentokyky ja kasvien siemenet → antaa valintaetua

Sukupuutot

- aiheuttajina suuret ilmaston- ja ympäristönmuutokset ja nykyisin myös ihminen
- joukkosukupuuttoja ollut ainakin 12, näistä 5 merkittäviä
- ekologiset lokerot tyhjenevät yhtäkkisesti
- sopeutumislevittäytymisen myötä lajimäärä kasvaa
- ihminen aiheuttaa kuudetta suurta joukkosukupuuttoa
- eliölajit eivät ehdi sopeutua muuttuviin oloihin

9. Elämä syntyi ja kehittyi meressä

- elämän synnystä ei ole pitäviä todisteita
- eliöiden **yhteisestä alkuperästä** on merkinä eliöiden samankaltainen solurakenne
- maapallon ikä n. 4,6 mrd vuotta
- maapallon jäähtyessä syntyi kivi- ja kaasukehä, osa vesihöyrystä tiivistyi vedeksi → vesikehän synty
- **kaasukehässä** hiilimonoksidia, typpeä, metaania, ammoniakkia, vetyä, vettä

Kemiallinen evoluutio

- alkumaapallolla tulivuoritoimintaa, meteoriittipommituksia, salamointia, UV-säteiden vapaa pääsy maan pinnalle
- kaasukehän epäorgaanisista aineista syntyi orgaanisia yhdisteitä: dna:n, rna:n ja proteiinien rakenneosat
- orgaanisten yhdisteiden synty on voinut tapahtua vaikkapa tulikuumen laavan virratessa suojaiseen merenlahteen
- rakenneosat liittyivät yhteen synnyttäen dna:n, rna:n ja proteiineja
- molekyylit kerääntyivät **kalvon** sisään → **pisara** → **alkusolu**

Biologinen evoluutio

- alkoi ensimmäisistä soluista
- vanhimmat löydettyt solut n. 3,8 mrd vuotta vanhoja
- soluissa tapahtui paljon mutaatioita —————> uusia ominaisuuksia, joista luonnonvalinta suosi parhaita
- vanhimmat eliöt tumattomia **arkeoneja ja bakteereja**
 - suurin osa **kuluttajia**
 - osa tuotti oman energiansa **kemosynteesin** avulla (hapettamalla epäorgaanisia aineita), olivat **tuottajia**
 - mutaatioiden vuoksi paljon muuntelua
 - luonnonvalinta ohjasi evoluutiota tehokkaasti

Fotosynteesin kehittyminen

- bakteerisolujen sisälle kehittyi **lehtivihreää eli klorofylliä**
- lehtivihreä sitoo auringonvaloa ja mahdollistaa yhteyttämisen eli orgaanisten aineiden tuottamisen
- ensimmäiset yhteyttävät eliöt olivat **syanobakteereja**
- fotosynteesin tuloksena syntyi happea

- hapen vaikutukset:
 - kaasukehä muuttui pitkän ajan kuluessa ilmakehäksi
 - syntyi UV-säteiltä suojaava **otsonikerros**
 - anaerobisiin (hapettomiin) oloihin sopeutuneita eliöitä kuoli sukupuuttoon (eliöt olivat sopeutuneet vapauttamaan energiaa **käymisen** avulla)
 - hapellisia oloja sietäville eliöille kehittyi energian vapauttamiseksi **soluhengitys**

Tumallisen solun synty

- arkeonit tai bakteerit sulautuivat yhteen
- tumallisessa solussa **tumakotelo**, paljon dna:ta ja **soluelimiä**, on suurempi kuin tumaton solu
- **endosymbioositeorian** mukaan isäntäsolu nielaisi bakteereja:
 - soluhengitykseen kykenevästä bakteerista syntyi **mitokondrio**
 - syanobakteerista syntyi **viherhiukkanen**

- UV-säteilyn määrän vähentyessä solujen erikoistuminen ja saalistussuhteet kehittyivät
- soluja liittyi yhteen **solurykelmiksi** (vähäistä työnjakoa)
- viherhiukkasia sisältävistä soluista kehittyi tuottajia (levät ja myöhemmin kasvit)
- ilman viherhiukkasia jääneistä soluista kehittyi kuluttajia (sienet ja eläimet)

