

Sisällysluettelo:

- 1** **Biologian on elämän tiede**
- 2** **Mitä elämä on?**
- 3** **Eliömaailma koostuu miljoonista lajeista**
- 4** **Solurakenne on elämän perusominaisuus**
- 5** **Solun toimintaohjeet ovat geeneissä**
- 6** **Lisääntyminen on elämän tärkeimpiä tunnusmerkkejä**
- 7** **Evoluutio perustuu muunteluun ja luonnonvalintaan**
- 8** **Populaatioista voi vähitellen kehittyä uusia lajeja**
- 9** **Elämä syntyi ja kehittyi meressä**
- 10** **Kasvit kehittyivät levistä**
- 11** **Eläimet sopeutuivat elämään maalla**
- 12** **Ihmisen evoluutio on osa kädellisten evoluutiota**
- 13** **Evoluutiota tutkitaan monella tavalla**

Tehtävien vastaukset s. 13–16

1. Käsitteiden määrittely

1–c, 2–f, 3–e, 4–b, 5–a, 6–d

2. Esimerkkejä käytännön biologiasta

- a. Armeijan sotilaiden maastopuvut, armeijan ajoneuvojen ja asumusten naamiointi, metsästäjien maastopuvut.
- b. Sukellusveneiden ja laivojen virtaviivainen muoto, kilpauimareiden asut.
- c. Ihmisten tunnistus (geneettiset sormenjäljet), esimerkiksi isyystutkimukset, rikostutkimukset.
- d. Jätteiden biologinen hajottaminen: kompostit, jätevedenpuhdistamot.
- e. Kaikuluotainlaitteita käytetään apuna kalastusaluksissa (kalaparvien löytämiseksi), laivoissa, sukellusveneissä ja lennonjohtotorneissa.

3. Lehmät ja musiikki

- a. Lehmät jaetaan kahteen yhtä suureen ryhmään ja erotetaan toisistaan.
- b. Toiselle lehmäryhmälle soitetaan musiikkia, toiselle ei.
- c. Lehmät lypsetään ja saadun maidon määrä mitataan ja merkitään muistiin.
- d. Koetta jatketaan usean päivän ajan.
- e. Muut olosuhteet (ruoka, valaistus jne.) ovat molemmilla ryhmillä samanlaiset.
- f. Muutaman päivän päästä ryhmät vaihdetaan. Musiikkia kuunnellut lehmäryhmä on ilman musiikkia ja hiljaisuudessa ollut lehmäryhmä kuuntelee musiikkia. Musiikinkuuntelu-aika on yhtä pitkä molemmilla ryhmillä ja musiikkia soitetaan samoina vuorokaudenaikoina.
- g. Koetta jatketaan yhtä monta päivää kuin edellisellä kerralla.
- h. Jos musiikkia kuunnellut lehmäryhmä tuottaa enemmän maitoa, hypoteesi on osoittautunut oikeaksi.

4. Luonnosta uusia keksintöjä

- a. Ilmiötä voitaisiin soveltaa suunniteltaessa sellaisia esineitä ja tavaroita, joissa olisi hyötyä itsestään puhdistumisesta ja jotka joutuvat kastumiselle alttiiksi: autojen tuulilasit, autojen maalipinnat, ulkoikkunat, ulkoiluvaatteet ja -kengät.
- b. Ilmiötä voitaisiin hyödyntää erilaisten tarttumiseen ja kiipeämiseen tarkoitettujen välineiden kehittämisessä: esimerkiksi vuorikiipeilijöiden ja rakentajien kengät.
- c. Kilpauimareiden asuissa, veneiden ja sukellusveneiden pinnoituksessa

5. Perhostoukkien varoitusvärien evoluutio

- a. Miten saaliseläinten varoitusvärit ovat kehittyneet siitä huolimatta, että poikkeavan väriset saaliseläimet ovat todennäköisesti heti joutuneet syödyiksi.
- b. Koska pedot ovat evoluution aikana sopeutuneet välttämään ko. väriyhdistelmää.
- c. Tarkoituksena oli tutkia, kumpi hypoteesi oli oikea, yksilövalinta- vai ryhmävalintahypoteesi.
- d. Peto oppii välttämään nopeimmin ympäristöstä hyvin erottuvia saaliseläimiä silloin, kun ne esiintyvät ryhmässä.
- e. Tutkijat halusivat selvittää, riittääkö jo aiemmin esiintynyt samanlainen varoitussymboli (taustasta erottuminen) siihen, että peto oppii välttämään myös uutta saaliseläintä.
- f. Kun talitiaiset ovat oppineet varomaan ympäristöstä selvästi erottuvia, pahanmakuisia olkitikkuja, ne jättävät rauhaan myös hyvänmakuiset mantelilastut. Eroa ei ollut enää siinä, olivatko saaliseläimet yksin vai ryhmässä.

6. Beriberi-taudin syyn selvittäminen

- a. Mikä aiheutti ihmisten taudin?
- b. Taudinaiheuttajana oli jokin bakteeri.
- c. Tautiin sairastuneiden ihmisten verestä eristettyä bakteeria ruiskutettiin kananpoikiin.
- d. Ei pitänyt, koska myös sellaiset kananpojat sairastuivat, joihin ei ruiskutettu bakteereja.
- e. Tautiin sairastuminen on yhteydessä puhdistettuun riisiin. Puhdistetusta riisistä puuttuu jokin sellainen aine, joka on välttämätön ihmisen terveydelle.

7. Uusia ammatteja

- a. Viljelee ravintokasveja kaupungeissa pystysuorilla pinnoilla, esimerkiksi asuinrakennusten ulkoseinillä.
- b. Lääkäri, joka hoitaa sairauksia solutasolla esimerkiksi nanorobottien avulla.
- c. Etsii elämää muualta maailmankaikkeudesta.

8. Mediaseuranta

Seurantatehtävä, ei valmista vastausta.

9. Mammutin kloonaaminen

Mielipidet tehtävä, ei valmista vastausta.

10. Inspiraatiota luonnosta

Soveltava tehtävä, ei valmista vastausta.

Tehtävien vastaukset s. 25–26

1. Elämän käsitteet

Atomi, molekyyli, makromolekyyli, soluelin, solu, kudosis, elin, elimistö, eliö, populaatio, eliöyhteisö, ekosysteemi, biosfääri.

2. Elämän perusominaisuudet

- b. unen tarve
- d. ajattelukyky
- g. liikkumiskyky

3. Elämän tunnusmerkkejä ja sopeutumiskeinoja

- a. Kun eliö kuolee, hajottajat hajottavat sen sisältämät orgaaniset yhdisteet eli monimutkaiset hiiliyhdisteet takaisin epäorgaanisiksi aineiksi. Osa epäorgaanisista aineista palautuu kaasuina ilmaan, osa taas maaperään tai veteen. Tuottajat sitovat itseensä näitä epäorgaanisia aineita ja valmistavat niistä erilaisia orgaanisia yhdisteitä itsensä ja ravintoketjun muiden lenkkien käyttöön. Maapallolle ei tule muualta aineita (poikkeuksena meteoriitit), joten samat yhdisteet ja siten samat atomit kiertävät jatkuvasti elottoman ja elollisen luonnon välillä.
- b. Koska yksi hiiliatomi pystyy liittämään itseensä neljä muuta atomia ja ketjun muoto voi vielä vaihdella (suora, haarautuva jne.), samoin kuin ketjun pituus.
- c. Nestemäisessä muodossa oleva vesi on: 1. lämmönsäätelijä (olosuhteet maapallolla, eliöiden lämmönsäätely), 2. aineiden kuljettaja, 3. ympäristö solujen kemiallisille reaktioille, koska se liuottaa tehokkaasti useimpia aineita 4. fotosynteesin raaka-aine ja 5. fotosynteesissä syntyvän hapen lähde.
- d. Liian korkeassa lämpötilassa (yli +45 celsiusastetta) solujen proteiinit tuhoutuvat ja solu kuolee.
- e. Jäätyessään vesi laajenee ja muodostaa jääkiteitä, jolloin solun rakenteet (solukalvo ja soluelimet) rikkoutuvat ja solu kuolee.
- f. Syvänmeren eliöt ovat sopeutuneet elämään kovassa paineessa. Merenpinnan tasolle nostettaessa sellaiset eläimet paisuvat ja halkeavat, koska paine on pinnalla paljon pienempi.

4. Eliöiden yhteiset piirteet

- a. Kaikki eliöt koostuvat joko yhdestä solusta tai suuresta määrästä soluja. Solut ovat elämän perusyksiköitä, joissa tapahtuvat kaikki elämän kannalta tärkeät reaktiot.
- b. Eliöissä tapahtuu aineenvaihduntaa: ympäristöstä saatuja aineita hyödynnetään eliön rakennusaineiksi ja energianlähteiksi tai varastoitavaksi, käyttökelvottomat aineet poistetaan.
- c. Geneettinen tieto, joka sisältää eliön rakennus- ja toimintaohjeet. Geneettinen tieto siirtyy vanhemmilta jälkeläisille.
- d. Lisääntymiskyky, jolla turvataan lajin säilyminen.
- e. Elinkaari: syntymä–kasvu–kuolema, näin pyritään turvaamaan lajin sopeutuminen ja resurssien säilyminen kaikille.
- f. Sopeutuvuus: geneettinen tieto on saman lajin yksilöillä vähän erilainen. Muuttuvissa olosuhteissa parhaiten sopeutuvat yksilöt selviytyvät ja tapahtuu evoluutiota, lajinkehitystä.
- g. Eliöt kykenevät vastaanottamaan ärsykeitä ja reagoimaan niihin. Eliöillä on itsesäätelykyky: ne pystyvät reagoimaan muuttuneisiin olosuhteisiin muuttamalla omia elintoimintojaan.

5. Missä on elämää?

Kohta 7.

- Hiekka on elotonta ainetta eli sillä ei ole keitintolaseihin lisättynä mitään vaikutusta.
- Keitintolaseissa A ei ole elämää, koska siellä ei tapahdu mitään kemiallista reaktiota.
- Keitintolaseissa B hiivasolut alkavat käyttää energianlähteenään sokeria, ja sivutuotteena syntyy hiilidioksidia, mikä näkyy syntyvinä kuplina. Hiivasolujen aineenvaihdunta on todiste elämästä ja eliöistä. Hiivasolut alkavat myös lisääntyä.
- Keitintolaseissa C syntyy myös kuplia, mutta ne ovat peräisin kemiallisesta reaktiosta poretabletin liueteessa veteen, joten siellä ei ole elämää. Kun poretabletti on liuennut kokonaan, reaktio loppuu.

6. Elämää Marsissa

- Näytteen kemiallinen analysointi: mitä alkuaineita ja kemiallisia yhdisteitä se sisältää. Jos siinä on esimerkiksi DNA:ta tai proteiineja, on kyse elollisesta aineesta.
- Näytteen tutkiminen mikroskoopilla: löytyykö siitä soluja tai solun osia.

7. Virukset

Kysymys, ovatko virukset eläviä, jakaa mielipiteitä tutkijayhteisössä. Karkeasti voidaan sanoa, että virukset ovat osa elämää, mutta eivät ole itse eläviä eliöitä.

- Perusteita elottomuudelle: ei varsinaista solurakennetta, ei omaa aineenvaihduntaa (valjastaa isäntäsolunsa aineenvaihduntakoneiston käyttöönsä), ei lisääntynyt itsenäisesti (tarvitsee isäntäsolun lisääntymiseen), ei reagoi ympäristöönsä eikä tarvitse energiaa

- Perusteita elollisuudelle: geenit (eli informaatio toimintaa varten), elinkaari (ainakin useimmat virukset kuolevat jossain vaiheessa), evoluutio (virusten evoluutio on nopeampaa kuin minkään varsinaisen eliön), järjestyneisyys ja samankaltaiset kemialliset ominaisuudet

8. Eliön elinkaari

Aineistotehtävä, ei valmista vastausta.

9. Elämän esiintymistä rajoittavat tekijät

a. Aavikolla elämää rajoittavat kuumuus ja veden puute. Eliöiden kannalta sopivin lämpötila on +5 °C – +30 °C, ja yli +45 °C lämpötilassa solujen proteiinit alkavat tuhoutua. Vettä tarvitaan soluissa liuottimena, aineiden kuljettajana ja lämmön tasaajana. Vesi on myös kasvien fotosynteesin toinen raaka-aine.

b. Etelämantereella elämää rajoittaa kylmyys. Kun lämpötila laskee alle 0 °C, soluissa oleva vesi jäätyy ja muodostaa jääkiteitä, jotka rikkovat solut ja eliö kuolee aineenvaihduntansa pysähtyessä.

c. Himalajan ylänköalueella elämää rajoittavat kylmyys ja hapen vähäinen määrä ilmassa. Kun lämpötila laskee alle 0 °C, soluissa oleva vesi jäätyy ja muodostaa jääkiteitä, jotka rikkovat solut ja eliö kuolee aineenvaihdunnan pysähtyessä. Eläimet tarvitsevat elintoimintoihinsa happea, ja niiden aineenvaihdunnan ja verenkiertoelimistön on toimittava tehokkaasti, jotta happea saadaan sidottua tarpeeksi solujen toimintaa varten. Lisäksi paine on meren pinnan tasoa matalampi.

d. Kolmen kilometrin syvyydessä merenpinnan alapuolella elämää rajoittavat pimeys ja suuri paine. Tuottajien fotosynteesi ei onnistu ilman auringonvaloa. Jo kilometrin syvyydessä paine on 100 kertaa suurempi kuin merenpinnan tasolla. Vain osa eliöistä pystyy kestämään niihin kohdistuvaa suurta painetta.

