



BIOLOGIAN KOE 21.3.2014 HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

Alla oleva vastausten piirteiden ja sisältöjen luonnehdinta ei sido ylioppilastutkintolautakunnan arvostelua. Lopullisessa arvostelussa käytettävistä kriteereistä päättää tutkintotoimikunta.

Biologian ylioppilaskokeessa arvioidaan kokelaan biologisen ajattelun ja tietämyksen kehittyneisyyttä, kykyä esittää vaadittavat asiat jäsenmukaisesti ja oikealla tavalla asiayhteyteen sitottuna. Kokeessa arvioidaan kokelaan kykyä tarkastella ilmiöiden vuorovaikutus- ja syyseuraussuhteita. Peruskäsitteiden ja -ilmiöiden hallinnan lisäksi arvioidaan kokelaan taitoa tulkita kuvia, kuvaajia, tilastoja ja ajankohtaista tietoa sekä perustella vastauksensa. Hyvä vastaus tarkastelee ilmiöitä monipuolisesti ja havainnollistaa niitä esimerkein. Hyvä vastaus perustuu faktoihin, ei perustelemattomiin mielipiteisiin.

Tehtävä 1

a)

Vettä siirtyy osmoosin kautta (diffuusio solukalvon läpi) siihen suuntaan, jossa liuos on väkempää. Kuvan 1 tilanteessa punasolun ulkopuolinen liuos on laimeampi kuin solulima, jolloin vettä virtaa soluun sisään ja solu hajoaa. Kuvan 2 tilanteessa soluliman ja liuoksen väkyydet ovat yhtä suuret, jolloin solun vesipitoisuus ei muutu. Kuvassa 3 solun ulkopuolisen liuoksen pitoisuus on suurempi kuin solun. Tällöin vettä virtaa solusta ulospäin, ja solu kutistuu kasaan. Jos nestehukasta kärsivälle potilaalle annettaisiin puhdasta vettä, punasolut voisivat vaurioitua kuvan 1 osoittamalla tavalla. Noin 0,9 %:n suolaliuos (fysiologinen suolaliuos) vastaa kuvan 2 tilannetta, mikä on solujen toiminnan kannalta tavoiteltavaa.

b)

Kuivilla alueilla maa suolaantuu, kun kasteluveden sisältämä vähäinen suola vähitellen kertyy maaperään veden haihtuessa. Kasteluvesi voi myös ylläpitää pohjavedestä kapillaarivetenä tulevaa haihtumisvirtausta, jonka mukana suola niin ikään jää maahan veden haihtuessa kuivassa ilmastossa. Kasvien juurissa solun ulkopuolisen liuoksen suolapitoisuus vaikuttaa solun kykyyn ottaa vettä. Jos maa on suolaantunut, niukkaan suolaan sopeutuneiden viljelykasvien vedenotto häiriintyy ja sato pienenee. Suolalla voi olla myös muita, myrkyllisiä vaikutuksia kasveihin.

Tehtävä 2

Kloroplastien perustehtävä yhteyttävissä kasveissa on auringonvalon energian sitominen glukoosikeriin lähtöaineina hiilidioksidi ja vesi.

Auringonvalon energia sidotaan fotosynteesin valoreaktioissa, joissa hajotetaan vesimolekyylejä vedyksi ja hapeksi. Vapautunut vety siirretään vedynsiirtäjälle (NADPH) ja energia ATP:n fosfaattisidoksiin. ATP:n avulla hiili sidotaan pimeäreaktioissa lähtöaineena hiilidioksidi ja NADPH:n vety, jolloin lopputuotteena syntyy sokeria (C₆H₁₂O₆).