Monisoluisuuden kehittyminen

- solurykelmässä **solujen välistä työnjakoa**
- **monisoluiset** kykenivät **erikoistumaan**, olivat suurikokoisempia ja elintoiminnoiltaan tehokkaampia kuin yksisoluiset
- **sukusolujen** avulla tapahtuvat **suvullinen lisääntyminen** tuotti perinnöllistä muuntelua
- monisoluisten levien ja eläinten kehitys merissä

Pääjaksojen kehittyminen

- eläinten lajikirjo lisääntyi etenkin kambrikaudella n. 550 milj. vuotta sitten
= **kambrikauden räjähdys**
- merissä kaikkien pääjaksojen edustajia, myös nykyisin sukupuuttoon kuolleita
- pääjaksoista tärkeimmät: sienieläimet, polttiaiseläimet, laakamadot, nivelmadot, niveljalkaiset, piikkinahkaiset ja selkäjänteiset
- menestymiseen vaikutti **avainsopeumien** kehittyminen

Sienieläimet

- elävät merenpohjaan kiinnittyneinä runkokuntina
- ei erikoistuneita soluja eikä kudoksia
- lisääntyvät suvuttomasti ja suvullisesti, hyvä **uusiutumiskyky**
- mm. järvisieni, pesusieni

Polttiaiseläimet

- säteittäissymmetrinen ruumiinmuoto
- erikoistuneita soluja (hermo-, lihas- ja poltinsoluja) sekä kudoksia ja elimiä
- suvuton ja suvullinen lisääntyminen
- mm. meduusat, korallieläimet ja polyypit

Nivelmadot

- kaksikylkinen ruumiinmuoto
- ruumis jaokkeellinen
- tikapuuhermosto ja alkeelliset aivot
- kaksiaukkoinen ruuansulatuskanava ja suljettu verenkiertojärjestelmä
- mm. kastemadot, juotikkaat

Nilviäiset

- kaksikylkisiä
- useimmilla **kalkkikuori ulkoisena tukirankana** (suojasi pedoilta)
- kehittynyt ruuansulatuskanava, avoin verenkierto, kidukset tai alkeelliset keuhkot
- osalla hyvin kehittyneet aistit ja hermosto
- lisääntyminen suvullista
- mm. kotilot, simpukat, mustekalat

Niveljalkaiset

- kaksikylkisiä
- **kitiinkuori ulkoisena tukirankana**
- ruumis ja jalat jaokkeisia
- tikapuuhermosto, monipuoliset aistit
- suvullinen lisääntyminen
- 85 % eläinlajeista niveljalkaisia
- mm. hyönteiset, äyriäiset, hämähäkkieläimet

Piikkinahkaiset

- kalkkilevyistä koostuva ulkoinen tukiranka
- vesiputkisto ja imujalat
- suvuton ja suvullinen lisääntyminen
- aikuiset säteittäissymmetrisiä, toukat kaksikylkisiä
- mm. meritähdet, merisiilit

Selkäjänteiset

- rustoinen tai luinen tukiranka mahdollisti eläimen koon kasvun ja elintoimintojen kehittymisen monipuolisemmiksi
- kaksikylkisyys, jaokkeellinen ruumis ja lihaksisto
- ainakin jossakin kehitysvaiheessa selkäjänne, selkäydin ja pyrstöevä tai häntä
- kehittyneet elimet ja aistit
- suvullinen lisääntyminen

- kaikki selkärangaiset kuuluvat selkäjänteisten pääjaksoon:
 - ympyräsuiset eli leuattomat kalat
 - rustokalat
 - luukalat
 - sammakkoeläimet
 - matelijat
 - linnut
 - nisäkkäät

Kalat

- vanhimpia selkärankaista ympyräsuiset eli **leuattomat kalat** (mm. nahkiainen)
- leuallisia kaloja:
 - **rustokalat**,
 - varsievä- ja keuhkokalat
 - varsinaiset **luukalat**
 - luinen tukiranka
 - suomukeittinen iho
 - kiduskansi kidusten suojana
 - taipuisat evät
 - **uimarakko**
 - luukudos **mineraalivarastona**