Tehtävien vastaukset s. 34–37

1. Biodiversiteetti

- a.** Biodiversiteetillä tarkoitetaan erilaisuutta yksilöiden ja populaatioiden välillä, lajien määrää sekä erilaisia elinympäristöjä jollain alueella.
- b.** Se ilmenee eroina yksilöiden ja populaatioiden välillä, lajien määränä sekä erilaisina elinympäristöinä jollain alueella.
- c.** Voidaan vertailla ja laskea saman lajin eri populaatioita ja saman populaation eri yksilöitä. Voidaan laskea jonkin alueen lajimäärä ja kunkin lajin osuus kaikkien yksilöiden määrästä. Voidaan kartoittaa jonkin alueen erilaisia elinympäristöjä.
- d.** Biodiversiteetti on eräänlainen vakuutus olosuhteiden muuttumisen varalle. Ilman erilaisuutta eliöt ovat vaarassa hävitä muutosten takia. Erilaisuuden ansiosta ainakin osa voi selviytyä. Näin lajit ja eliöyhteisöt voivat säilyä, joskin hieman muuttuneina.

2. Kuntien välinen vertailu

- a.** Kasvit ovat omavaraisia, koska ne pystyvät yhteyttämään. Yhteyttämisreaktiot tapahtuvat kasvisolujen viherhiukkasissa. (Poikkeuksena ovat eräät loiskasvit, joilla ei ole viherhiukkasia, eivätkä ne siis pysty yhteyttämään.) Kasvisolussa solukalvon ulkopuolella on soluseinä, joka koostuu pääasiassa selluloosasta. Kasveilla on useita eri tehtäviin erikoistuneita solukoita. Sienillä ei ole yhteyttämiskykyä, joten ne ovat toisenvaraisia eliöitä. Sienisolujen soluseinä koostuu kitiinistä, eikä sienien soluissa ole viherhiukkasia. Monisoluiset sienet rakentuvat sienirihmastosta.
- b.** Bakteerien solut ovat hyvin pieniä, ja niissä on vain vähän erilaisia soluelimiä. Niillä ei ole tumakotelo, vaan perintöaines sijaitsee solulimassa. Kaikki bakteerit ovat yksisoluisia. Arkeonit muistuttavat muutoin paljolti bakteereja, mutta niiden geenien rakenne ja toiminta muistuttavat enemmän tumallisia kuin bakteereita.
- c.** Eläimiltä puuttuu yhteyttämiskyky, eli ne ovat toisenvaraisia. Eläinsoluissa ei ole soluseinää eikä viherhiukkasia. Eläinten elintoimintoja säätelevät hermosto ja hormonit. Eläimet saavat tietoa ympäristöstä aistiensa avulla. Eläinten samaan tehtävään erikoistuneita soluja kutsutaan kudoksiksi, ja niitä on neljä eri päätyyppiä. Eläimet lisääntyvät pääasiassa suvullisesti. Kasvisoluja ympäröivät sekä soluseinä että solukalvo. Kasvit ovat omavaraisia. Kasvien elintoimintoja säätelevät hormonit. Kasvien samaan tehtävään erikoistuneita soluja kutsutaan solukoiksi, ja ne jaetaan kuuteen eri tyyppiin. Kasveilla myös suvuton lisääntyminen on hyvin tavallista.
- d.** Arkeonit ovat hyvin pieniä, ja niissä on vain vähän erilaisia soluelimiä. Tumakotelo puuttuu, joten niiden perintöaines sijaitsee solulimassa. Kaikki arkeonit ovat yksisoluisia. Niiden kunnassa on sekä oma- että toisenvaraisia lajeja. Arkeonit lisääntyvät suvuttomasti. Niiden geenien rakenne ja toiminta muistuttavat enemmän tumallisia kuin bakteereita. Eläimet ovat toisenvaraisia ja ne lisääntyvät pääasiassa suvullisesti. Eläinsolut ovat paljon suurempia kuin arkeonit, ja niissä on paljon erilaisia soluelimiä. Perintöaines on tumakotelon sisällä. Kaikki eläimet ovat monisoluisia.

3. Kasvien sukulaisuus

- a. Kanerva = *Calluna vulgaris*, puolukka = *Vaccinium vitis-idaea*, mustikka = *Vaccinium myrtillus*
- b. "L" viittaa käytössä olevan tieteellisen luokittelun ja tieteellisten nimien (ensimmäinen sana viittaa sukuun, toinen lajiin) kehittäjään, ruotsalaiseen Carl von Linnéen.
- c. Mustikka ja puolukka kuuluvat samaan puolukoiden sukuun (*Vaccinium*), ja ovat keskenään läheisempää sukua kuin mustikka ja kanerva tai puolukka ja kanerva. Kaikki kolme kuuluvat samaan kanervakasvien (*Ericaceae*) heimoon.
- d. Metsälaike ilmentää suurehkoa monimuotoisuutta. Kanerva kasvaa tyypillisesti kuivilla ja valoisilla paikoilla, kuten kuivissa kangasmetsissä ja kallioilla, puolukka kuivahkoissa kangasmetsissä ja soilla eli se viihtyy sekä kuivissa että kosteahkoissa ympäristöissä, mustikka puolestaan kosteammissa tuoreissa kangasmetsissä ja myös lehtomaisissa kangasmetsissä varjoisissa paikoissa. Kaikkein kosteimmista metsätyypeissä (lehdossa) ei juuri tavata mitään näistä kolmesta lajista.

4. Luokittelujärjestelmän hierarkia

Kuvio C. Eläimet on kuvion suurin luokitteluyksikkö, ja siihen kuuluvat sekä linnut, kalat että nisäkkäät. Seuraava luokitteluyksikkö on nisäkkäät, joihin kuuluvat lepäkot ja valaat.

5. Eliöiden luokittelua

- a. A: arkeonit, B: bakteerit, C: sienet, D: kasvit, E: eläimet, F: alkueliöt
- b. A ja B: tumattomia, yksisoluisia, (pienikokoisia, soluissa ei kalvojen ympäröimiä soluelimiä, soluseinä on, lisääntyminen kahtia jakautumalla)
C ja F: tumallisia, (soluissa kalvojen ympäröimiä soluelimiä)
- c. Omavaraisuutta esiintyy kunnissa A, B, D ja F.
A: kemosynteesiä eli epäorgaanisten yhdisteiden hapettaminen energialähteenä
B: fotosynteesiä eli auringon valo energialähteenä (syanobakteerit)
D: fotosynteesiä
F: fotosynteesiä (levät)

6. Eliöryhmien ja virusten ominaisuuksia

	bakteerit	arkeonit	alkueliöt	kasvit	sienet	eläimet	virukset
koostuvat soluista	x	x	x	x	x	x	
soluissa on tuma			x	x	x	x	
sisältävät geenejä	x	x	x	x	x	x	x
soluissa on soluseinä	x	x	(x)	x	x		
fotosynteesiin kykeneviä	(x)		(x)	x			
koostuvat solurihmoista					x		
yleensä monisoluisia			x	x	x	x	
mukana omavaraisia	x	x	x	x			
suvullista lisääntymistä			x	x	x	x	
ei aineenvaihduntaa							x

7. Proteiinin aminohappojärjestys luokittelun apuvälineenä

a. Oranki eroaa kolmesta muusta lajista kahden aminohapon suhteen. Gorilla eroaa simpanssista ja ihmisestä yhden aminohapon suhteen (gorillalla asparagiini, ihmisellä ja simpanssilla glutamiinihappo). Orankiin johtava kehityslinja on siis erkaantunut ensimmäisenä yhteisestä esi-isästä ja sijoittuu siis kaavion ylimmälle viivalle. Gorilla on erkaantunut seuraavaksi ihmiseen ja simpanssiin johtavasta kehityslinjasta, ja sijoittuu kaavion alimmalle viivalle. Koska tässä aminohappovertailussa ei ole mitään eroa ihmisen ja simpanssin aminohapoilla, tulee samalle viivalle kaavioon simpanssin kohdalle myös ihminen.

b. Koska ihminen ja simpanssi ovat lähisukulaisia, ei näin suppea aminohappovertailu anna riittävästi tietoa lajien välisistä eroista. Tarkemman tiedon saamiseksi voidaan verrata toisiinsa ihmisen ja simpanssin 1. joidenkin muiden proteiinien aminohappojärjestystä, 2. DNA:n rakennetta, 3. käyttäytymistä (esim. kommunikointi, oppiminen), 4. rakennetta (esim. aivojen rakenne, käden rakenne), 5. kromosomeja (niiden lukumäärä ja koko).

8. Määritä kasvin suku

1 Neulaset varisevat talveksi, pehmeitä; käpy palleromainen, käpysuomut ohuita

Larix

1 Neulaset ympärivuotisia, kovia; käpy pitkulainen, käpysuomut paksuja – ohuita.....

Kohtaan 2

2 (1) Neulaset pareittain, tavallisesti yli 30 mm; käpy kartiomainen, käpysuomut paksuja

Pinus

2 (2) Neulaset yksittäin, enintään 30 mm; käpy sukkulamainen, käpysuomut paksuja.....

Kohtaan 3

3 (2) Neulaset särmikkäitä; kävyt riippuvia, irtoavat kokonaisina

Picea

3 (3) Neulaset litteitä.....

Kohtaan 4

4 (3) Silmut tylppiä; käpy pysty, käpysuomut irtoavat kävyn kypsyessä

Abies

4 (4) Silmut suippoja; käpy riippuva, kokonaisena irtoava

Pseudotsuga

Oikeat vaihtoehdot on merkitty **oranssilla**. Kasvi kuuluu sukuun **Abies** eli pihtojen sukuun.

9. Monimuotoisuuden aiheuttajia

Aineistotehtävä, ei valmista vastausta.

Tehtävien vastaukset s. 46–48

1. Solujen rakenteen tutkiminen

Tutkimustehtävä, ei valmista vastausta.

2. Kasvi- ja eläinsolu

tumajyvänen c

viherhiukkanen a

mitokondrio c

solukalvo c

tärkkelysjyvänen a (kohta vain kirjan 15. uudistetussa painoksessa)

soluseinä a

kromosomit c

tumakotelo c

ribosomi c

solunesterakkula a

3. Fotosynteesi, soluhengitys ja käyminen

a. Väärin, soluhengitystä tapahtuu myös esitumallisten, alkueliöiden, sienten ja kasvien soluissa, eli hapellisissa oloissa kaikissa soluissa (hapettomissa oloissa energiaa vapautuu käymisreaktion avulla).

b. Väärin, kasvit hengittävät myös päivällä.

c. Oikein.

d. Oikein.

e. Oikein.

f. Väärin, fotosynteesin lähtöaineita ovat vesi ja hiilidioksidi.

g. Oikein.

h. Oikein.

i. Väärin, hiivojen ja bakteereiden käymisreaktio voi tapahtua ilman happea.

4. Lammen veden happi- ja hiilidioksidipitoisuudet vuorokauden aikana

- a.** Hapen määrä alkaa nousta aamulla kello kuuden jälkeen, koska Auringon noustessa kasvien ja levien fotosynteesi alkaa, jolloin syntyy happea. Hapen määrä lammessa nousee noin kello 17 saakka, jonka jälkeen valoa on taas vähemmän ja fotosynteesiteho laskee. Hapen määrä vähenee, koska eliöt kuluttavat soluhengityksessä happea eivätkä tuottajat enää tuota sitä.
- b.** Hiilidioksidia on aamulla runsaasti, koska eliöt ovat tuottaneet sitä soluhengityksessä koko yön ajan. Fotosynteesin käynnistyttyä sen määrä vähenee, koska se on fotosynteesin raaka-aine. Mitä enemmän valoa on, sitä enemmän hiilidioksidia kuluu. Illalla ja yöllä, kun kasvit ja levät eivät enää yhteytä, hiilidioksidin määrä taas nousee.

5. Juokseminen

- a.** Hengästyminen johtuu lihasten lisääntyneestä hapen tarpeesta. Sisäänhengitys kiihtyy ja soluille tulee veren mukana enemmän happea.
- b.** Hiilidioksidia poistuu enemmän, koska lihassolut tarvitsevat supistumiseensa enemmän energiaa kuin levossa. Ravintoaineiden sisältämä energia muunnetaan lihassoluille käyttökelpoiseen muotoon soluhengityksessä, jossa syntyy hiilidioksidia.
- c.** Lihasten soluhengityksessä syntyy myös lämpöä.
- d.** Lihassoluissa syntynyttä lämpöä poistuu hien mukana.
- e.** Juomalla hiilihydraattipitoisia juomia maratoonarit varmistavat, että lihassolut saavat riittävästi energiaa.

6. Herneiden itäminen

Idätä herneitä vedessä etukäteen 1–2 vuorokautta. Kahden vuorokauden kuluttua itäviä siemeniä sisältävän termospullon sisälämpötila on 5–10 °C korkeampi kuin termospullon, jossa on kuivia herneitä. Itävien herneiden solujen elintoiminnot tarvitsevat energiaa. Herneen siemenet sisältävät hiilihydraatteja, joiden sisältämää energiaa muutetaan soluille käyttökelpoiseen muotoon (ATP-molekyylin sidosenergiaksi) soluhengityksessä. Samalla osa energiasta vapautuu soluista lämpönä.

7. Fotosynteesin osoittaminen

Keitinlasissa A vesirutossa ei tapahdu fotosynteesiä, koska vedessä ei ole hiilidioksidia. Keitinlasissa B fotosynteesiä tapahtuu. Se näkyy vesiruton varresta suppiloon nousevina happikuplina. Mitä tehokkaampaa fotosynteesi on, sitä enemmän happikuplia poistuu varresta.