Eukaryoottisolujen sisältämien mitokondrioiden perustehtävä on energian vapauttaminen orgaanisista hiilyhdisteistä solun aineenvaihdunnan ylläpitämiseksi. Lähtöaineena on palorypälehappo (pyruvaatti) ja lopputuotteina hiilidioksidi ja vesi. Palorypälehappo saadaan glukoosikerin hajottamisesta glykolyysissä. Vapautunut energia sidotaan korkeaenergisestä ATP:n fosfaattisidoksiin ja sitä voidaan käyttää solun monimutkaisten synteisien energian tarpeeseen.

Tapahtumat ovat peruspiirteiltään vastakkaisia; toisessa auringon energian avulla hajotetaan vettä ja sidotaan hiilidioksidia, jolloin syntyy glukoosia. Toisessa taas hajotetaan glukoosia ja lopputuotteena syntyy hiilidioksidia ja vettä ja vapautuu energiaa. Vastakkaisena piirteenä voidaan myös pitää ATP:n kulutusta kloroplastissa ja ATP:n tuottoa mitokondriossa.

Tehtävä 3

a)

Selviytymisen kannalta yksilöt, joilla on suotuisia ominaisuuksia, ovat luonnonvalinnan seurauksena etulyöntiasemassa, mikä näkyy lisääntymismenestyksenä. Kelpoisuudeltaan parempien yksilöiden alleelit siirtyvät siten jälkeläisille. Luonnonvalinta kohdistuu kuitenkin yksilön fenotyyppiin. Jos jonkin taudin aiheuttaa resessiivinen alleeli, heterotsygoottisella taudin kantajalla se ei vaikuta yksilön kelpoisuuteen, eikä luonnonvalinta vaikuta alleelin siirtymiseen jälkeläisille. Tällöin haitallinen alleeli säilyy populaatiossa. Joskus haitallista resessiivistä alleelia kantavan heterotsygoottisen yksilön kelpoisuus saattaa olla parempi kuin terveen homotsygoottisen yksilön. Tunnettu esimerkki tästä on sirppisoluanemiaa aiheuttava mutaatio, jota kantavat heterotsygoottiset yksilöt saavat suojaa malarialta. Tällöin luonnonvalinta voi suosia kyseistä alleelia kantavia yksilöitä.

b)

- Tasapainottava valinta suosii jonkin ominaisuuden suhteen keskiarvoisia yksilöitä, jolloin ominaisuuden suhteen äärevien fenotyyppien osuus pienenee. Tasapainottavaa valintaa tapahtuu populaatiossa, joka elää olosuhteiltaan vakaassa ympäristössä.
- Suuntaava valinta suosii yksilöitä, joiden ominaisuudet lisäävät kelpoisuutta uudenlaisessa, muuttuneessa ympäristössä.
- Hajottava valinta suosii jonkin ominaisuuden suhteen muuntelun ääripäitä edustavia yksilöitä. Hajottavaa valintaa tapahtuu, jos populaatio elää ympäristöoloiltaan toisistaan poikkeavilla alueilla (= laaja ekologinen amplitudi). Hajottava valinta voi edistää lajiutumista.

Tehtävä 4

Replikaatiolla tarkoitetaan geneettisen materiaalin kahdentumista kopioitumalla. DNA kahdentuu solunjakautumisen välivaiheen aikana, jolloin yhdestä kromosomista syntyy kaksi identtistä sisarkromatidia. Tämä mahdollistaa proteiinisynteesin (transkriptio ja translaatio) jatkumisen tytär soluissa. Kahdentumisen katalysoi DNA-polymeraasi, ja se tapahtuu emäspariperiaatteen mukaan: adeniini-tyymiini ja sytosiini-guaaniini.

Transkriptiossa DNA:n emäsjakso kopioituu RNA:ksi RNA-polymeraasin katalysoimana. Lähetti-RNA:ta, siirtäjä-RNA:ta ja ribosomi-RNA:ta tarvitaan proteiinisynteesin aloittamiseksi. Mekanismit: DNA:n emäsjakso kopioituu RNA:ksi emäspariperiaatteen mukaan: adeniini-urasiili ja sytosiini-guaaniini.