10. Kasvit kehittyivät levistä

- kasvien esi-isiä **viherlevät**
- hapen sopiva määrä ja otsonikerroksen vahvistuminen edesauttoivat elämän siirtymistä maalle
- maaelämään sopeutuivat ensimmäisinä eliöinä kasvit ja sienet

Sammalet

- ensimmäisiä maakasveja
- ottivat vettä koko pinnallaan ja tarvitsivat lisääntymiseen kosteutta
- olivat aluksi **sekovartisia** (ei juurta, vartta eikä lehtiä)
- ovat itiökasveja
- maksa- ja lehtisammalet

Sanikkaiset

- sanikkaiset kehittyivät n. 400 milj. vuotta sitten
- isokokoisia ja rakenteeltaan monipuolisia
- maalla hyödyllisiä rakenteita:
 - juuret (veden ja ravinteiden otto)
 - lehdet (yhteyttäminen)
 - varsi (sisältää tukisolukon)
 - **johtosolukko** (veden ja siihen liuenneiden aineiden kuljetus)
 - **pintasolukko** (kuivuuden sieto, ilmaraot)
- ovat **itiö- ja putkilokasveja**

- liekokasvit, kortteet ja saniaiset

Siemenkasvit

- ilmasto kuivui ja viileni n. 250 milj. vuotta sitten
- siemenkasvit sopeutuivat muuttuneisiin oloihin
- jaetaan **paljas- ja koppisiemenisiin**
- siemen sisältää kasvialkion ja vararavinnon, sietää äärioloja (mm. kuivuutta)
- ovat **putkilokasveja**

Paljassiemeniset kasvit

- ensimmäisiä siemenkasveja
- olivat pitkään maapallon valtalajeja sopeutuen kuiviin oloihin
- tuulen mukana leviävä **siitepöly** pölyttää emikukinnon
- siemenaiheet kehittyvät emilehtien pinnalla
- lehdet pienet ja vahapeitteiset

Koppisiemeniset kasvit

- yleistyivät n. 10 milj. vuotta sitten
- kehittyi paljon erilaisia lajeja erilaisiin ympäristöihin
- uusi lisääntymisrakenne, **kukka**
- alkio kehittyi emin sisällä, ympärillä siemenvalkuainen ja siemenkuoret
- nopeasti kehittyvän siemenen ympärillä usein **marja tai hedelmä**
- tuuli- ja eläinpölytys (kasvien ja hyönteisten rinnakkainen evoluutio = koevoluutio)

Putkilokasvien rakenne

- juuret ja juurikarvat veden ja ravinteiden ottoon
- johtosolukossa **johtojänteitä**
 - **puuosassa** kulkevat vesi ja ravinteet
 - **nilaosassa** kulkevat yhteyttämistuotteet
- puuvartisten kasvien paksuuskasvun saa aikaan **jälsisolukko**
- vesi haihtuu lehtien ilmaraoista (= **haihtumisimu**)
 - apuna vesimolekyylien välinen vetovoima
 - veden nousua edistää myös ohuiden putkiloiden **kapillaari-ilmiö**

Kasvien ja sienten evoluutio

- sienet levittäytyivät mantereille samaan aikaan kasvien kanssa
- sienet hajottavat kuolleita eliöitä ja vapauttavat ravinteita kasvien käyttöön
- monet kasvit ja sienet muodostavat molempia osapuolia hyödyttävän **sienijuuren eli mykorritsan**
- **jäkälä** koostuu sienirihmastosta ja viherlevistä (symbioosi)

11. Eläimet sopeutuivat elämään maalla

- niveljalkaiset olivat ensimmäisiä maaeläimiä
- maaeläinten kehittyminen n. 400 milj. vuotta sitten

Sammakkoeläimet

- olivat ensimmäisiä maaselkärangaisia
- kehittyivät ilmeisesti varsieväkaloista
- evät muuttuivat **raajoiksi** (avainsopeuma)
- **keuhkojen** kehittyminen aikuisille (avainsopeuma), myös ihohengitys
- verenkiertoelimistön kehittyminen
- ulkoinen hedelmöitys
- toukat hengittävät kiduksilla