8. Valon vaikutus kasvien kasvuun

Tutkimussuunnitelmatehtävä, ei valmista vastausta.

Tehtävien vastaukset s. 57–58

1. Rakenteet suuruusjärjestykseen

Eliö, solu, tuma, kromosomi, DNA-molekyyli, geeni

2. Solun jakautumiseen liittyviä käsitteitä

- a. Ennen solun jakautumista DNA-molekyylit kahdentuvat eli kopioituvat. Kahdentumisen tuloksena jokaista DNA-molekyyliä on kaksi kappaletta. Näin kumpaankin uuteen soluun tulee sama määrä DNA-molekyyliä kuin jakautuvassa solussakin oli.
- b. Kromosomeja kutsutaan tytärokromosomeiksi, kun kahdentuneen kromosomin kromosomit irtoavat toisistaan.
- c. Geenimutaatio on geenissä tapahtuva pysyvä muutos. Niitä aiheuttavat monet ympäristötekijät, kuten ionisoiva säteily ja myrkyt. Niitä voi tapahtua myös itsestään, ilman mitään ulkopuolista syytä.
- d. Geenien erilaisia muotoja kutsutaan alleeleiksi.

3. DNA

- a. ATGCTGTTGAGCCGG
- b. Se sisältää informaatiota, se pystyy tekemään itsestään kopioita ja sen informaatio voi muuttua.
- c. Se on todiste eliöiden yhteisestä alkuperästä.

4. Käsitteet haltuun

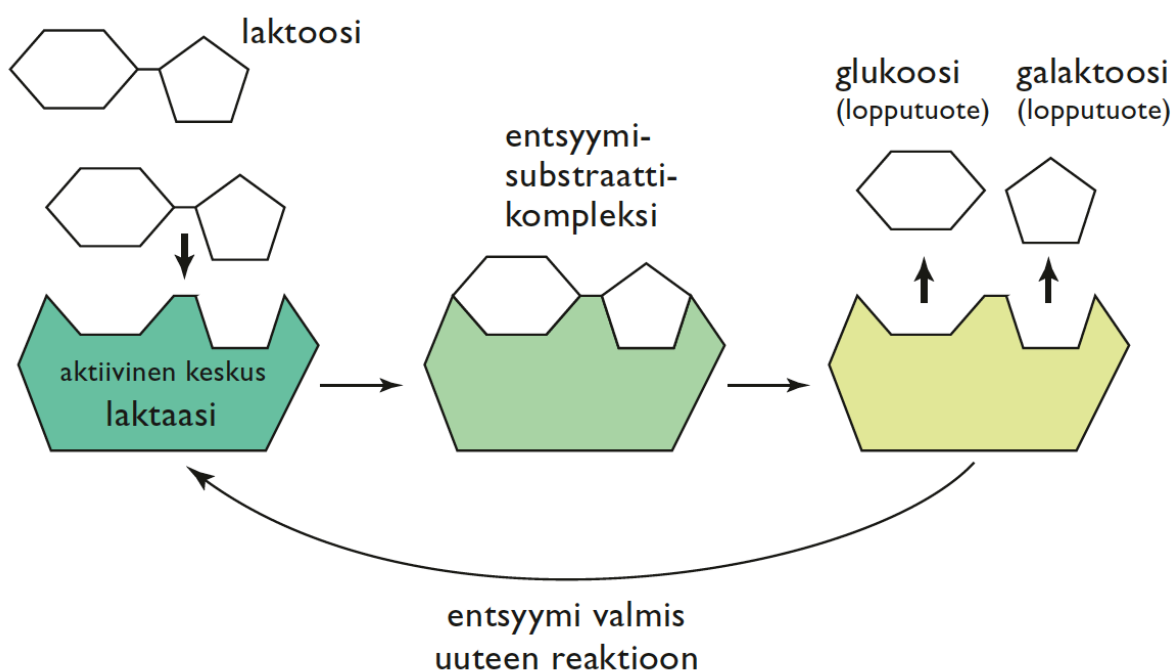
- a. Geeni on osa DNA-molekyyliä
- b. DNA:n tietty emäsjärjestys on ohje proteiinin valmistumiseen.
- c. Alleelit ovat saman geenin erilaisia muotoja.
- d. Geenimutaation vaikutuksesta jokin DNA:n emäsoista vaihtuu toiseksi tai häviää tai emäsoita tulee lisää.
- e. Entsyymit ovat proteiineja. Ne syntyvät geenien ohjeiden mukaan proteiinisynteesissä.
- f. Proteiinisynteesi tapahtuu ribosomissa.

5. Entsyymien hyödyntäminen

- Entsyymit nopeuttavat likatahrojen orgaanisten aineiden hajoamista, jolloin lika irtoaa vaatteista.
- Tärkkelysmolekyyliä pilkotaan amylaasientsyymien avulla. Tärkkelys hajoaa entsyymien vaikutuksesta glukoosimolekyyliksi, jotka maistuvat makeilta.
- Vähälaktoosisten maitotuotteiden valmistuksessa laktoosia eli maitosokeria pilkotaan laktaasientsyymien avulla.

6. Hyödyllinen geenimutaatio

- Suomen karuissa oloissa maidolla on ollut suurempi merkitys ravintona kuin Thaimaassa. Maitoalleeli on siis ollut luonnonvalinnan suosiossa. Yleisyyteen vaikuttaa myös perustajavaikutus: suomalainen väestö periytyy pienestä kantapopulaatiosta, jonka monilla yksilöillä oli maitoalleeli ilmeisesti perimässään.
- Laktoosi kiinnittyy laktaasientsyymien aktiiviseen kohtaan. Entsyymi katalysoi reaktio, jossa laktaasi hajoaa lopputuotteiksi, glukoosiksi ja galaktoosiksi. Lopputuotteet irtoavat laktaasientsyymien aktiivisesta kohdasta ja entsyymien on jälleen valmis katalysoimaan uutta vastaavaa reaktiota.



7. lämpötilan vaikutus entsyymien toimintaan

Lipaasientsyymien optimilämpötila on noin +40 °C. Kun lämpötila nousee, lipaasin toiminta hidastuu ja lopulta lakkaa kokonaan, koska entsyymien rakenne tuhoutuu (denaturoituu). Lämpötilan laskiessa molekyylien lämpöliike hidastuu, jolloin entsyymi- ja substraattimolekyylien kohtaaminen tapahtuu pienellä nopeudella. Reaktiota ei näin ollen tapahdu.

8. Eristä oma DNA:si posken limakalvon solusta

Kokeellinen tehtävä, ei vastausta.

9. Ruttobakteerin kehittyminen

a. *Y. Pseudotuberculosis* on maassa elävä bakteeri, joka tarttuu esimerkiksi pesemättömistä juureksista. *Y. Pestis* tarttuu kirppujen välityksellä.

b. *Y. Pseudotuberculosis* aiheuttaa lievän vatsataudin. *Y. Pestis* aiheuttaa paiseruton, jossa kainaloiden ja nivusten imusolmukkeisiin tulee kivuliaita paiseita. Verenkiertoon levitessään bakteerit aiheuttavat verenvuotoja kudoksissa. Tämä näkyy tummina läiskinä ihossa, joiden perusteella ruttoa kutsutaan mustaksi surmaksi. Keuhkoihin levitessään bakteeri aiheuttaa keuhkoruton. Hoitamattomana rutto johtaa kuolemaan.

c. Vaarattomasta bakteerista tuli tappava, kun se sai toiselta bakteerilajilta Pla-geenin. Toisin sanoen bakteerin perimän muuttuminen teki siitä tappavan.

d. Patogeeni tarkoittaa taudinaiheuttajaa eli tautia aiheuttavaa mikrobia (eli mikroskooppisen pientä eliötä), virusta tai proteiininkaltaista, jotain tarttuvaa tautia levittävää hiukkasta eli prionia. Yleisimpiä patogeeneja ovat bakteerit (esim. rutto), virukset (esim. influenssa), prionit (esim. kuru eli naurutauti), alkueläimet (esim. malaria), sienet (esim. jalkasilsa) ja monisoluiset loiseläimet (esim. kihomato, joka ei ole mikrobi).

Tehtävien vastaukset s. 70–71

1. Väittämiä lisääntymisestä

- a. Väärin. Hiivasienet lisääntyvät kuroutumalla eli silmikoimalla (budding).
- b. Oikein, mutaatiot tosin voivat muuttaa yksilöiden perimää erilaiseksi.
- c. Väärin, norsujen ja kaikkien nisäkkäiden regeneraatiokyky on heikko.
- d. Väärin, havupuilla on sekä emi- että hedekukkia.
- e. Oikein.
- f. Oikein, ristipölytyksessä yhdistyy kahden yksilön perimä.
- g. Väärin, sammakoilla on ulkoinen hedelmöitys, munasolut hedelmöittyvät vedessä naaraan ruumiin ulkopuolella.
- h. Väärin, partenogeneesi on lisääntymistä hedelmöitymättömistä munasoluista.

2. Yhdistä oikein

1–h, 2–g, 3–e, 4–f, 5–i, 6–a, 7–d, 8–b, 9–c

3. Määrittele seuraavat lisääntymiseen liittyvät käsitteet

- a. Munasolun ja siittiön yhdistyminen
- b. Käyrä (graafinen kuvaaja), joka havainnollistaa populaation eri-ikäisten yksilöiden keskimääräistä elossa säilymisen todennäköisyyttä eri ikäryhmissä.
- c. Sukusolujen (muna- ja siittiösolujen) synty tapa.
- d. Hiivasolujen ja esimerkiksi polttiaiseläinten, kuten meduusojen, lisääntymistapa.
- e. Siemenkasvi, jonka siemenaiheet ovat emikukan sikiäimen sisässä. Siemenaiheista kehittyvät siemenet jäävät koppisiemenisellä kasvilla sikiäimestä kehittyvän hedelmän sisään.

f. Eläinten suvullinen lisääntymisen tapahtuma, joka mahdollistaa sukusolujen kohtaamisen, ulkoinen siitos (eli siitos tapahtuu naaraan elimistön ulkopuolella, kalat, sammakkoeläimet), sisäinen siitos (eli siitos tapahtuu naaraan elimistön sisäpuolella, monet selkärangattomat, matelijat, linnut, nisäkkäät).

g. Siemenkasvien suvullisen lisääntymisen edellytys, jossa siitepöly kulkeutuu tuulen (tuulipölytys) tai hyönteisten (hyönteispölytys) välityksellä hedekukista emikukkiin.

4. Kimalaisen lisääntyminen

a. Koiraat syntyvät hedelmöittymättömistä munasoluista partenogeneettisesti.

b. Nopeuttaa lisääntymistä, ei tarvitse etsiä parittelukumppania.

c. Jälkeläisiin tulee vain naarasyksilöiden geenejä, eikä uusia geeniyhdistelmiä synny kuten tavallisessa suvullisessa lisääntymisessä.

5. Kasvien lisääntymistapoja

a. Kallioimarre (saniaiset yleensä).

b. Kuusi, mänty (havupuut)

c. Voikukka (ja monet muut kukkakasvit)

d. Valkovuokko (samassa yksilössä on sekä heteet että emi eli sama yksilö tuottaa sekä munasoluja että siitepölyhiukkasia)

e. Mansikka (suvuttomasti lisääntyvien kasvien maanalainen tai usein maanpäällinen osa, josta voi kasvaa uusi kasvi)

f. Koiranputki (kasvi, jolla siitepöly kulkeutuu heteistä emiin hyönteisten, usein pistiäisten tai kovakuoriaisten, kuljettamana)

6. Perunan viljely

a. Uudet perunakasvit kasvatetaan juurimukuloista, eli sen viljelyssä hyödynnetään suvutonta lisääntymistä (peruna myös kukkii ja tuottaa siemeniä, eli lisääntyy suvullisesti).

b. Ne ovat perimältään keskenään samanlaisia. Ympäristöolosuhteet, kuten maan laatu, voivat vaikuttaa mukuloiden kokoon ja muotoon.

7. Suvullinen ja suvuton lisääntyminen

- a. Lisääntyminen on suvutonta silloin kun siinä ei tarvita sukusoluja.
- b. Jokainen sukusolu on perimältään hieman erilainen, sattuma määrää, mikä siittiö munasolun hedelmöittää, lisääntymiskumppanin valintakin on usein sattumanvaraista. Suvullinen lisääntyminen tuottaa siis uusia yhdistelmiä perintötekijöistä.

8. Lisääntymiskäyttäytymisen ja -tapojen merkitys lajille

- a. Varmistaa kuulumisen samaan lajiin, yleensä kelpoisimpien koiraiden geenit pääsevät siirtymään seuraavalle sukupolvelle.
- b. Lisää geneettistä monimuotoisuutta, koska siinä yhdistyy kahden eri yksilön geeniperimä.
- c. Varmistaa, että riittävästi jälkeläisiä säilyy hengissä lisääntymisikään saakka.

9. Kasvin kasvattaminen

Kokeellinen tehtävä, ei valmista vastausta kohtiin a–c.

- d. Tällainen kasvien kasvatus perustuu suvuttomaan lisääntymiseen. Parhaat juuret todennäköisesti kasvatti ikkunalaudalla ollut kasvi.