Translaatiolla tarkoitetaan lähetti-RNA:n emäsjärjestyksen kääntämistä tuotettavan proteiinin aminohappojärjestykseksi. Mekanismit: Lähetti-RNA liikuu ribosomin pienemmän ja suuremman alayksikön välistä, ja samalla siirtäjä-RNA:t tuovat kolmikkokodonia vastaavat aminohapot paikalle ja ne liittyvät toisiinsa peptidisidoksilla. Näin lähetti-RNA:n emäsjärjestys saadaan kopioitua syntyvän proteiinin aminohappojärjestykseksi.

Tehtävä 5

a)

Kuvassa 1 on reheville metsille tyypillisiä kasveja: mustikka, käenkaali, sinivuokko ja oravamarja. Näiden kasvien elinympäristössä tyypeä on runsaammin ja maaperä on vähemmän hapan kuin kuvan 2 suoympäristössä.

Kuvan 2 kasvit ovat kihokki, rahkasammal, karpalo ja suomyrtti, jotka elävät soilla. Soissa tyypeä on hyvin niukasti ja maaperä on happamampaa kuin rehevissä metsissä. (3 p.)

b)

Kuolleiden kasviaineksen lahotessa tyypeä vapautuu maaperään. Eritteet (virtsa, ulosteet) ja kuolleiden eläinten ruhot (mätäneminen) ja lisäävät paikoittain typen määrää. Sadevesi ja kuivalaskeuma tuovat typpiyhdisteitä. Eräät maaperän mikrobit (vapaana elävät ja symbiootiset) sitovat ilmakehän tyypeä. (2 p.)

c)

Esimerkkejä kasveista ja niiden keinoista hankkia lisätyypeä:

- Lepän ja palkokasvien juurinysträbakteerit sitovat ilmakehän vapaata typpikaasua.
- Lihansyöjäkasvit (esim. kihokit, yökönlehdet, karpäsloukku) pyydystävät hyönteisiä, joita sulattamalla ne saavat tyyppiä.
- Puoliloiset (esim. maitikat) ottavat lisätyypeä muista kasveista.
- Mykoritsassa sieniosakas luovuttaa tyyppiä kasville (yleistä useilla kasveilla).
- Muutkin oikeat esimerkit kelpaavat. (1 p.)

Tehtävä 6

Haiman saarekkeiden α - ja β -solujen perustoiminta veren glukoosipitoisuuden säätelmissä on tärkeää, koska glukoosia käytetään elimistössä aineenvaihdunnan energianlähteenä soluhengityksessä ja rasvojen sekä glykogeenin muodostamiseen.

Haiman säätelytoiminnan peruspiirteet: Veren glukoosipitoisuuden noustessa hiilihydraattipitoisen aterian jälkeen haiman β -solujen insuliinineritys vereen kiihtyy, jolloin glukoosia pääsee verestä soluihin, mikä laskee veren glukoosipitoisuuden normaalitasolle. Kun veren glukoosipitoisuus laskee arterioiden välillä, haiman α -solujen glukagonin erityks vereen kiihtyy, jolloin maksa alkaa vapauttaa glykogeenistä glukoosia vereen ja normaali veren glukoosipitoisuus palautuu.

Kivikauden ihminen sai ravinnossaan vain vähän hiilihydraatteja, jolloin haiman insuliinineritystä tarvittiin vain silloin, kun onnistuttiin saamaan hiilihydraattipitoista ravintoa. Nykypäivän ihminen saa hiilihydraatteja ja sokereita ravinnossaan jatkuvasti ja usein liikaa, mikä voi johtaa lihavuuteen. Runsaan ravinnonsaannin seurauksena veren glukoosipitoisuus on jatkuvasti suuri, jolloin haima joutuu erittämään jatkuvasti insuliinia. Tämä voi altistaa II tyypin diabetekselle, jossa kohdesolujen insuliiniherkkyys on vähentynyt ja veren glukoosipitoisuus on jatkuvasti liian suuri.

