



**Tuul Sepp:** „Ka linnud tahavad sama, mida kõik teisedki elusolendid – elada kaua, olla kaitstud haiguste eest ja saada palju tugevaid, elujõulisi järglasi.“

# Kollase ja musta sulevärvi tähendusest lindudele

**T u u l S e p p**

Tartu ülikooli loomaökoloogia doktorant

**Kui sulestiku värvus ei mõjutaks mitte kuidagi lindude elu, oleksid kõik linnud valged. Lindude maailm on aga täis värvikirevust ja mustrikkust. Sulestike suur mitmekesisus hämmastab juba Charles Darwinit, kes seda oma loodusliku valiku teooriaga kuidagi seletada ei suutnud.**

Kui loodusliku valiku teooria kohaselt jääb ellu keskkonda kõige paremini sobituv organism, siis kuidas on välja kujunenud lindudele ilmselgelt tülikad ja kulukad kaunistused ja värvid, mis muudavad neid kiskjatele lihtsamini avastatavateks? Suuresti just lindude sulestiku värvus inspireeris Darwinit lisaks loodusliku valiku teooriale kasutusele võtma ka sugulise valiku kontseptsiooni, mis aitab seletada, kuidas kujunesid välja pealtnäha kasutud või mõnikord isegi kahjulikud tunnused.

Lindude värvus tuleneb ühelt poolt keemilistest pigmentidest ning teiselt poolt naha ja sulgede struktuurist. Pigmenti toodetud värvus sõltub konkreetse pigmentimolekuli struktuurist ja pigmenti hulgast. Struktuurvärvus sõltub aga nanoskaalal mõõdetavatest erine-

vustest lindude katete (naha ja sulgede), aga ka näiteks noka ja silmapõhja struktuuris, mis mõjutavad tagasipeegelduva valguse värvust. Struktuurvärvused avalduvad peamiselt lindude nägemisala UV-piirkonnas, kuid ka inimesed saavad struktuurvärvuseid oma silmaga tajuda – paljud kõige silmapaistvamad sulestikuvärvused on tekkinud pigmentide ja struktuurvärvuse kombinatsioonina, struktuurvärvuste alla kuuluvad ka igasugused küütlevad värvitoonid, näiteks paabulindude ja koolibrite, samuti kodumaiste tuvide ja kuldnokkade suled valguse käes.

## Peamised pigmentid

Käesolevas artiklis keskendun peamiselt värvuse rohkem uuritud ja paremini mõistetud poolele ehk pigmentidele. Kui

gi lindude suure värvirikkuse taga seisab arvukalt eri pigmente, on kõige olulisemateks ja levinumateks pigmentideks tumedaid toone andvad melaniinid ja kollakaid toone andvad karotenoidid. Mõlema pigmentiga on igaüks kahtlemata ka isiklikult kokku puutunud – just melaniin annab värvuse päevitunud nahale, karotenoidide aga tarbivad suures koguses kõik, kes armastavad süüa juur- ja puuvilju, näiteks porgandeid ja apelsine.

Loomadele värvust andvaks peamiseks pigmentiks on melaniin, mida looduses leidub kahes vormis: eumelaniini ja feomelaniini. Eumelaniin on levinum ja annab loomadele tumemusta või pruuni värvuse, näiteks rasvatihase must pea ja rinnatriip või varese must sulestik. Feomelaniinid on punakaspruunid – kujutage ette näiteks tavalist pruuni

kodukana või varblast. Sama pigmenti leidub punapeade juustes. Reeglina esineb sulgedes korraga mõlemat pigmenti, ühte võib lihtsalt olla oluliselt rohkem kui teist. Melaniini toodavad aminohapetest spetsialiseerunud rakkudes melanotsüütides loomad ise.

Karotenoididega on lugu keerulisem. Neid ükski loom ise toota ei saa, sest neil puudub selleks vajalik ensüüm. Seega tuleb kõik vajalikud karotenoidid saada toidust. Karotenoidid annavad loomadele punase, kollase või oranži värvuse. Samu värve võivad tekitada aga ka teised, vähem levinud pigmentid. Üheks klassikaliseks näiteks karotenoidse sulevärvi kohta on flamingod, kelle roosa värvus tuleneb karotenoidide sisaldavate mereloomade (kes on oma karotenoidid saanud samuti toidust) söömisest. Paljud linnud saavad vajalikud karotenoidid taimedest, kuid on ka äärmuslikumaid näiteid. Egiptuses elavad raisakotkad peavad oma karotenoidivajaduse rahuldamiseks sööma sõraliste (lehmade, kitsede, lammaste) sõnnikut, kust nad mingeid muid toitaineid ei saa.