10. Erilaisia ja samanlaisia matoja

- a. Laakamatoihin kuuluva lattana voi jakautua kahtia, tai jopa pilkkoutua osiksi, ja jokaisesta osasta voi kasvaa uusi yksilö.
- b. Sama yksilö voi tuottaa sekä siittiöitä että munasoluja.
- c. Yksineuvoiset eläimet ovat joko siittiöitä tuottavia koiraita tai munasoluja tuottavia naaraita.
- d. Siittiöt ja munasolut (kasveilla siitepölyhiukkaset ja munasolut) ovat eri yksilöissä.

11. Elinkaari

laji	lisääntymistapa	kasvu ja kehitys	elinikä
a. bakteeri	suvuton, jakautuminen	lisääntyvät nopeasti ja kasvavat nopeasti	vaihtelee, myös lepomuotoja
b. punkki	suvullinen	muna-toukka-aikuinen (muodonvaihdos)	muutamia kuukausia
c. voikukka	suvullinen, myös suvuton (juuren palasista)	siemen-taimi-kukkiva kasvi	lakastuu syksyllä, juuret talvehtivat
d. sammakko	suvullinen	munat (eli ”kutu”), toukka (eli ”nuijapää”), aikuinen	muutamia vuosia
e. sudenkorento	suvullinen	muna-toukka-aikuinen (muodonvaihdos)	toukkavaihe noin vuosi, aikuinen kuukausia
f. merilohi	suvullinen	kutee joessa, kasvaa meressä	useita vuosia, jopa yli 10
g. kyykäärme	suvullinen	munat kehittyvät naaraan sisällä	muutamia vuosia
h. talitiainen	suvullinen	ruokkii poikasiaan	muutamia vuosia
i. kenguru	suvullinen	pussieläin	useita vuosia
j. afrikannorsu	suvullinen	poikanen aikuistuu hitaasti	vuosikymmeniä

Tehtävien vastaukset s. 83–85

1. Muuntelu

- a. Muuntelu ilmenee saman lajin yksilöiden erilaisuutena. Eroja on yksilöiden ominaisuuksissa, kuten ulkonäössä, rakenteessa, elintoiminnoissa ja käyttäytymisessä.
- b. Populaatio koostuu yksilöistä, joilla jokaisella on suvullisen lisääntymisen seurauksena hieman erilaiset geenit. Osa eroista johtuu mutaatioista, erityisesti geenimutaatioista. Lisäksi ympäristö vaikuttaa voikukkapopulaation yksilöiden erilaisuuteen.
- c. Suolampien vesi on tummaa, joten ahvenien väritys on tummempi kuin kirkasvetisessä järvessä. Tumma väri antaa paremman suojan saalistajilta tummassa vedessä.

2. Mutaatiot

- a. Mutaatiot ovat seurausta perintötekijöiden rakenteellisista muutoksista.
- b. Kun jokin geeni muuttuu, ominaisuuden ilmeneminen voi muuttua. Populaatioon syntyy uusia ominaisuuksia, jotka voivat lisätä yksilöiden mahdollisuuksia sopeutua.
- c. Suvuttomasti lisääntyvillä eliöillä.

3. Luonnonvalinta

1. Tasapainottavaan valintaan liittyvät kohdat a, c, d ja e.
2. Suuntaavaan valintaan liittyvät kohdat a, c, e ja g.
3. Hajottavaan valintaan liittyvät kaikki kohdat, erityisesti b ja f.

4. Superrotat

Varfariini tappoi aluksi kaikki sitä syövät rotat. Joillakin rottapopulaation yksilöillä oli parempi kyky sietää myrkkyä, joten ne jäivät henkiin. Nämä henkiin jääneet yksilöt lisääntyivät ja myös niiden jälkeläisillä oli kyky sietää varfariinia. Näin uusi populaatio kehittyi hyvän myrkynsietokyvyn omaavista yksilöistä. Ihminen aiheutti näin suuntaavaa valintaa rottapopulaatiossa. Sama ilmiö voidaan havaita tautibakteereilla, joille kehittyi antibiootteja kestäviä kantoja (antibioottiresistenssi).

5. Valinta ohjaa evoluutiota

a. Luonnonvalinta suosii kulloisiinkin olosuhteisiin parhaiten sopeutuvia (kelpoisimpia) yksilöitä. Luonnonvalinta toimii eri tavoin vakaisissa ja muuttuvissa olosuhteissa. Luonnonvalinta voi olla tasapainottavaa, suuntaavaa tai hajottavaa.

Tasapainottava luonnonvalinta:

- tapahtuu, kun olosuhteet pysyvät pitkään muuttumattomina
- luonnonvalinta karsii tietyn ominaisuuden suhteen keskiarvosta poikkeavia äärityyppisiä
- tasapainottava luonnonvalinta suosii ominaisuuksiltaan keskivertoja yksilöitä
- muuntelun määrä pysyy populaatiossa joko samana tai vähenee
- esimerkiksi linnuilla parhaan pesintätuloksen eli eniten poikasia, jotka kehittyvät aikuisiksi, tuottaa yleensä lajille keskimääräisen munaluvun poikue.

Suuntaava luonnonvalinta:

- esiintyy, kun populaation elinympäristössä tapahtuu muutos yhteen suuntaan
- esimerkiksi ilmaston muuttuessa lämpimämmäksi tai populaation muuttaessa uudelle alueelle
- luonnonvalinta alkaa suosia näihin muuttuneisiin olosuhteisiin parhaiten sopeutuvia yksilöitä
- toisen ääripään yksilöt karsiutuvat populaatiosta
- suuntaavan luonnonvalinnan seurauksena populaation geenikoostumus muuttuu ja aikaisemmin harvinaisena esiintyneet piirteet yleistyvät
- esimerkiksi teollisuusmelanismi perhosilla tai antibioottiresistenssi bakteereilla.

Hajottava luonnonvalinta:

- tapahtuu, kun olosuhteet populaation elinalueella muuttuvat kahteen eri suuntaan
- esimerkiksi suuressa, laajalla alueella esiintyvässä populaatiossa
- muutoksen tapahduttua populaation eri osiin vaikuttavat erilaiset valintapaineet
- hajottava luonnonvalinta suosii populaation ominaisuusjakauman molempia ääripäitä
- lisää muuntelua populaation sisällä
- keskivertotyyppit karsiutuvat
- populaatio voi ajan kuluessa jakaantua toisistaan eroaviksi osapopulaatioiksi ja näistä voi vähitellen kehittyä omia lajejaan.

b. Valintatyyppien diagrammit, katso oppikirja s. 81

6. Siementen muuntelu

- siemenissä esiintyy muuntelua, jonka aiheuttavat erilaiset alleelit
- muuntelua aiheuttavat suvullinen lisääntyminen ja mutaatiot
- siemenet ovat hieman eri värisiä
- muuntelu periytyy seuraaville sukupolville
- siemeniä syövät linnut valitsevat ravinnokseen taustasta parhaiten erottuvat siemenet
- siementen väri toimii näin suojaväriä
- mitä paremmin siemen sulautuu taustaan, sitä vaikeampi siemensyöjien on saada se saaliikseen
- tapahtuu suuntaavaa valintaa eli populaatiosta jää kasvamaan ne siemenet, jotka parhaiten sulautuvat maaston väreihin
- vähitellen muodostuu toisistaan eroavia populaatioita
- populaatioiden välillä tapahtuu geenivirtaa eli kasvien siitepölyä kulkeutuu populaatiosta toiseen
- esimerkissä on kyse mikroevoluutiosta eli saman lajin eri populaatioiden välisistä eroista

7. Kelpoisuus

- a. Tiikerillä numero 4 eli Tyronella on paras kelpoisuus.
- b. Tyronen jälkeläisistä eniten eli 19 on selvinnyt lisääntymisikään saakka.

8. Luonnonvalinta ja eläinten käyttäytyminen

a. Lintujen muuttokäyttäytyminen on sopeutuma talven ankariin olosuhteisiin. Kesällä pohjoisessa riittää ravintoa esimerkiksi hyönteissyöjille, mutta talvella niille ei ole ravintoa. Muuttokäyttäytymiseen liittyy sekä perittyjä että opittuja käyttäytymismalleja.

b. Haittoja:

- muuttomatalla on useita riskejä: ihminen, muut pedot, suurten vesistöjen ylittäminen ym.
- muuttomatka vaatii runsaasti energiaa

Etuja:

- pohjoisessa on kesällä runsaasti ravintoa kasvattaa poikaset aikuiseksi
- muuttamalla talveksi lämpimään linnut takaavat ravinnonsaannin ja välttävät pakkaset

Muuton käynnistyminen:

- päivien lyheneminen saa aikaan hormonien erityksessä muutoksia
- myös sää vaikuttaa: kylmeneminen, tuulen suunta jne.
- kasvattavat ihonalaista rasvakerrosta, huolehtivat höyhenpeitteestään
- kokoontuvat parviin
- linnut suunnistavat maan magneettikentän, luonnonmaantieteellisten rakenteiden (rannikkolinja, vuoristot) sekä tähtien ja myös esim. hajuaistinsa avulla

c. Ilmaston lämpeneminen ja lisääntynyt ravinnon määrä, talviruokinta, joidenkin lajien paksu höyhenpeite ja rasvakerros sekä mahdollisuus valita parhaat pesäpaikat keväällä houkuttelevat osaa muuttolinnuista jäämään Suomeen.

9. Muuntelun tutkiminen

a. Tutkimussuunnitelmassa tulee olla seuraavat asiat:

- tutkimuksen tausta: mitä tiedät asiasta etukäteen ja mahdollisesti aikaisemman tutkimuksen esittely
- tutkimuksen tavoitteet
- tutkimuskysymykset
- tutkimusmenetelmät ja miten aineisto kerätään sekä aineistojen käsittely
- työsuunnitelma

Oikeassa tieteellisessä tutkimussuunnitelmassa olisi lisäksi:

- rahoitussuunnitelma
- julkaisusuunnitelma
- arvio tutkimustulosten hyödyntämismahdollisuuksista sekä yhteiskunnallisesta merkityksestä

b. Tutkimustehtävä, ei valmista vastausta.

10. Auringonkukan siementen muuntelu

Tutkimustehtävä, ei mallivastausta.

Tehtävien vastaukset s. 97-99

1. Väittämiä evoluutiosta

- a. Virheellinen. Lajiutuminen alkaa populaation geenikoostumuksen muuttumisella. Geenikoostumus muuttuu sellaiseen suuntaan, joka tuottaa populaation yksilöille parhaan mahdollisen sopeutumisen vallitseviin oloihin. Sopeutumista tapahtuu jatkuvasti.
- b. Virheellinen. Evoluutio johtaa kuhunkin elinympäristöön parhaiten sopeutuviin muotoihin. Evoluutiolla ei ole päämäärää, vaan ympäristön muutokset johtavat sopeutumiseen.
- c. Virheellinen. Lajit muuttuvat jatkuvasti, mutta eri nopeudella. Lajiutumisen nopeuteen vaikuttavat ympäristötekijöiden pysyvyys tai niiden nopea muuttuminen. Suurten muutosten, kuten valtaviin tulivuorenpurkausten tai meteoriittitörmäysten, seurauksena tapahtuu yleensä nopeaa lajiutumista. Jotkut lajit ovat kuitenkin säilyneet muuttumattomina miljoonia vuosia.
- d. Virheellinen. Sattuma vaikuttaa erityisesti pienissä populaatioissa. Sattuman seurauksena jotkut alleelit säilyvät populaatioissa, vaikka niillä ei olisi luonnonvalinnan kannalta paras kelpoisuus.
- e. Virheellinen. Evoluutio johtaa yleensä elinympäristöönsä parhaiten sopeutuneiden lisääntymiseen.
- f. Virheellinen. Monien nykyisten lajien kantamuodot ovat kuolleet sukupuuttoon jo kauan sitten. Joidenkin lajien kantamuodot voidaan jäljittää tarkastikin.
- g. Oikein. Mutaatioiden seurauksena populaatioon muodostuu uusi alleleja. Suvuttomasti lisääntyvillä eliöillä mutaatiot ovat ainoa evoluutiotekijä. Suvullisesti lisääntyvillä eliöillä sukusolujen muodostumisen ja yhtymisen sattumanvaraisuus luo uusia ominaisuusyhdistelmiä.
- h. Oikein. Suvullinen lisääntyminen tuottaa uusia ominaisuusyhdistelmiä.

2. Isolaatiotekijät eli lisääntymisestä

- a. Intiannorsun ja afrikannorsun lisääntymisen keskenään estää maantieteellinen risteytymisestä eli Intian valtameri. Meren lisäksi tässä tapauksessa maantieteellistä isolaatiota aiheuttavat vuoristoalueet ja laajat aavikot. Yhteisestä kantalajista on pitkän ajan kuluessa muodostunut kaksi lajia. Ne eivät enää lisäänty keskenään.
- b. Kiiruna ja riekko elävät maantieteellisesti samoilla alueilla, mutta niiden suosimat elinympäristöt tuntureilla ovat erilaisia. Kiiruna suosii avoimia paljakkaluoteita, kun taas riekko asuu tunturin alemmissa osissa koivu- ja havumetsissä. Niiden soidinkäyttäytyminen poikkeaa toisistaan. Niiden soidinlento on erilainen ja koirailta on erivärinen soidinpuku. Näistä syistä ne eivät yleensä risteydy keskenään.