Tehtävä 7

Kunkin lajin koetuloksia tulee verrata saman lajin kontrolliin. Jos lajeja vertaillaan keskenään, on huomattava, että kontrollien kasvunopeus on ollut erilaista, mikä kuvastaa lajityypillistä kasvutapaa ja ravinteiden tarvetta.

Vehnä:

Typpilannoitus (+N) lisäsi kasvunopeutta, joten typen puute on ollut kasvua rajoittava tekijä. Fosforilannoitus (+P) ei lisännyt kasvunopeutta, joten fosfori ei ollut vehnän kasvua rajoittava ravinne. Sekä typen että fosforin samanaikainen lisäys osoitti ravinteiden yhteisvaikutuksen, eli typpi lisäsi myös fosforin tarvetta, ja siksi kasvunopeuden muutos oli suurempi kuin yksittäisellä ravinteella.

Valkoapila:

Typpilannoitus ei lisännyt kasvunopeutta, koska valkoapila sitoo juurinysträbakteereillaan ilmakehän typpeä. Fosforilannoitus lisäsi selvästi kasvunopeutta, joten fosforin puute on ollut kasvua hidastava tekijä. Typen ja fosforin samanaikaisella lisäyksellä ei ollut merkittävää yhteisvaikutusta, sillä jo pelkkä fosforin lisäys tuotti samansuuruisen kasvunlisäyksen. Kontrolliin verrattuna molemmat viimeksi mainitut lannoitelisäykset aiheuttivat selvän kasvunopeuden muutoksen.

Tehtävä 8

a)

Koska Kallen ja hänen aiemman vaimonsa lapsi sairastui, Kalle kantaa tautigeenia ja on heterotsygootti. Todennäköisyys, että Kalle kantaa tautia, on siten 100 %, ja todennäköisyys, että hän on täysin terve (homotsygootti), on 0 %.

b)

Koska Eilan sisar on kuollut tähän resessiivisen alleelin aiheuttamaan tautiin, hänen molemmat vanhempansa ovat heterotsygootteja kyseisen alleelin suhteen. Tällaisten vanhempien lapset ovat 25 %:n todennäköisyydellä terveitä homotsygootteja, 50 %:n todennäköisyydellä tautia kantavia heterotsygootteja ja 25 %:n todennäköisyydellä sairaita homotsygootteja. Koska Eila on tehtävänannon mukaan terve, jälkimmäinen vaihtoehto ei tule kyseeseen. Siten todennäköisyys, että Eila on täysin terve, on $\frac{25}{75} = \frac{1}{3}$ ($\approx 33\%$) ja todennäköisyys, että hän on taudin kantaja, on $\frac{50}{75} = \frac{2}{3}$ ($\approx 67\%$).

c)

Koska Kalle on varmasti taudin kantaja ja Eila voi olla joko terve tai kantaja, kaikki kolme vaihtoehtoa ovat mahdollisia.

Tehtävä 9

a)

Rodopsiini on silmän verkkokalvon sauvasolujen näköpigmentti, joka reagoi herkästi valoon ja mahdollistaa hämäränäön. Kirkkaassa valaistuksessa rodopsiini pysyy toimimattomassa (hajonneessa) muodossa, mikä tulee esiin astuttaessa kirkkaasta valaistuksesta pimeään tilaan; silmä alkaa erottaa kohteita viiveellä (adaptaatio). Kun valo osuu sauvasoluissa olevaan valoherkkään rodopsiiniin, retinaali ja opsiinimolekyylit irtoavat toisistaan (oikeammin retinaalin ja rodopsiinin kolmiulotteinen rakenne muuttuu), mikä aiheuttaa hermoimpulssin synnyn sauvasoluissa. Hermoimpulssi siirtyy välittävien hermosolujen kautta näköhermoa muodostaviin gangliosoluihin. Näkörata kulkee väliaivojen kautta isoivojen näkökuorialueelle, joka sijaitsee takaraivolohkoissa. Varsinainen näköaistimus (kuvan muodostuminen) tapahtuu isoivokuorella.