### Sule värv aitab kaua elada

Et mõista, millist rolli mängib sulgede värvus lindude elus, peame kõigepealt aru saama, mis on lindude elus üldse oluline. Nagu arvata võib, tahavad ka linnud sama, mida kõik teisedki elusolendid – elada kaua, olla kaitstud haiguste eest ja saada palju tugevaid, elujõulisi järglasi. Kõiki neid eesmärke aitab saavutada värviline olemine.

Kuidas aitab sulevärv lindudel kaua elada? Kõigepealt tuleb mängu muidugi varjevärvus. Kui linnud oleksid valged, mis on pigmentita sulgede baasvärvus, paistaksid nad sõltuvalt ümbritsevast keskkonnast hästi silma kiskjatele ning kaua elamisest ei pruugiks midagi välja tulla. Samuti paistaksid nad hästi silma saakloomadele. Kui lindudel ei ole mingil muul põhjusel kasulik olla silmapaistev, eelistavad nad enamasti just varjevärvust. Seda võib märgata mitme kõigile tuttava linnuliigi juures – kui näiteks isasel sinikaelpardil tuleb emastele parema mulje jätmiseks kanda silmapaistvat sulestikku, siis emased, kes antud näite puhul on valijad ja mitte valitavad, võivad olla mugavalt silmapaistmatu ja melaniinset päritolu pruunika sulestiku-

ga. Sigimispartneri valikust tuleb aga põhjalikumalt juttu allpool.

Paljudel lindudel on tumedat värvi just keha ülemine pool, alumine pool on aga hele. Ka selle nähtuse mõte on varjumine – ülevalt tuleb tavaliselt oluliselt rohkem valgust kui alt ja selline värvikombinatsioon aitab kompenseerida valgustingimuste erinevusi. Lisaks võimaldab melaniin lindudel organismist eemaldada mürgiseid raskmetalle – metallid seostuvad melaniiniga ning ladestatakse koos pigmentiga sulgedesse, mis on surnud koed ja kuhu paigutatud mürgid enam organismile kahju teha ei saa.

Et lind oleks võimeline kiskjate eest põgenema ja toitu otsima, peavad tema suled olema tugevad ja heas korras. Melaniin muudab lindude suled tugevamaks ja vastupidavamaks kulumisele – seetõttu on paljudel lindudel just kahjustustele vastuvõtlikumatel aladel asuvad suleosad tumedat värvi, näiteks naerukajaka tiivasulgede mustjad otsad. Sulgedesse ladestatud karotenoidid kaitsevad aga sulgedest toituvate bakterite kahjuliku mõju eest.

Kaua elamiseks ei piisa ainult kiskjate ja mürgiste ainete vältimisest – vananemine on paratamatu protsess, millega kõik organismid peavad kokku puutuma. Iga elusolendi eesmärk peaks aga olema seda protsessi võimalikult kaua edasi lükata. Vananemisest rääkides ei pääse kuidagi mööda mõistest „oksüdatiivne stress”. Mis on selle paljukasutatud väljendi sisu?

### Oksüdatiivne stress

Valdav osa elusolendeist vajab elamiseks hapnikku. Seda teades on raske uskuda, et elu tekkimise algperioodil oli hapnik organismidele surmav mürk. Selle põhjuseks on hapniku suur reaktiivsus – reaktiivsed hapnikuosakesed kahjustavad erinevaid biomolekule nagu valgud, lipiidid ja DNA. Algelistel organismidel puudusid vahendid selle kahju kontrolli all hoidmiseks. Hapniku reaktiivse toime vastaste kaitsemehhanismide väljakujunemine võimaldas aga hapniku kasutusele võtta energia tootmisel, mis osutus äärmiselt edukaks valikuks – tänapäeval on elusorganismidest valdavad just aeroobsed ehk hingamisel hapnikku kasutavad organismid. Samas ei ole hapniku

mürgine toime kuhugi kadunud – kõigil hapnikku kasutatavatel organismidel peavad olema hapnikuvastased kaitsemehhanismid. Kui need mehhanismid alt veavad, tekibki organismis oksüdatiivne stress ehk tasakaalu puudumine oksüdantide ja antioksidantide vahel, mida peetakse üheks olulisemaks vananemise põhjustajaks.

Tuleme aga tagasi sulevärvi juurde. Kuidas aitavad pigmentid kaitsta oksüdatiivse stressi eest? Paljud pigmentid on ise antioksidandid ehk suutelised neutraliseerima kahjustusi tekitavaid vabu radikaale. Kõige tuntumad antioksidandid pigmentide hulgas on kahtlemata karotenoidid, mille antioksidantsed omadused tulenevad molekulis asuvast kaksiksidemete süsteemist. Karotenoidid ringlevad vabalt lindude veres ning saavad seega eemaldada organismist reaktiivseid hapnikuosakesi. Need karotenoidid, mis on paigutatud lindude sulgedesse, enam mõistagi antioksidantidena tegutseda ei saa, kuna suled on surnud koed. Seetõttu eeldataksegi, et linnud paigutavad sulgedesse eelkõige need karotenoidid, mis antioksidantkaitset üle jäävad. Teine võimalus on, et linnud saavad karotenoidide sulgedesse paigutamist endale lubada siis, kui neil on olemas piisavalt muid antioksidante. Seega võib karotenoidne sulevärvus näidata linnu tervislikku seisundit sulgede kasvatamise hetkel.