- c. Silliä esiintyy Pohjois-Atlantilla ja Pohjanmerellä, silakkaa Itämerellä. Silli ja silakka kutevat eri aikaan. Kapeat Tanskan salmet toimivat lisäksi maantieteellisenä isolaatiotekijänä. Myös Itämeren alhainen suolapitoisuus on isolaatiotekijä. Monet tutkijat pitävät kuitenkin silliä ja silakkaa samana lajina. Silakka on tämän mukaan sillin pienikokoinen alalaji.
- d. Kotieläiminä käytetyt hevonen ja aasi ovat lähilajeja. Ne saadaan risteytymään keskenään. Jälkeläinen, muuli, on lisääntymiskyvytön. Tämä johtuu hevosen ja aasin erilaisista kromosomistoista. Lajiristeymä ei tuota normaaleja sukusoluja.

3. Norpan lajiutuminen

- a. Itämeren ja Saimaan norppapopulaatiot joutuivat erilleen toisistaan. Niiden välille muodostui maantieteellinen isolaatio. Näin niiden välinen geenivirta katkesi. Kummassakin populaatiossa esiintyi muuntelua. Erityisesti Saimaalle loukkuun jääneessä populaatiossa myös sattumalla oli osuus myöhempään kehitykseen (perustajavaikutus). Luonnonvalinta suosi Itämerellä hieman erilaisia ominaisuuksia kuin Saimaalla. Ympäristötekijöitä, jotka vaikuttivat ovat esimerkiksi: Itämeren vähäinen suolapitoisuus, Saimaan suolaton vesi, veden sameus ja kirkkaus, erilainen ravinto, erilaiset talviolosuhteet. Erilaiset ympäristötekijät aiheuttavat erilaisia valintapaineita.
- b. Voidaan tutkia rakennetta (turkin väritys, ruumiin muoto, viiksikarvat jne.), käyttäytymistä, DNA:ssa olevia eroja. Periaatteessa voitaisiin risteyttää tutkittavien populaatioiden yksilöitä. Jos tämä voitaisiin tehdä, risteytyminen ei onnistuisi (tai jälkeläiset eivät olisi lisääntymiskelpoisia), jos yksilöt olisivat eri lajia.

4. Malawi-järven ahvenet

- a. Kantalaji asutti koko järven satoja tuhansia vuosia sitten, mutta vedenpinnan lasku aiheutti järven jakautumisen useiksi pieniksi järviksi. Näiden välille syntyi maantieteellinen isolaatio, mikä esti niiden välisen geenivirran.
Kalapopulaatioissa ilmeni yksilöiden välistä perinnöllistä muuntelua. Muuntelua saavat aikaan mutaatiot ja suvullinen lisääntyminen.
Luonnonvalinta vaikutti järvissä eri tavoin, koska ne olivat ympäristöoloiltaan hieman erilaisia. Luonnonvalinnan seurauksena populaatiot kehittyivät eri järvissä erilaisiksi. Pienissä populaatioissa myös sattumalla on suuri merkitys populaation kehitykseen (pullonkaulailmiö, perustajavaikutus). Sukupuolivalinta vaikutti huomiota herättävien väritysten yleistymiseen.
- b. Maantieteellisen isolaation lisäksi lisääntymisesteenä voivat toimia erilaiset lisääntymisaikat, erilaiset lisääntymispaikat (matala/syvä vesi), erilaiset kuturituaalit tai sukusolut voivat olla yhteensopimattomia.

- c. Saman lajin yksilöt lisääntyvät luonnossa keskenään ja tuottavat lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä eli risteyttämällä lajeja keskenään. Myös DNA - tutkimukset.

5. Endeemisiä lajeja

- a. Endeemisellä eli kotoperäisellä lajilla tarkoitetaan tietyllä, suppealla alueella asuvaa lajia. Niitä ei tavata missään muualla.
- b. Tällaiset saaret ovat pitkään olleet eristyneinä, joten niillä asuvien eliöiden populaatioihin ei ole tullut muuttoliikkeen mukana uusia alleeleja. Myös olosuhteet ovat ajan kuluessa kehittyneet omaan suuntaansa.
- c. Endeemisten lajien kehittyminen on seurausta joko suuntaavasta tai hajottavasta luonnonvalinnasta. Maantieteellinen isolaatio on estänyt geenivirran. Eliöt ovat sopeutuneet eristyksissä olevan alueen luonnonoloihin. Myös sattuma on voinut vaikuttaa pienissä populaatioissa.

6. Liskojen evoluutiota tutkimassa

- a. Tutkimuksessa selvitettiin, mitkä tekijät vaikuttavat lajien evoluutioon ja miten nopeasti muutokset ovat havaittavissa.
- b. Tutkimuksessa siirrettiin liskoja asumattomille saarille, joissa ei aiemmin esiintynyt kyseistä liskolajia. Tutkijat mittasivat useiden sukupolvien ajan muun muassa liskojen jalkojen pituutta.
- c. Tutkimuksessa havaittiin, että liskojen jalkojen pituudessa oli tapahtunut muutoksia. Liskojen takajalkojen pituus oli pienempi kuin alkuperäisen populaation. Lisäksi havaittiin, että perinnöllinen muuntelu oli siirrettyissä populaatioissa pienempää kuin alkuperäisessä populaatiossa.
- d. Tutkimukseen osallistuvat liskot valittiin sattumanvaraisesti erään saaren liskopopulaatiosta. Näin oli sattumanvaraista, mitkä alleelit olivat siirrettävien liskojen perimässä.
- e. Perustajanvaikutus näkyi tutkimuksessa siinä, että niillä saarilla, jonne siirrettyjen liskojen raajat olivat alun alkaen pitkiä, ne olivat myös neljän vuoden kuluttua pidemmät kuin muilla saarilla. Myös perinnöllinen muuntelu oli pienempää saarilla, joille liskot oli siirretty kuin alkuperäisellä saarella.
- f. Uudet saaret olivat karumpia kuin saari, jossa alkuperäinen populaatio asui. Luonnonvalinta suosi yksilöitä, joiden raajat olivat lyhyempiä. Todennäköisesti ne pääsivät liikkumaan paremmin karussa ympäristössä.

7. Hylkeiden evoluutio

- a. Merileijonapopulaatiossa oli runsaasti muuntelua, joka ilmeni esimerkiksi erivärisinä yksilöinä. Luonnonvalinta toimii siten, että parhaiten kulloisiinkin ympäristöoloihin sopeutuneet yksilöt tuottavat eniten jälkeläisiä.
- b. Metsästyksen seurauksena populaatio pieneni hyvin pieneksi. Metsästys toimi samalla tavalla kuin suuntaava valinta. Pieneen populaatioon jäi vain osa alkuperäisen populaation alleelikoostumuksesta.
- c. Metsästyksen seurauksena tapahtui pullonkaulailmiö eli pienestä, jäljelle jääneestä populaatiosta muodostui nykyinen merileijonapopulaatio. Sattuman eli tässä tapauksessa metsästyksen, seurauksena uuden populaation alleelikoostumus on erilainen kuin alkuperäisen populaation.

Tehtävien vastaukset s. 70–71

1. Elämän synty

- a.** Kemiallisella evoluutiolla tarkoitetaan sitä, että alkumaapallon kaasukehässä olleista epäorgaanisista aineista (mm. vesihöyry, ammoniakki, metaani) syntyi orgaanisia yhdisteitä (nukleiinihappojen ja proteiinien rakenneosia).
- b.** Biologinen evoluutio tarkoittaa populaatioissa ja lajeissa tapahtuvaa kehitystä, joka johtaa niiden perinnölliseen muuntumiseen ja parempaan sopeutumiseen ympäristöönsä.
- c.** Nykymaapallolla ei voi tapahtua kemiallista evoluutiota, koska olosuhteet ovat täysin toisenlaiset. Ilmakehässä ei nykyisin ole kuin pieni osa alkumaapallon kaasukehässä olevista kaasuista, joten raaka-aineita kemialliseen evoluutioon ei olisi. Myöskään tarvittavia energialähteitä (voimakasta UV-säteilyä, meteoriittipommituksia, valtavia tulivuorenpurkauksia ja sähköpurkauksia) orgaanisten molekyylien synnylle ei enää ole.

2. Millerin ja Urey'n koe

- a.** He halusivat selvittää, voiko orgaanisia yhdisteitä syntyä oletetun alkumaapallon olosuhteissa.
- b.** Hypoteesi eli oletus oli, että synty on mahdollinen.
- c.** Koejärjestely perustui oletukseen alkuilmakehän tärkeimmistä kaasuista (vesihöyrystä, metaanista, ammoniakista, vedystä ja hiilimonoksidista) sekä voimakkaasta salamoinnista ja tulivuoritoiminnasta.
- d.** Viikon kuluttua havaittiin, että oli muodostunut aminohappoja, jota ovat proteiinien rakenneosia sekä muita yhdisteitä, kuten sokereita, rasva-aineita sekä DNA:n ja RNA:n rakenneosia (nukleotideja).
- e.** Oletukset alkumaapallon oloista ja lähtöaineista voivat olla väärinä.

3. Tärkeitä kehitysaskelaita

- a.** Fotosynteesin tuloksena vapautui happea, jota alkoi vähitellen kerääntyä myös maapallon kaasukehään. Happi reagoi kaasukehässä olleiden myrkyllisten kaasujen kanssa, jotka se seurauksena hävisivät. Yläilmakehään happimolekyyleistä alkoi syntyä UV-säteilyltä suojaava otsonikerros. Hapen ilmaantuminen kaasukehän muutti solun energianvapauttamisreaktioita: soluhengitys korvasi käymisen tehokkaampana tapana.

b. Monisoluisuus teki mahdolliseksi solujen välisen työnjaon, erikoistuneiden solukoiden ja kudosten sekä elimien ja elimistöjen kehittymisen. Eliöiden koko kasvoi. Osa soluista erikoistui sukusoluiksi ja suvullinen lisääntyminen pystyi alkamaan.

c. Eläin voi olla suurempi, kun sillä ei ole ulkoista kitiinipanssaria. Liikkuminen helpottui sisäiseen tukirankaan kiinnittyvien luiden ja lihasten vuoksi.

d. Kaikissa sukusoluissa on erilainen geenien yhdistelmä. Kun koiras- ja naaraspuolinen sukusolu yhdistyvät, on jälkeläinen uudenlainen yhdistelmä vanhempiensa geeneistä. Suvullisen lisääntymisen tuloksena syntyy enemmän perinnöllistä muuntelua ja luonnonvalinnalla on enemmän materiaalia. Eliöiden sopeutuminen muuttuviin olosuhteisiin on varmempaa.

4. Mitokondrioiden ja viherhiukkasten alkuperä

Molemmissa soluelimissä on omaa DNA:ta (omia geenejä). Molemmat pystyvät lisääntymään itsenäisesti jakautumalla solun sisällä. Molemmat ovat soluelimiksi isoja, bakteerien kokoisia.

5. Eläinten pääjaksoja

a. korvameduusa – polttiäiseläimet

b. ampiainen – niveljalkaiset

c. merisiili – piikkinahkaiset

d. tursas (mustekala) – nilviäiset

e. katkarapu – niveljalkaiset

f. juotikas – nivelmadot

6. Kambriikauden räjähdys

a. Mutaatiot ja niiden aikaansaama muuntelun lisääntyminen mahdollisti monien uudenlaisten ja erilaisten eläinten ilmaantumisen. Syntyi uusia ekologisia lokeroita, joihin erilaistui ja erikoistui lajeja. Kehittyi saalistajia ja saalistettavia. Saalistajille alkoi kehittyä ominaisuuksia (esim. kaksikytkisyys), joiden avulla ne liikkuivat nopeammin ja ketterämmin. Saalisteläimille taas alkoi kehittyä suojarakenteita (esim. ulkoinen tukiranka), jotka antoivat suojaa saalistajien hyökkäyksiä vastaan.

b. Luonnonvalinta vaikutti siten, että parhaiten menestyvät (kelpoisimmat) lajit saivat enemmän jälkeläisiä kuin kilpailevat lajit. Kelpoisimmat ja ekologiisiin lokeroihinsa sopeutuvimmat pystyivät lisääntymään tehokkaimmin. Näin heikoimmin sopeutuvat syrjäytyivät ja kuolivat mahdollisesti sukupuuttoon. Evoluution laki on ”sopeudu tai kuole”.

7. Elämän kehittyminen merissä

a. Raaka-aineita olivat alkumaapallon kaasukehässä olleet epäorgaaniset kaasut: metaani, ammoniakki, typpi, vesihöyry, vety ja hiilimonoksidi. Energialähteinä toimivat UV-säteily, meteoriittipommitukset, tulivuorenpurkaukset ja sähköpurkaukset. Epäorgaanisista raaka-aineista syntyi orgaanisia molekyylejä, nukleiinihappojen ja proteiinien rakennosia.

b. Alkusolu pystyi ottamaan ja poistamaan aineita ja sen sisällä oli perintöainesta, DNA:ta.

c. Fotosynteesin avulla eliö pystyi sitomaan Auringon valoenergiaa sokerin sisältämäksi kemialliseksi energiaksi ja käyttämään sitten valmistamaansa sokeria energialähteenään. Soluhengityksen kehittyessä eliö sai enemmän energiaa käyttöönsä, koska siinä energiaa vapautuu enemmän kuin käymisreaktiossa.

d. Tumallinen solu oli kooltaan paljon isompi kuin esitumallinen solu, joten sen sisälle mahtui enemmän erilaisia soluelimiä ja solun biokemialliset reaktiot saattoivat kehittyä monipuolisemmiksi. Monisoluisten eliöiden solut erilaistuivat eri tehtäviin, ja eliöiden rakenne ja elintoiminnot monipuolistuivat sekä koko kasvoi. Suvullinen lisääntyminen alkoi monisoluisten eliöiden kehittyttyä, kun osa soluista erilaistui sukusoluiksi. Suvullisen lisääntymisen tuloksena eliöiden perinnöllinen muuntelu lisääntyi, mikä edisti niiden sopeutumista ympäristöönsä.

e. Selkäjänteisille kehittyi sisäinen tukiranka, niiden liikkuminen tehostui luihin kiinnittyvien lihasten ansiosta, evät kehittyivät liikkumista ja kidukset vedessä hengittämistä varten. Ruumiinkoko kasvoi edelleen, koska jäykkä ja painava kitiinipanssari ei enää rajoittanut eläimen kokoa.