b)

Keskikuoppa (keltatäplä) on tarkan näkemisen piste, johon valo taittuu siitä kohdasta (kohdesta), johon silmä on kulloinkin kohdistettuna. Jos valonsäde taittuu keskikuopan etupuolelle tai verkkokalvon taakse, on kyseessä näkökykyä heikentävä taittovirhe (liki- tai kauko-taitteisuus).

Keskikuopassa on vain tappeja, joissa kussakin on joko sinistä, vihreää tai punaista valoa absorboivaa näköpigmenttiä (n. 400–540 nm, 450–630 nm, 470–690 nm). Koska pigmenttien spektrit menevät osin päällekkäin, kaikkien näkyvän valon aallonpitoisuuksien (värien) havaitseminen on mahdollista.

Tehtävä 10

a)

Hermoimpulsseja lähettävään ja vastaanottavaan keskushermostoon kuuluvat aivot ja selkäydin. Aivojen osat ovat isot aivot, väliaivot, keskiaivot, aivosilta, ydinjatke sekä pikkuaivot.

Ääreishermostoon kuuluvat aivohermot, selkäydinhermot ja autonomisen hermoston ääreisosat (sympaattiset ja parasympaattiset radat).

b)

Myeliinituppi on hermoston tukisolujen (ääreishermostossa Schwannin solujen ja keskushermostossa nk. gliasolujen) tuottama lipidi- ja proteiinipitoinen vaippa hermosolun viejähaarakkeen (aksonin) ympärillä. Mitä paksumpi eristeenä toimiva myeliinituppi on, sitä nopeammin hermoimpulssi etenee aksonissa kohti synaptista päätelevyä. Nopeuden lisääntyminen selittyy hyppivällä hermoimpulssin etenemistavalla; uusi impulssi ei voi syntyä myeliinitupen kohdalla vaan ainoastaan Ranvierin kuroumissa. Myeliinitupen ohentuessa impulssin kulku hidastuu.

c)

Väliaivot reagoivat veren väkevyyteen (suolapitoisuuteen). Kun veri on väkevää, antavat väliaivot aivolisäkkeen takalohkelle viestin lisätä ADH:n eritystä verenkiertoon. ADH lisää veden takaisinottoa verenkiertoon munuaisten kokoojaputkista. Tämän seurauksena veri laimenee ja vastaavasti virtsarakkoon erittyvän virtsan määrä ja virtsaamistarve vähenevät (virtsa väkevöityy). Alkoholien vaikutuksesta virtsa laimenee ja virtsaamistarve lisääntyy.

Tehtävä +11

- Ajoitus:
Kenotsooinen maailmankausi alkoi noin 65 miljoonaa vuotta sitten ja jatkuu yhä. Kenotsooinen aika voidaan jakaa tertiääri- ja kvartaariaikaan. Kvartaariaika käsittää viimeiset noin 1,8 miljoonaa vuotta.
- Geologiset tapahtumat:
Mannerlaatat siirtyivät nykyisille paikoilleen. Etelä- ja Pohjois-Amerikan mannerlaatat yhtyivät. Afrika ja Intian mannerlaatat liittyivät Euraasiaan. Tämä mahdollisti faunojen sekoittumisen. Australia erosi Etelämantereesta ja vuoristoja poimuttui (esim. Alpit ja Himalaja), mikä aiheutti maantieteellistä isolaatiota. Tulivuorten purkaukset muokkasivat maanpinnan muotoja.
- Ilmasto:
Lämmin ja kostea ilmasto muuttui vähitellen viileämmäksi ja alkoi kuivua. Ruohosavannit ja arot yleistyivät. Kenotsooisen kauden loppupuolella ilmaston ajoittaisten kylmenemisten seurauksena syntyi useita jääkausia, joista viimeisin päättyi n. 12 000 vuotta sitten.
- Kasvikunta:
Koppisiemeniset (kukkakasvit) kasvit yleistyivät. Kukkakasveille kehittyi pölyttäjiä houkuttelevia mekanismeja, kuten meden tuotto, kukan värit ja erikoisrakenteet.