Kas ka melaniin on antioksidant? Uuemate uurimuste põhjal tõepoolest. Samas asub melaniin melanotsüütide ehk varem juba mainitud melaniini tootvate rakkude sees ega ole oksüdantide kahjutuks tegemiseks niisama lihtsalt kättesaadav kui vabalt veres ringlevad karotenoidid. Melaniinil on aga veel üks huvitav seos antioksidantkaitsega. Selle mõistmiseks peame mängu tooma veel ühe antioksidandi. Saage tuttavaks: glutatioon – kõige levinum rakusisene antioksidant, mida loomad ise toodavad. Glutatiooni ülesanne on kõrvaldada ohtlikke vabu radikaale ja hoida aktiivses vormis teisi, toiduga saadavaid antioksidante. Glutatiooni ja melaniini vahel on leitud huvitav seos – melaniini tootmiseks peab glutatiooni tase olema madal. Mida see tähendab lindude jaoks? Selle mõistmiseks peame liikuma järgmise elueesmärgi juurde.

## Tublisid järglasi

Lindude teine oluline elueesmärk on saada võimalikult palju tublisid järglasi. Selle eesmärgi täitmiseks on vaja valida endale kvaliteetne sigimispartner. Enamikul linnuliikidel on valivaks pooleks emaslinnud. Mida emaslind isase juures hindab? Kõigepealt võiks üks hea isaslind olla tugev ja kiire, et ta suudaks põgeneda kiskjate eest. Teiseks ei tohiks ta olla haige ehk peaks suutma hästi toime tulla haigustekitajatega – neid tõhusalt kahjutustama või nende tekitatavat kahju möödaminnes taluma. Nii immuunvastuse ajal kui ka normaalse ainevahetuse käigus tekib pidevalt vabu radikaale, millega üks kvaliteetne lind kergesti toime peaks tulema. Kolmandaks võiks hea sigimispartner anda ka oma poegadele edasi omadusi, mis pojad teistele emalindudele ahvatlevaks muudaksid.

Võib tunduda, et emaslinnul on kõiki neid häid omadusi isaslindu lihtsalt vaadates raske hinnata. Kas elu tähtsaim valik langetatakse siis juhuslikult? Kindlasti mitte. Just sulestikuga on lindudel võimalik näidata üldisest tugevust ja vastupidavust, oskust leida kvaliteetset toitu, võimet tulla toime hapniku kahjuliku toimega ja tõhusat immuunsüsteemi. Et sulestiku värvusega edasi antav signaal linnu kvaliteedi kohta oleks aus, peab selle signaali tekitamine olema linnule kulukas. Kui signaali, milleks antud juhul on mingi värvimuster või sulestiku ornament, oleks odav tekitada, saaksid sellega hakkama ka vähem kvaliteetsed isendid. Nii leviks see signaal kiiresti kõikidele lindudele ning emased ei saaks selle põhjal enam isaste kvaliteeti hinnata ja valida. Niisiis on ausal kvaliteedisignaali kaks peamist omadust – selle tekitamine peab olema kulukas ning emastel peab olema oskus seda ära tunda.

Klassikaliseks näiteks kuluka signaali kohta on isase paabulinna saba. Selline uhke ja värvikirev moodustis ei ole linnule kuidagi kasulik – seda on kindlasti kulukas kasvatada, lisaks muudab see linnu kiskjatele kergesti märgatavaks. Praktilisest vaatepunktist lähtudes on niisuguse saba kasvatamine puhas lollus. Selliste näiliselt rumalate tunnuste seletamiseks tuligi lisaks niinimetatud utilitaarse valiku ehk tõhususvaliku (mille kohaselt looduslik valik soosib neid



**Kui emased sinikaelpardid võivad olla mugavalt varjevärvusega, siis isased peavad emastele hea mulje jätmiseks kandma silmapaistvat ja kulukat sulestikku.**



**Rasvatihase melaniinne must rinnatriip näitab tema sotsiaalset staatust, kollane karotenoidset päritolu värvus peegeldab tervislikku seisundit.**

Silver Gutmani fotod



**Klassikaliseks näiteks kuluka signaali kohta on isase paabulinna saba.**

Foto internetist

tunnuseid, mis on organismile kasulikud) hüpoteesile võtta kasutusele ka signaalivaliku hüpotees. Oma sabaga näitab isane paabulind emasele: ma olen niivõrd kvaliteetne lind, et saan endale lubada isegi säärast kallist ja mõtetut saba.