8. Tohvelieläimen elämää

a. Alkueliöiden kuntaan.

b. Endosymbioositeoria tarkoittaa sitä, että viherhiukkaset ja mitokondriot ovat alun perin olleet itsenäisiä bakteereita. Kun isompi solu otti niitä sisäänsä, ne eivät hajoineet vaan jäivät osaksi solua. Molemmat osapuolet hyötyivät toisistaan: isäntäsolu tarjosi bakteereille ”kodin”, viherhiukkaseksi muuntunut bakteeri antoi isäntäsolulle fotosynteesissään valmistamaansa sokeria ja mitokondrioksi muuntunut bakteeri soluhengityksensä vapautunutta energiaa. Koska *Paramecium bursaria* ei hajota sisälleen ottamiaan viherleviä ja koska molemmat osapuolet hyötyvät toisistaan, on niiden yhteiselo todiste endosymbioositeorian puolesta.

c. *Paramecium bursaria* -yksilöiden välillä on ollut muuntelua: Osa yksilöistä on ottanut viherleviä sisälleen ja osa ei. Viherleviä sisälleen ottaneilla yksioilla oli paras kelpoisuus, koska ne saivat enemmän ravintoa (viherlevien valmistama sokeri) ja ne pystyivät lisääntymään tehokkaammin. Suuntaava valinta suosi viherleviä sisälleen ottavia yksilöitä, ja ilman viherleviä eläneet yksilöt karsiutuivat huonomman kelpoisuutensa takia pois.

Tehtävien vastaukset s. 119–120

1. Kehitysjärjestys

Syanobakteerit, viherlevät, sammalet, sanikkaiset, paljassiemeniset, koppisiemeniset.

2. Kasvilajeja

- a. Kuusi
- b. Rahkasammal ja kallioimarre (saniainen).
- c. Kuusella ja haavalla.
- d. Päivänkakkara ja haapa.
- e. Rahkasammal.

3. Avainsopeumat

- a. Siementen sisältämä vararavinto ja kestävä kuori tehostivat lisääntymistä.
- b. Monet eläimet söivät hedelmiä ja näin niiden sisältämät siemenet levisivät eläinten ulosteiden mukana tehokkaasti uusille kasvupaikoille.
- c. Sienijuuri auttoi kasveja veden ja ravinteiden otossa ja sen avulla kasvit selviytyivät karummissakin kasvupaikoissa
- d. Siitepölyhiukkaset (kasvien koiraspuoliset sukusolut) kestävät kuivuutta ja leviävät tuulen ja pölyttäjien avulla helposti ja tehokkaasti.
- e. Juuren avulla kasvi pystyi ottamaan vettä ja ravinteita. Kiinnitti kasvin alustaansa.
- f. Johtosolukko tehosti veden, ravinteiden ja fotosynteesin tuotteiden kuljetusta kasvin sisällä. Edellytys kasvien koon kasvulle.

4. Kasvien evoluutio

- a. Sammalia, sanikkaisia (kortteet, saniaiset, liekokasvit) ja paljassiemenisiiä.
- b. Lisääntymisrakenteena kukka. Tehokas suvullinen lisääntyminen, joka lisää perinnöllistä muuntelua jälkeläisissä.

c. Juuret veden ja ravinteiden ottoon, johtosolukko aineiden kuljetukseen, tukisolukko pitämään kasvia pystyssä ja nostamaan kasvin valoon, ilmaraot veden haihduttamiseen.

5. Putkilonkasvin lehti

1. Lehden yläpinnan pintasolukko. Pintasolukkoa on kasveilla lehtien ja muidenkin rakenteiden suojana. Pintasolukon soluissa ei yleensä ole viherhiukkasia. Monilla kuivilla kasvupaikoilla kasvavilla kasveilla pintasolukon päällä on haihtumista vähentävä vahakerros.

2. Yhteyttämisolukko on pintasolukon alla. Sen soluissa on runsaasti viherhiukkasia, joissa fotosynteesi tapahtuu. Fotosynteesissä auringon valoenergia sitoutuu vedestä ja hiilidioksidista valmistuvaan glukoosiin. Fotosynteesissä vedestä vapautuu happea.

3. Ilmaraot, joita huulisolut ympäröivät. Ilmarakojen avulla kasvit ottavat ilmasta hiilidioksidia ja vapauttavat fotosynteesissä syntynyttä happea ilmaan. Ilmarakojen avulla kasvit haihduttavat ottamaansa vettä vesihöyrynä ilmaan. Veden nousu juurista lehtiin perustuu suurelta osin ilmarakojen kautta tapahtuvaan veden haihtumiseen (haihtumisimu). Ilmaraot ovat useimmiten lehtien alapinnalla. Jos vedestä on puutetta, ilmaraot sulkeutuvat. Kuivien alueiden kasveilla ilmaraot ovat "kuopissa" ja usein myös karvojen ympäröimiä haihtumisen vähentämiseksi. Yöllä ilmaraot sulkeutuvat, koska fotosynteesi lakkaa valon puutteesta. Kelluslehtisillä vesikasveilla ilmaraot ovat lehden yläpinnalla.

4. Lehtisuoni. Lehtisuonet ovat lehtiin saakka ulottuvia johtojäniteitä eli veden, ravinteiden ja yhteyttämistuotteiden kuljetukseen kehittyneitä putkimaisista soluista muodostuneita rakenteita. Johtojänne rakentuu nila- ja puuosasta.

6. Kukkakasvit ja hyönteiset

a. Hyönteispölytyksestä. Siitepölyä takertuu kimalaisen turkkiin ja kulkeutuu sen mukana kukasta toiseen.

b. Siitepölyhiukkanen kulkeutuu emin luotille ja siitä kasvaa putki emin sisään. Toinen siitepölyhiukkasen tumista hedelmöittää emin sisällä (sikiäimessä) olevan munasolun, josta kehittyy kasvin alkio. Toinen tuma hedelmöittää niin sanotun keskussolun, josta kehittyy vararavintoa eli siemenvalkuaista. Emin sikiäimen kalvosta kehittyy siemenen kuori.

c. Kukkakasvien ja hyönteisten vuorovaikutussuhteen kehittymistä kutsutaan koevoluutioksi. Sekä hyönteisille että kukille on kehittynyt rakenteita, joiden avulla kasvien pölytys onnistuu. Molemmat osapuolet hyötyvät. Hyönteiset saavat kukista mettä ja siitepölyä ravinnokseen.

7. Maaelämän edut ja haasteet

a. Maalla oli runsaasti vapaata elintilaa. Valoa yhteyttämiseen oli runsaasti. Kallioperästä oli jo syntynyt rapautumalla kasvien tarvitsemia epäorgaanisia ravinteita, ilmakehässä oli riittävästi hiilidioksidia yhteyttämiseen.

b. Painovoiman vaikutus - vesi ei enää kannatellut (tukirakenteet). Riittävä veden saanti yhteyttämistä ja solunestejännitystä varten (juuret). Kasvualustassa kiinni pysyminen (juuret). Kuivumisen estäminen (pintasolukoiden rakenteet). Veden haihduttaminen (ilmaraot).

8. Elämän kehityksen käännekohtia

a. Lämpö, riittävä kosteus ja hiilidioksidin runsaus mahdollistivat sammalia kookkaampien kasvien, sanikkaisten, kehittymisen. Niille kehittyivät juuret, varren tukirakenteet ja johtosolukot sekä sammalia runsaampi itiöidentuotto ja selkeä sukupolvenvuorottelu.

b. Paljassiemeniset kasvit kehittyivät. Niiden neulasmaiset, kovapintaist lehdet kestivät kuivempia olosuhteita ja lisääntymistä varten kehittyi siitepöly ja emikukat. Siemenet kestivät hyvin kuivia kausia ja levisivät tehokkaasti tuulen avulla.

c. Koppisiemeniset kehittyivät. Niiden kehitys oli alkanut jo aiemmin, ja niiden siemenet säilyivät itämiskykyisinä paksujen siemenkuorten sisässä ilmaston viilenemisestä huolimatta. Koppisiemenisten lisääntyminen oli varmempaa kuin paljassiemenisien, koska hyönteiset tai muut eläimet suorittivat ”täsmäpölytyksen”. Siemenet kehittyvät paksun siemenkuoren suojassa ja usein siementen ympärille kasvaa värikäs ja ravintoa sisältävä hedelmä, joka houkuttelee eläimiä syömään niitä, ja näin siemenet leviävät tehokkaasti uusille alueille. Koppisiemenisten siemenissä on yleensä enemmän vararavintoa kuin paljassiemenisien siemenissä.

9. Kukan tutkiminen

Tutkimustehtävä, ei valmista vastausta kohtiin a ja c.

b. Heteet tuottavat siitepölyä, emin sikiäimen sisällä on munasolu, terälehdet houkuttelevat pölyttäjiä kukkaan ja verholehdet suojaavat kukkaa.

10. Veden ja ravinteiden nousu

- a.** Tulppaani, narsissi ja muut kukkakasvit, paljassiemeniset sekä sanikkaiset ovat putkilokasveja. Niillä on veden, ravinteiden ja yhteyttämistuotteiden kuljetukseen erikoistuneita rakenteita, johtojänteitä. Värjätty vesi kulkee johtojänteitä pitkin kukkaan saakka ja värjää kukankin (ainakin ohuina ”suonina” näkyvät kukassa kulkevat johtojänteet).
- b.** Ravinteet kulkevat väriaineen tavoin veteen liuenneina kasvin eri osiin (juurista lehtiin ja kukkiin).
- c.** Haihtumisimu on tärkein veden nostaja kasveissa. Johtojänteen putkiloissa kulkevista vesilangoista haihtuu erityisesti kasvien lehtien ilmaraoissa vesimolekyylejä ja samalla juurten ottamat vesimolekyylit liittyvät putkiloissa kulkeviin vesilankoihin. Vesimolekyylien välinen koheesiovoima pitää vesilangan koossa. Veteen liuotettu väriaine siirtyy haihtumisimun vaikutuksesta kasvin lehtiin ja kukan terälehtiin.
- d.** Kapillaari-ilmiö on kapeissa putkissa toimiva nesteen pintajännityksestä johtuva nesteen nousuvoima. Auttaa tässäkin kokeessa veden ja siihen liunneen väriaineen nousua kukkaan saakka. Tehostaa siis haihtumisen vaikutusta.

Tehtävien vastaukset s. 129–130

1. Elämän kehitysjärjestys

Arkit, alkueliöt, sienieläimet, niveljalkaiset, kalat, sammakkoeläimet, matelijat + paljassiemeniset kasvit, linnut + nisäkkäät + koppisiemeniset kasvit.

2. Avainsopeutumukset

a. Keuhkojen avulla maalla elävät selkärangaiset kykenevät ottamaan soluhengityksessä tarvitsemansa hapen ilmasta.

b. Eläinalkion ei tarvitse enää kehittyä vapaasti vedessä, vaan vesiympäristö on siirretty munan sisälle. Munan kehittyminen alkion kehitysympäristöksi teki mahdolliseksi eläinten sopeutumisen täydellisesti maaelämään. Vesi estää alkion kuivumista ja suojaa sitä kolhuilta. Munankuori suojaa alkioita ja sen kautta alkio saa happea.

c. Poikanen voi kehittyä kohdussa pitkälle, mikä lisää sen mahdollisuutta selvitä. Istukan ja siihen liittyvän napanuoran kautta poikanen saa emolta happea ja ravintoa ja poistaa omia kuona-aineitaan emon verenkiertoon.

d. Sukusolut eivät joutuneet tekemisiin ulkoilman kanssa, joten lisääntyminen muuttui vedestä riippumattomaksi. Tämä mahdollisti osaltaan eläinten siirtymisen maalle, mutta vaati onnistuakseen muutoksia eläinten rakenteissa, jotta siittiö solut olisi saatu vietyä naaraan elimistöön. Esimerkiksi nisäkäskoiraille kehittyi siitin.

e. Elimistön lämpötilan pysyminen samana mahdollisti eläinten levittäytymisen alueille, jossa lämpötila on alhainen ja vuoden- tai vuorokaudenaikaiset lämpötilaerot ovat suuria. Ominaisuutta esiintyy nisäkkäillä ja linnuilla sekä osalla sukupuuttoon kuolleilla dinosauureilla. Tasalämpöisyys vaatii elimistössä lämmönsäätelyjärjestelmän, jonka avulla ruumiinlämpö pidetään tasaisena muuttuvissa ympäristön lämpötilaoloissa.

c. Lintujen lentokyky auttoi niitä levittäytymään lähes kaikkialle maapallolla. Lisäksi lentotaito mahdollisti sopeutumisen vuodenaikojen vaihteluun, kun linnut pystyivät tarvittaessa muuttamaan nopeasti suotuisampaan elinympäristöön.