- Eläinkunta:
 - Monista hyönteisistä sekä linnuista ja lepakoista kehittyi koevoluution tuloksena kukkakasvien pölyttäjiä ja/tai siementen levittäjiä. Kehittyi monia uusia nisäkäsrhymiä, kuten valaat, jyräjät, lepakot, hevoset ja kamelit. Kädellisten kehitys alkoi.
 - Ihminen kehittyi Afrikassa. *Homo*-suvun kehitys alkoi kvartaarikaudella Afrikassa, josta käsin ihminen ryhtyi asuttamaan muita mantereita.
 - Kvartaarikauden ajan loppu on ihmisen valtakautta (tulenteke ja työkalujen käyttö, maanviljely, karjanhoito, metallien käyttö, teollistuminen, teknologian valtava kehitys, avaruusmatkat yms.).
 - Ihminen aiheuttaa monien lajien sukupuuton ja lajitojen köyhtymistä. Monet jättiläislinnut (moa, madagaskarinstrutsi ym.) ja suurikokoiset nisäkkäät (mammutti, villasarvikuono ym.) hävisivät. Ihminen on aiheuttanut toiminnallaan ilmaston lämpenemistä ja elinympäristöjen pilaantumista eri puolilla maapalloa.

Tehtävä +12

Vastauksessa tulee käsitellä ympäristön merkitystä geenien toiminnan säätelyssä sekä alleelien roolia ominaisuuksien periytymisessä ja ilmiasussa. Vastauksessa voidaan käsitellä polygeenisia ominaisuuksia (1–4, 6, 9, 11–13) kokonaisuutena kuitenkin niin, että kutakin ominaisuutta luonnehditaan jollakin tavalla. Kussakin kohdassa on arvioitava menetelmän sopivuutta ja luotettavuutta yksilöntunnistuksessa.

1. *Ruumiinrakenne* on ominaisuus, johon vaikuttavat vanhemmilta saatu geneettinen perimä ja mahdolliset kehityshäiriöt. Hankinnaisominaisuuksiin kuuluvat mm. sairauksien, vammojen, ravinnon, fyysisen harjoittelun jne. seurauksena muotoutuneet piirteet. Sukupuoli ja sukupuolihormonit määräävät sukupuoliriippuvaiset fenotyyppi- ja piirteet. Oleellista on todeta, että ruumiinrakenne on monimuuttujainen, polygeeninen (monigeeninen) ominaisuus. Tässä yhteydessä voi myös käsitellä epigeneettistä säätelyä, johon mm. ravinnon vaikutukset kuuluvat. Ruumiinrakenteen arviointi antaa melko luotettavan yleiskuvan yksilön ominaispiirteistä.
2. *Nenän muoto* on voimakkaasti periytyvä ominaisuus, johon liittyvät myös melko selkeät etniset ominaispiirteet. Nenän muoto on suhteellisen luotettava tunnistusominaisuus.
3. *Pituus* on ruumiinrakenteen tavoin polygeeninen ominaisuus, johon vaikuttavat kasvuaikana mm. kasvuhormoni ja sukupuolihormonit. (Sikiöaikaisella kehityksellä) ja ravinnolla on keskeinen osuus ruumiin pituuskasvussa. Pituuskasvu päättyy viimeistään 20. ikävuoden paikkeilla pitkien luiden kasvulevyjen (kasvualueiden) sulkeutuessa. Pituutta voidaan pitää suuntaa antavana tunnistusominaisuutena.
4. *Ihonväri* on polygeeninen ominaisuus, jonka voimakkuus määräytyy ihon orvaskedessä olevien pigmenttisoluja (melanosyyttien) tuottaman pigmenttimäärän mukaan. Mitä enemmän pigmenttisoluja on, sitä tummempi myös iho on. Auringon UV-säteily lisää pigmentin tuotantoa (rusketus), joten vaaleaihoisella henkilöllä voi ihonväri jonkin verran vaihdella. Ihonväri on luotettava tunnistusominaisuus.