Matelijoiden kehitys

- ilmaston kuivuminen vauhditti matelijoiden kehittymistä
- **raajat ja tukiranka** vahvistuivat
- **iho** sarveissuomuinen
- **verenkierto- ja hengityselimistö** kehittyivät
- **hermosto ja aistit** monipuoliset
- **sisäinen siitos** ja **munan** kehittyminen
- alkion kehittyminen vesiympäristössä munankuoren suojassa

- elämän keskiaika dinosaurusten ja muiden matelijoiden valtakausi
- lajikirjo suuri: matelijoita maalla, merellä ja ilmassa
- dinosaurusten ryhmään kuului ainakin 1000 lajia
- ilmeisesti lämpötilan lasku (asteroiditörmäys) ja sitä seurannut ravinnon puute johtivat dinosaurusten häviämiseen

<http://www.uusisuomi.fi/tiede-ja-ymparisto/64378-uusi-dinosaurus-loytyi-tyrannosaurus-oli-vain-pieni-kiusa>

Nisäkkäiden kehitys

- dinosaurusten joukkosukupuutto tyhjensi ekologisia lokeroita
- nisäkkäiden evoluutio eteni nisäkäsliskoista alkunisäkkäisiin, joista kehittyivät:
 - **nokkaeläimet**
 - **pussieläimet**
 - **istukalliset nisäkkäät**
- pussieläimillä ei istukkaa, siksi poikasten kehitys syntymässä kesken
- istukallisten nisäkkäiden poikaset kehittyvät valmiiksi **kohdussa**
- nisäkkäät **tasalämpöisiä** (nelilokeroinen sydän ja täydellinen kaksinkertainen verenkierto mahdollistavat tasalämpöisyyden)
- **karvapeite** estää lämmönhukkaa ja suojaa UV-säteilyltä

Lintujen kehitys

- polveutuvat dinosauruksista
- eturaajat kehittyivät **siiviksi** ja luusto keveni
- lentotaidon avulla tehokas elinympäristöjen valtaaminen
- tasalämpöisiä
- **höyhenpeite** estää lämmönhukkaa
- **soidinmenot** ennen parittelua
- poikanen kehittyy munassa
- **munia** haudotaan, poikasista huolehditaan

12. Ihmisen evoluution osa kädellisten evoluutiota

- ihminen kuuluu **kädellisten** lahkoon
- ihminen kuuluu **Hominidae-heimoon** (myös **ihmisapinat** simpanssi, oranki ja gorilla)
- kädelliset sopeutuneet liikkumaan puissa: raajojen rakenne, tarkat aistit, aivojen koko, hyvä oppimiskyky, sosiaalisuus, jälkeläisistä huolehtiminen
- Itä-Afrikan hautavajoaman vuoksi **isolaatio**, ilmaston muuttuminen kuivemmaksi, kasvillisuuden muuttuminen sademetsistä savanneiksi
- populaatiot kehittyivät erilaisiksi

Apinaihmiset

- ihmiseen johtava kehityshaara erkani simpansseista n. 7 milj. vuotta sitten
- elinympäristönä **metsäsavannit**
- pystyasento
- aivojen koko n. 500 cm³
- **pystyasennon** etuja: ympäristön havainnointi, auringonsäteilyn väheneminen iholla, lisääntynyt nopeus, energiankulutuksen väheneminen
- karvapeitteen väheneminen

Australopithacus afarensis

Varhaiset ihmiset

- kasvillisuuden muuttuminen **ruohosavanniksi**
- **aivojen koko** kasvoi
- liharavinnon käyttö lisääntyi
- **tulen käyttö** —————> ravinnon parempi imeytyminen, haitalliset mikrobit vähenivät, proteiini edisti aivojen kasvua, hampaiden koko pienentyi
- alkeellinen **puhekyky**
- työnjakoa, ravinnon jakaminen, **sosiaalisuus** kehittyi, aivojen koko kasvoi
- levittäytyminen Eurooppaan ja Aasiaan
- **useita ihmislajeja**
- **neandertalinihmiset** kehittyivät varhaisista ihmisistä