3. Vedestä maalle

Noin 400 miljoonaa vuotta sitten maapallon ilmakehässä oli happea lähes samassa määrin kuin nykyisinkin (n. 20%) ja UV-säteily vähentynyt (otsonikerroksen vahvistuttua). Ilmassa oli kasveille myös riittävästi hiilidioksidia. Ilmasto oli lämmin ja kostea. Maapallolla vallitsivat suotuisat olosuhteet eliöiden siirtymiseksi kuivalle maalle: tarjolla oli runsaasti sopivia elinympäristöjä esim. matalilla vuorovesirannoilla.

Sammalet lienevät varhaisimpia kuivan maan tuntumaan siirtyneitä kasveja. Niitä kasvoi vuorovesirannoilla ja ne ilmeisesti polveutuivat viherlevistä. Varhaisten sammalten tuki- ja johtorakenteet olivat alkeelliset. Sammalten lisääntyminen itiöistä vaatii edelleenkin kosteita olosuhteita.

Ensimmäiset varsinaiset maakasvit olivat sanikkaisia. Niitä tunnetaan jo n. 400 miljoonan vuoden takaa (devonikaudelta). Siirtyminen maaelämään edellytti veden ja siihen liuenneiden aineiden tehokkaaseen ottoon maaperästä erikoistuneen juuriston, veden ja ravinteiden siirtoon soveltuvan johtosolukon (johtojänteet, jossa puu- ja nilaosa), kuivuutta kestävän pintasolukon ja valoon kurottumista helpottavan tukisolukon kehittymistä.

Ensimmäisiä eläinkunnan edustajia, jotka kehittyivät maaeläimiksi, olivat selkärangattomat niveljalkaiset (skorpioneja ja tuhatjalkaisia). Näille oli kehittynyt kuorellinen muna sekä haihtumista estäviä rakenteita.

Varhaisimmat maalle siirtyneet selkärangattomat olivat salamantereita muistuttavia sammakkoeläimiä, jotka kehittyivät varsieväkalojen kaltaisista muodoista vuorovesirannoilla (n. 360 miljoonaa vuotta sitten devonikaudella). Parillisista evistä kehittyivät sammakkoeläinten parilliset etu- ja takaraajat, keuhkot ja iho toimivat hengityseliminä. Lisäksi niiden verenkierto kehittyi aikaisempaa tehokkaammaksi. Maaympäristö edellytti myös elimistöä kannattavan ja lihasten kiinnittymistä helpottavan tukirangan kehittymistä. Vaikka sammakkoeläinten lisääntyminen oli edelleen sidoksissa vesiympäristöön, ne pystyivät sopeutumaan ja valtaamaan laajalti kuivan maan ympäristöjä asuinalueikseen.

4. Nisäkkäiden avainsopeumat

YMPÄRISTÖN ASETTAMA HAASTE	AVAINSOPEUTUMAT YMPÄRISTÖN HAASTEeseen
liikkuminen ilman veden kannatusta	<i>neljä rajaa ja vahva tukiranka</i>
hapen saanti ilmasta	keuhkot
kuivumisen estäminen	iho ja karvapeite
munasolun hedelmöitys	sisäinen siitos
vesiympäristö kehittyvälle sikiölle	kohtu ja sikiökalvot
sikiön ravinnon saanti	istukka ja napanuora
poikasen ravinnonsaanti	nisät
lämpötilan vaihtelut	tasalämpöisyys

5. Lintujen evoluutio

a. Linnut polveutuvat todennäköisesti matelijoista. On löydetty liskolinnuksi nimetyn kanta-muodon fossiileja (kuva), joissa on matelijamaisia piirteitä ja toisaalta linnuille tyypillisiä ominaisuuksia, kuten sulkapeite.

b. Tyypillistä linnuille on esimerkiksi eturaajojen muuntuminen siiviksi ja korkea rintalasta, johon vahvat rintalihakset kiinnittyvät. Lisäksi linnuille on tyypillistä ihoa peittävä höyhen ja sulkapeite. Keuhkoista haarautuu hengitystä tehostavia ilmapusseja. Linnut munivat kalkkikuorisia munia. Lentämiseen vaadittavasta lihaskoordinaatiosta huolehtivat kookkaat pikkuaivot. 4-lokeroinen sydän mahdollistaa tasalämpöisyyden.

c. Lentokyky on kehittynyt ratkaisevasti paremmaksi kuin muilla selkärangkaisilla. Lähes esteetön liikkuminen on mahdollistanut uusien elinympäristöjen valloittamisen. Lintujen suunnistamiskyky on poikkeuksellisen kehittynyt, ja muutto lisääntymis- ja talvehtimisalueiden välillä on tehostanut ravintoresurssien käyttöä. Lentokyky mahdollistaa nopean pakenemisen ja myös saalistamisen ilmasta. Osa lajeista on menettänyt sekundaarisesti lentokyvyn ja kehittynyt esimerkiksi tehokkaiksi uimareiksi (pingviini) tai juoksijaksi (strutsi). Tasalämpöisyys on etu matelijoihin verrattuna, ja linnut selviävät kylmilläkin seuduilla.

d. Pingviinit ovat valloittaneet eteläisen pallonpuoliskon vesialueet, mm. Antarktiksien rannikot ja saaret. Siivettömiä lintuja kehittyi myös maalla (strutsit Afrikassa, emut Australiassa ja nandut Etelä-Amerikassa). Niiden kilpailuetuja ovat nopeus ja puolustautumiskyky. Osa on kehittynyt niin tehokkaiksi lentäjiksi, että ne laskeutuvat vain pesimään (tervapääskyt ja albatrossit). Pienet kolibrit juovat paikallaan lentäen kukkien mettä; ne ovat elintavoiltaan hyönteismäisiä. Amerikkalaisilla kolibreilla on omat ekologiset vastineensa eri mantereilla: mm. medestäjät Afrikassa ja Aasiassa. Osa linnuista pystyy älykkyyttä vaativaan oppimiseen ja esimerkiksi työkalujen käyttöön (mm. papukaijat).

6. Evoluutioon liittyvät geologiset maailmankaudet

- 1 – E Syanobakteerit alkoivat runsastua prekambrikaudella .
- 2 – C Trilobiitit alkoivat runsastua paleotsooisen kauden alussa kambrikaudella.
- 3 – D Sammalet edustivat ensimmäisiä maakasveja paleotsooisella maailmankaudella eli elämän vanhalla ajalla elämän siirtyessä maalle.
- 4 – A Hirmuliskot (matelijat) ja muut varsinaiset maaselkärangaiset alkoivat runsastua mesotsooisella maailmankaudella eli elämän keskiajalla.
- 5 – B Hevoseläimet ja muut nykyiset nisäkkäät kehittyivät kenotsooisella maailmankaudella eli elämän uudella ajalla.

7. Dinosauruksilta ja lentoliskoilta vapautuneet ekolokerot

Anurognathus

Hyönteisiä ravintonaan käyttävät lepakot muistuttavat hampaiden ja siipien rakenteelta anurognathuksia. Molemmat saalistavat myös ilmassa lentäviä hyönteisiä.

Monet hyönteissyöjälinnut muistuttavat anurognathusta. Erityisen paljon kuvan anurognathusta muistuttaa suurisilmäinen kehrääjä, joka pyydystää hämärässä näköaistinsa avulla yöperhosia.

Triceratops

Sarvikuonot ovat kavioläimiin kuuluvia suurikokoisia nisäkkäitä, jotka elävät Afrikassa ja Asiassa. Sarvikuonojen heimoon kuuluu viisi lajia, joista neljä on uhanalaista. Sarvikuonot ovat triceratopsin tapaan erittäin suuria kasvinsyöjiä, jotka käyttävät suuria sarviaan puolustautumiseen petoja vastaan. Sarvikuonourokset käyttävät sarviaan myös kiima-aikana taistellessaan naaraista. Triceratopsilla oli samoin kuin sarvikuonoilla suolistossa mutualistisessa suhteessa eläviä bakteereita, joiden ansiosta kasvien sisältämä selluloosa saatiin pilkottua ravinnoksi.

Laumakäyttäytymiseltään triceratopsia muistuttaa jakki, joka on Asiassa elävä suuri nautaeläin. Petojen uhatessa jakkilauma muodostavat kehän, ja suuret yksilöt estävät sarvillaan esimerkiksi susien pääsyn lauman keskellä olevien poikasten kimppuun.

Tehtävien vastaukset s. 140–142

1. Ihmisen evoluution vaiheet

	APINAIHMISET	VARHAISET IHMISET	NEANDERTALIN IHMINEN	NYKYIHMINEN
Milloin elivät?	7 milj.–1 milj. vuotta sitten	2,8 milj.–50 000 vuotta sitten	200 000–28 000 vuotta sitten	200 000 vuotta sitten–edelleen
Missä elivät?	Afrikka	Afrikka, Aasia	Lähi-Itä, Eurooppa	kaikki maanosat
Aivojen koko	500 cm ³	850–1100 cm ³	1500 cm ³	1350 cm ³
Liikkumisasento	pystyasento	pystyasento	pystyasento	pystyasento
Puhekyky	ei	alkeellinen puhekyky	alkeellinen puhekyky	puhekyky
Teknologia	ei varsinaisesti, oksien ja kivien käyttö	kyllä	kyllä	kyllä, kehittynyt teknologia
Ravinto	kasvi- ja liharavinto, liha raakana	kasvi- ja liharavinto, lihan kypsentyminen	kasvi- ja liharavinto	kasvi- ja liharavinto
Yhteisöllisyys	ei	kyllä	kyllä	kyllä kulttuurirevoluutio

2. Fossiilit kertovat

a. Kallot kertovat aivojen koon ja aivojen eri osien kehityksestä. Ihmisen evoluutiossa tärkeää on ollut otsalohkon koon kasvaminen.

b. Hampaiden rakenne ja niiden kuluneisuus kertovat ravinnonkäytöstä: onko syöty kasvipitoista ruokaa (kovia juuria jne.), raakaa lihaa vai onko opittu kypsentyttämään ruoka tulella.

c. Lantion luut kertovat liikkumisasennosta. Lisäksi lantion luista voidaan päätellä fossiilin sukupuoli. Miehillä on suhteessa kapeampi lantion aukko kuin naisilla.

3. Tärkeitä kehitysaskelia ihmisen evoluutiossa

- Käden kehitys: Puissa liikkumista helpottivat pitkät käsivarret sekä käden ja puristusotteen kehittyminen. Peukalon sijainti muita sormia vasten mahdollisti aluksi hyvän otteen oksista ja myöhemmin työkalujen käytön ja tarkkuusotteen.
- Pystyasento: Ilmaston kuivumisen seurauksena metsien pinta-ala pieneni ja savannit yleistyivät. Pystyasento oli parempi savanneilla liikkumiseen (pienempi energiakulutus, nähtiin kauemmaksi paremmin, elimistön ylikuumenemisvaara väheni). Kädet vapautuivat muuhun toimintaan (työkalujen, aseiden ja ravinnon kantamiseen). Metsästyksen seurauksena ravinto muuttui proteiinipitoisemmaksi ja enemmän energiaa sisältäväksi, minkä seurauksena aivot kasvoivat.
- Yhteisöllisyys: Laumassa eläminen vaati onnistuakseen kommunikaation (kielen) kehittymistä, ryhmässä metsästämistä ja muuta työnjakoa. Yhteisöllisyyden kehittyminen on ollut yhteydessä aivojen kehitykseen. Mahdollisti jälkeläisten pitkäaikaisen hoivaamisen, jolloin jälkeläiset jäivät entistä varmemmin henkiin

4. Nykyihmisen levittäytyminen

- a. Neandertalinihmisen kanssa.
- b. Pystyihmisen kanssa.
- c. Australiassa ja Amerikassa.
- d. Beringinsalmen kohdalla oli maakannas. Merenpinta oli normaalia alhaisemmalla tasolla, koska alueen pohjoisosissa vallitsi jääkausi. Vastaavasti Aasian eteläosien saarille oli helppo levittäytyä alkeellisillakin veneillä, koska merialue oli paljon nykyistä pienempi.

5. Luuston evoluutio

- a. Kaikki muut, paitsi suuri otsalohko.
- b. Kaikki muut, paitsi suuri otsalohko.
- c. Suuri otsalohko
- d. Kolmiulotteisesti liikkuva peukalo: Mahdollistaa tarkkuusotteen ja työkalujen tehokkaan käytön. Selkäranka kallon keskiosassa: Tämän seurauksena pää on tasapainossa pystyasennossa. Leveä lonkka: Pystyasennon edellytys (sisäelinten kannatus). Pienet kulmahampaat: Hampaiston muutos mahdollistaa siirtymisestä sekaravintoon. Suoraksi ojentuva polvi: Helpottaa tasapainon ylläpitämistä ja näin nopeuttaa liikkumista. Suuri otsalohko: Mahdollistaa aivojen suuren koon ja älykkään käyttäytymisen.

6. Ihmisen aikakausi

- a.** Ihmisen vaikutus maapalloon on todennäköisesti kasvanut niin valtavaksi, että sen jäljet näkyvät miljoonien vuosien päästä. Ihmisen vaikutus maapalloon on verrattavissa geologisiin luonnonvoimiin.
- b.** Holoseeni, joka on osa kvartaarikautta. Kvartaarikausi alkoi noin 65 miljoonaa vuotta sitten.
- c.** Ihminen on esimerkiksi metsästännyt useita lajeja sukupuuttoon tai aiheuttanut toimillaan eliölajien elinalueiden pienenemistä ja tätä kautta eri lajien sukupuuttoja tai uhanalaisuutta. Näitä toimia ovat esimerkiksi metsien kaataminen, soiden kuivattaminen, rakentaminen, ympäristömyrkyt ja ilmaston lämpenemisen aiheuttaminen hiilidioksidi- ja metaanipäästöin. Ihminen on myös muokannut monia elinympäristöjä esimerkiksi patoamalla jokia, muovaamalla maankuorta ja pirstomalla elinalueita. Lisäksi ihminen on muuttanut Maan säteilytasapainoa maanpintaa muokkaamalla. Myös ihmisen harjoittama jalostaminen on muuttanut eliölajeja. Osa lajeista on myös hyötynyt ihmisen toimista, sillä ihminen on edesauttanut niiden leviämistä.
- d.** Paleontologiassa joukkosukupuutto määritellään siten, että vähintään 75 prosenttia lajeista kuolee sukupuuttoon.
- e.** Se on yhden ainoan lajin aiheuttama. Ihmisen vaikutukset maapalloon ovat suuremmat kuin minkään muun lajin. Lajeja katoaa maapallolta tuhat kertaa nopeammin kuin koskaan ennen ihmisen tuloa maapallolle.