5. *Kätisyys*. Suurin osa ihmisistä on oikeakätisiä, mikä merkitsee sitä, että vasemman aivo-puoliskon motorinen kuorikerros hallitsee valtaosalla ihmisistä voimakkaimmin käsien liikkeitä. Kätisyys on suhteellisen luotettava tunnistusominaisuus.
6. *Sormenjäljet* perustuvat sormenpäiden ihopoimujen (muodostuvat verinahan ja orvas-keden rajalle) muotoon, joka on perinnöllisesti säädeltyä. Ihopoimut ovat niin hienopiir-teisiä, että niitä voidaan melko luotettavasti käyttää yksilöntunnistuksessa. Tunnistus-menetelmälle tuo lisävarmuutta se, että yksilön kunkin sormenpään kuviointi on erilai-nen.
7. *Valokuvasta* saadaan yleiskuva henkilön fenotyypistä, silmien ja hiusten väristä, iästä, sukupuolesta, etnisestä taustasta jne. Valokuva osoittaa yleisellä tasolla yksilöiden välis-tä geneettistä muuntelua. Valokuva on melko varma yksilöntunnistuksen väline.
8. *DNA-näyte* on varmin yksilöntunnistusmenetelmä. DNA:sta määritetään yksilön geno-tyyppi molekyylibiologian menetelmin. Tarkimmillaan yksilönmääritys perustuu yksittäis-ten nukleotidierojen (snipsit) määrittämiseen. DNA-näyte voidaan saada soluista ja erit-teistä. Sukulaissuhteet voidaan selvittää vertaamalla yksilöiden genomia (geneettisiä sormenjälkiä) keskenään.
9. *Ääni* ja äänen sävy määräytyvät äänihuulten rakenteen perusteella. Äänen sävy on poly-geeninen ominaisuus. Ääni on sukupuoliriippuvainen ominaisuus. Miessukupuolihormo-nit muuttavat äänihuulten rakennetta, minkä vuoksi poikien ääni muuttuu murrosiässä. Koska ihminen pystyy säätelemään äänensä sävyä, ei se ole täysin varma yksilöntunnis-tusmenetelmä.
10. *Kengänjälki* antaa viitteen jalan koosta, mahdollisesti kävelytavasta tai vammasta. Omi-naisuus on suuntaa antava.
11. *Silmien väri* on perinnöllinen, polygeeninen, ainakin kolmen alleeliparin määräämä (liu-kuva) ominaisuus, johon ympäristötekijät eivät vaikuta. Tummasilmäisyys on dominoivan alleelin määräämä, sinisilmäisyys resessiivinen ominaisuus. Albinismiin liittyvä puna-silmäisyys aiheutuu resessiivisestä mutaatiosta, joka seurauksena pigmenttisolut puut-tuvat. Silmien väri toimii luotettavana yksilöntunnistusmenetelmänä.
12. *Hiusten väri* on perinnöllinen polygeeninen ominaisuus. Hius on kuollutta solukkoa, jota voidaan värjätä, eikä se siksi ole kovin luotettava tunnistusmenetelmä.
13. *Jalan koko* on perinnöllinen, polygeeninen ominaisuus, johon vaikuttavat yleiset kehon kasvuun vaikuttavat geneettiset ja ulkoiset tekijät. Ominaisuus on suuntaa antava.