Homo erectus

Nykyihminen

- kehittyi Afrikassa levittäytyen laajalle
- ilmaston viileneminen aiheutti **pullonkaulailmiön**
- yksilömäärä kasvoi, leviäminen muille mantereille
- neandertalinihminen ja nykyihminen elivät samaan aikaan Euroopassa
- nykyihmisellä neandertalin perimää 1-4 %

Homo neandertaliensis

http://yle.fi/uutiset/neandertalinihminen_elaa_meissa_mutta_puhuiko_han/8041407

- nykyihminen perimältään yhtenäinen
- sopeutuminen perustuu **kulttuurievoluutioon**: puhe-, ajattelu- ja oppimiskyky, yhteisöllisyys, tietoisuuden kehittyminen
 - tietojen ja taitojen siirtäminen, ympäristön muokkaaminen nopeaa

13. Evoluutiota tutkitaan monella tavalla

Fossiilit

- fossiilien avulla saadaan tietoa elämän kehityksestä ja sukupuuttoon kuolleista eliöistä
- fossiilin yleisin tyyppi **kivettymä** (eliö hautautuu nopeasti hapettomiin kerroksiin, kudokset korvautuvat kivennäisaineilla)
- muita tyyppejä: valelma, painauma, meripihkaan jääneet hyönteiset, ikiroudan mammutit

- kallioperän ylimmät kerrokset yleensä nuorimpia, alimmat vanhimpia
- suhteellinen ikä selville **johtofossiilien** avulla (tiettyinä aikana laajalla alueella elänyt eliö, mm. ammoniitti)
- **radioaktiivinen iänmääritys:** perustuu tiettyjen radioaktiivisten aineiden muuttumiseen toisiksi, iänmääritys vertaamalla alkuperäisen aineen ja muuttuneen aineen pitoisuuksia

- **elävät fossiilit** säilyneet lajina samanlaisina miljoonia vuosia (siili, neidonhiuspuu, varsieväkala)
- **fossiilisarja** koostuu eri-ikäisistä kerrostumista löydetyistä lajin tai eliöryhmän fossiileista (hevonen, valas, ihminen)
- **välimuotofossiileissa** kahden eri eliöryhmän rakennepiirteitä (liskolintu, nisäkäslisko)

Rakenteen ja käyttäytymisen tutkiminen

- **anatomisten rakenteiden vertailu**
 - **surkastumat** (mm. valaiden ja käärmeiden raajojen surkastumat)
 - **alkionkehitys** (selkärankaisten alkionkehitys alussa samanlaista)
- **käyttäytymisen samankaltaisuus** (soidinmenot, kommunikointi)

DNA:n rakenteen ja toiminnan tutkiminen

- **kromosomiluvun vertailu** (lähilajit)
- **yksittäisten kromosomien** vertailu (mm. ihmisen ja simpanssin kromosomit)
- **DNA:n emäsjärjestyksen** selvittäminen ja vertailu (mm. nykyihminen ja neandertalinihminen)
- **DNA-viivakoodin** vertailu (saman lyhyen DNA-jakson vertailu)
 - voidaan käyttää myös lajintunnistukseen
- tietyissä DNA:n osissa tapahtuu mutaatioita vakionopeudella
 - **molekyylikellon** avulla saadaan selville lajin erkanemisaika

Nykypäivän evoluution havainnointi

- nykyäänkin evoluutiosta voi tehdä havaintoja:
 - **teollisuusmelanismi**
 - **tuhohyönteisten resistenssi tuholaismyrkyille**
 - **bakteerien antibioottiresistenssi**
 - **jalostuksen tulokset**

Darwinin evoluutioteoria

- teorian pohjana Charles Darwinin tekemät **havainnot, fossiililöydöt** ja niistä tehdyt **johtopäätökset**
- sisältönä eliöiden runsas lisääntyminen, muuntelu, kilpailu, luonnonvalinnan tekemä karsinta
- on nykyisen evoluutioteorian pohjana
- nykyinen evoluutioteoria tarkentunut: perustana eliöiden lisääntyminen, ominaisuuksien periytyminen, muuntelu, kilpailu, luonnonvalinta (ei kuitenkaan olemassaolon taistelua), isolaatio, sattuma