7. Yhteisiä piirteitä

- a.** Peukalo-etusormiote, sormien ja varpaiden pään lihastyyntyt, tarkat aistit, suuret aivot, hyvä oppimiskyky, sosiaalisuus ja huolehtiminen jälkeläisistä.
- b.** Pystyasento, suurikokoisuus, työkalujen käyttö, tavaroiden kuljettaminen käsillä, vähäinen karvapeite ja sekaravinto.
- c.** Puhekyky, ympärivuotinen seksuaalinen aktiivisuus, pitkäikäisyys, yhteisöllisyys, tietoisuus, kulttuurievoluutio.

8. Tulevaisuuden ihminen

Pohdintatehtävä, ei valmista vastausta.

Tehtävien vastaukset s. 152–154

1. Evoluution tutkiminen

- a. Kahden eri eläinryhmän piirteitä sisältävä fossiili. Esimerkiksi liskolintu.
- b. Tiettyinä, suhteellisen lyhyenä aikana, laajalla alueella eläneen eliön fossiili, jota voidaan käyttää apuna uusien fossiililöytöjen suhteellisessa iänmäärityksessä. Esimerkiksi monet ammoniittilajit.
- c. Samasta eliöstä löytyneet eri-ikäiset fossiilit, joiden avulla voidaan tutkia eliön asteittaista kehitystä. Esimerkiksi hevosen fossiilisarja.
- d. Suurissa molekyyliissä, kuten DNA:ssa, tapahtuvien muutosten avulla tehtävää sukupuun rakentamista. Perustuu olettamukseen, että DNA:ssa tapahtuu mutaatioita tasaisesti vakionopeudella. Esimerkiksi ihmisen alkuperää on selvitetty mitokondrioista löytyvän DNA:n avulla.
- e. Lajien tai yksilöiden vertailussa käytetty tunnistusmenetelmä. Menetelmä perustuu tarkkaan määritellyn DNA-jakson emäsjärjestyksen selvittämiseen.
- f. Eliön evoluution aikana merkityksensä menettämä elin tai ruumiinosa. Esimerkiksi valaiden raajojen surkastumat

2. Johtofossiilit

- a. Ne ovat syntyneet, sanikkaista lukuun ottamatta, eliöiden kuoltua ja haudauttua merenpohjan sedimenttikerrokseen. Ne ovat kivettyimiä tai valelmia. Sanikkainen on syntynyt kasvin kuoltua suoalueella tai matalassa vedessä. Se jäi puristukseen kovassa paineessa ja hapettomissa olosuhteissa.
- b. Kallioperä kuluu eri nopeudella eri osissa maapalloa muun muassa erilaisen ilmaston takia.
- c. Ammoniitti, koska sitä tavataan vain yhdestä kerrostumasta ja kaikilta alueilta.

3. Fossiililöydöt ja maakerrostumat

- a. 65 miljoonaa vuotta sitten
- b. 350 miljoonaa vuotta sitten
- c. 250 miljoonaa vuotta sitten
- d. 400 miljoonaa vuotta sitten
- e. Kalat yleistyvät jo 450 miljoonaa vuotta sitten, joten niiden ilmaantumista kuvaavaa maakerrostumaa ei näy kuvassa.

4. Fossiileja ja evoluution kulkuun vaikuttaneita tekijöitä

- a. Fossiilit ovat entisajan eliöstä poikkeuksellisissa olosuhteissa kivettymällä, valoksena, painaumalla tai muulla tavoin säilyneitä jäännöksiä. Fossiileja on säilynyt runsaasti eliöiden kovista rakenteista, mutta pehmytkudoksista niitä on syntynyt erittäin vähän
- b. Yhdestä kantamuodosta voi kehittyä kaksi linjaa isolaation ja hajottavan valinnan seurauksena, jos populaation eri osiin kohdistuu kahteen eri suuntaan ohjaavaa valintaa. Isolaatio voi myös johtaa kilpailukyvyltään heikomman eliöryhmän säilymiseen. Näin on käynyt Australian mantereella pussieläinten kehittyessä maantieteellisen eristyneisyyden seurauksena.
- c. Evoluution ”pysähtymisen” seurauksena on syntynyt eläviä fossiileja. Ne ovat eliöitä, jotka ovat pysyneet pitkään rakenteeltaan ja elintoinnoltaan suhteellisen samanlaisina. Elävät fossiilit, kuten varsieväkala, ovat niin hyvin sopeutuneet muuttumattomaan ympäristöönsä, että niihin ei ole kohdistunut suurta valintapainetta, jonka seurauksena ne olisivat kehittyneet suuremmin evoluution kuluessa edelleen. Kyseessä on siis tasapainottava valinta
- d. Sopeutumislevittäytymisellä tarkoitetaan sitä, että yhdestä kantalajista muodostuu suhteellisen lyhyessä ajassa useita uusia lajeja lajin sisäisen kilpailun seurauksena. Sopeutumislevittäytymistä tapahtuu suurten ekologisten muutosten jälkeen, jolloin vapaita ekologisia lokeroita on runsaasti. Kun lajille kehittyy jokin uusi avainsopeuma, mikä mahdollistaa uusien ekologisten lokeroiden valtaamisen erityisesti esimerkiksi leviämisen yhteydessä, voi tapahtua sopeutumislevittäytymistä. Näin on käynyt hevoseläinten kohdalla (yli 50 miljoonan vuoden aikana), kun pienistä viisivarpaisista eläimistä ovat kehittyneet nykypäivän hevoseläimet, joilla kaikilla on vain yksi varvas.

5. Lajien sukulaisuuden tutkiminen

a. Menetelminä on voitu käyttää rakenteen vertailua esim. luusto, kromosomiston vertailua: määrä ja raidoitus, DNA-koodia sekä fossiilisarjoja.

b. Kirahvin evoluutiossa kilpailu muiden savannipuiden lehvästöä syövien nisäkkäiden kanssa on johtanut erikoistumiseen. Kirahvi on erikoistunut hankkimaan ravintoa korkeista latvustoista. Populaatiossa esiintyy muuntelua, ja luonnonvalinta on suosinut pitkäkaulaisia yksilöitä savannilla lyhytkaulaisten kustannuksella. Selviämien kuivien kausien yli on ollut varmempaa, kun ravintokilpailua ei ole ollut muiden lajien kesken. Valinta on myös suosinut kookkaita, pitkäjalkaisia ja -kaulaisia yksilöitä näiden nopeuden ja puolustautumiskyvyn vuoksi: selviäminen ja jälkeläisten suojele pidoilta oli varmempaa. Kirahvin kellanruskea, täplikäs väritys on ehkä tarjonnut valintaedun savannipuustoon sulautumisessa, okapin juovikkuus puolestaan sademetsän varjoihin kätkeytymisessä.

c. Elävällä fossiililla tarkoitetaan kauan rakenteeltaan ja elintoiminnoiltaan muuttumattomana säilynyttä, edelleen elävää eliölajia. Muita eläviä fossiileita ovat varsieväkala, siili, tuatara ja neidonhiuspuu.

6. Tuhohyönteisten evoluutio

a. Hyönteismyrkkyjen käyttö lisääntyi vuodesta 1940 lähtien, mutta tasaantui 1980-luvulla (myrkyt tulivat tehottomiksi tai niiden käyttö kiellettiin). Resistenttien eli tuholaismyrkkyjä kestävien lajien määrä on lisääntynyt suhteessa paljon nopeammin 1950-luvulta lähtien. Hyönteisissä on tapahtunut erilaisia geenimutaatioita, ja jotkut yksilöt ovat mutaation tuloksena saattaneet saada vastustuskyvyn esimerkiksi DDT:tä vastaan. Kun DDT:tä on ryhdytty käyttämään, oli niillä hyönteisillä valintaetu, joilla oli kyseinen mutanttigeeni. Tällaiset hyönteiset saivat paljon jälkeläisiä (niillä oli paras kelpoisuus), ja ne tuhohyönteiset kuolivat, joilta kyseinen geenimutaatio puuttui.

b. Suuntaava valinta

c. Tuhohyönteiset lisääntyvät nopeasti, ja niiden sukupolvenväli on lyhyt. Jos yhdessäkin tuhohyönteisessä tapahtuu sellainen geenimutaatio, joka tekee siitä hyönteismyrkkyjä kestävä, mutaatio leviää nopeasti koko hyönteispopulaatioon.

7. Evoluutioaiheisia kysymyksiä

a. Fossiileista on mahdollista määrittää suhteellinen ja absoluuttinen ikä. Tämä on yleensä mahdollista, jos fossiilin löytökerrostuma tunnetaan. Mitä syvemmällä kerrostuma on niin sen vanhempi se yleensä on. Kerrostumien iät tunnetaan yleensä hyvin. Apuna voidaan käyttää myös johtofossiileita, jotka ovat suhteellisen lyhyenä aikana, laajalla alueella eläneiden eliön jäänteitä. Mikäli johtofossiili löydetään samasta kerroksesta ja sen ikä tunnetaan, voidaan päätellä saman kerrostuman muidenkin fossiilien ikä.

Mikäli johtofossiilia ei löydy, kerrostuman ikää tai fossiilin löytöpaikkaa ei tunneta, pyritään fossiilin ikä määrittämään radioaktiivisella iänmäärityksellä. Se perustuu radioaktiivisten aineiden muuttumiseen toisiksi aineiksi vakionopeudella. Fossiilin ikä voidaan selvittää mittaamalla radioaktiivisen aineen ja sen hajoamisen tuloksena syntyneen aineen määrät fossiilista.

b. Evoluutiota tapahtuu koko ajan ja erityisesti pienissä populaatioissa. Ehkä helpoin tapa on se havaita se sairaalabakteerien muuttuessa vastuskykyisiksi antibiooteille. Suuntaavan valinnan seurauksena runsas antibioottien käyttö johtaa aikaisempaa kestävämpien bakteerikantojen syntyyn.

c. DNA:n vertailu on itse asiassa paras keino lajien välisten sukulaisuuksien selvittämisessä. Mitä enemmän DNA:ssa on yhtäläisyyksiä sen läheisempää sukua ne ovat keskenään. Nykyisin eri eliölajeista tehdäänkin DNA-viivakoodeja vertailun helpottamiseksi.

d. Lintujen esi-isistä on jäänyt melko runsaasti fossiiliaineistoa, jonka avulla on pystytty selvittämään lintujen evoluutiota. Erityisen arvokasta aineistoa ovat välimuotofossiilit kuten liskolintu, jota pidetään matelijan ja linnun eräänlaisena välimuotona. Liskolinnulla oli matelijamaisia piirteitä kuten hampaat ja häntämäinen pyrstö. Lintumaista piirteitä sen sijaan oli höyhenpeite ja varpaiden asento. Yhteistä on myös matelijoiden ja lintujen alkionkehitys munassa.

8. Evoluution tutkimista laboratoriossa banaanikärpästen avulla

a. Tutkimuksessa selvitettiin, muuttuvatko banaanikärpäset paremmin nälkää kestäviksi, jos niitä pidetään ilman ravintoa.

b. Todennäköinen hypoteesi oli, että banaanikärpäspopulaatio muuttuu luonnonvalinnan seurauksena vähitellen paremmin nälkää sietäväksi.

c. Jotta voidaan tehdä luotettavia johtopäätöksiä saaduista tilastoista, täytyy yksilöitä olla runsaasti. Pienissä otoksissa sattumalla on suuri vaikutus saatuihin tuloksiin. Banaanikärpänen on sopiva tutkimuseläin, koska se tuottaa runsaasti jälkeläisiä ja nopeasti. Lisäksi lajia on helppo kasvattaa ja laboratoriokeet tuottavat vähemmän eettisiä ongelmia kuin esimerkiksi nisäkkäiden käyttäminen tutkimuksissa.

d. Kuudessakymmenessä sukupolvessa banaanikärpäspopulaation nälkäkestävyys kasvoi keskimäärin 20 tunnista 160 tuntiin. Lisäksi kärpäset muuttuivat isommiksi ja lihavimmiksi.

e. Nälänsietokyky banaanikärpäsellä on perinnöllinen ominaisuus. Banaanikärpäspopulaation yksilöiden nälänsietokyky vaihtelee eli populaatiossa esiintyy muuntelua. Kun ravintoa on tarjolla vähän, populaation kelpoisimpia yksilöitä ovat isoimmat ja lihavimmat, jotka sietävät parhaiten ravinnon puutetta. Luonnonvalinnan seurauksena kaikki populaation yksilöt alkoivat muuttua isommiksi ja lihavimmiksi, minkä seurauksena populaatio kykeni sopeutumaan muuttavaan ympäristöön. Muutos oli nopea.

f. Suuntaavasta valinnasta.