## Kollane ja must

Tuleme aga tagasi oma teema juurde – kollane ja must sulevärv. Võtame kõigepealt vaatluse alla melaniinse ehk tumeda sulevärv. On näidatud, et melaniinse sulestikuvärvuse juures on oluline eelkõige tumeda laigu suurus, näiteks rasvatihase kurgualuse musta triibu laius või tumedate sulestikulaikude ulatus koduvarblasel või kärbsenäpil. Kuna linnud sünteesivad melaniini ise, pole esmapilgul niisama lihtne mõista, miks kõik isaslinnud ei võiks sünteesida piisavalt melaniini, et tekitada endale suured tumedad sulestikulaigud, mis neid emastele vastupandamatuks muudaksid. Eespool nägime aga, et emastele valiku tegemisel kasutuskõlblikul signaalil peab olema hind. Kui eeldame, et emased hindavad isaseid melaniinse sulestikuvärvuse põhjal (mida mitmetes uurimustes on ka näidata õnnestunud), peab tumedate sulestikulaikude tekitamine olema isaslinnule kulukas. Milles see kulu seisneb?

Linnud sünteesivad melaniini ise, mistõttu melaniinsete ornamentide seos linnu toitumusliku seisundi ja tervisega tundub olevat suhteliselt nõrk. Siiski on seda mõnes uurimuses näidatud. Esiteks on melaniini sünteesiks vaja kindlaid toiduga saadavaid aminohappeid, teiseks võivad melaniini sünteesi piirata mõned mineraalained, mida kasutavad melaniini tootvad ensüümid. Seega võib melaniinne sulestik mingil määral siiski peegeldada linnu toitumusseisundit ja selle kaudu ka võimet endale vajaminevaid toitaineid hankida. Näidatud on ka melaniini seost antioksidantkaitsega – kas mäletate levinuimat antioksidanti glutatiooni? Et linnud saaksid toota melaniini, pidi glutatiooni tase olema madal. Seega saavad rohkem melaniini toota need isendid, kes parajasti ei kannata oksüdatiivse stressi all ja võivad endale madalat glutatiooni taset lubada. Melaniinne sulestikuvärvus näitab sellisel juhul linnu võimet tulla toime hapniku kahjuliku mõjuga.

Üldiselt ei peeta melaniinseid sulestikuornamente siiski linnu seisundi kuigi headeks näitajateks. Pigem arvatakse, et tume värvus näitab linnu sotsiaalset staatust ja võimet kaitsta eluks vajaminevaid ressursse, näiteks pesapaika või toiduallikat. Laiema rinnatriibuga rasvatihased ja suurema rinnalaiguga koduvarblasel on dominantid – liigikaaslased väldivad üldjuhul nendega konflikti sattumist, reaalse võitluse korral võidab enamasti suurema laiguga lind. Sellised staatust näitavad ornamendid on tihtipeale hormoonide, näiteks isasuguhormooni testosterooni kontrolli all. Rohkem testosterooni omavad linnud võivad olla agressiivsemad ja dominantsemad ning neil on sellega seotult ka suuremad tumedad laigud. Kehvake ja haige lind ei saa endale selliseid ornamente lubada, sest esiteks ei tuleks ta toime dominantide staatusega ja teiseks surub testosteroon alla haigustega võitlevat immuunsüsteemi. Sellisel juhul võivad emased olla kindlad melaniinse sulestikuga antava signaali aususes.

## Isase ilu

Kollane sulestikuvärvus, mida tekitavad eelkõige karotenoidid, annab emasele pisut teistsugust infot isase kvaliteedi kohta. Kui melaniinsete ornamentide puhul on uuritud eelkõige tumeda laigu suuruse signaalseerivat rolli, siis karotenoidsete ornamentide puhul on rohkem tähelepanu pööratud karotenoidide tekitatud värvuse intensiivsusele, mis sõltub karotenoidide hulgast sules. Kuna linnud ei suuda karotenoide ise sünteesida, vaid peavad need saama toidust, peegeldab kollane sulevärv väga hästi isaslinnu toiduotsimisvõimet. Erinevalt melaniinist on karotenoidne sulevärvus tundlik ka parasiitidele, kes lindude sees elavad. Olulist rolli mängivad siinkohal soolestikus elavad algloomad koktsiidid, kelle kroonilise nakkuse all paljud looduses elavad linnud pidevalt kannatavad. Koktsiidid takistavad toidust saadavate karotenoidide imendumist läbi sooleseina, seega ei saa väga haiged linnud paigutada karotenoidide sulgedesse piisavas koguses. Kuna karotenoidid on kasutatavad ka antioksidantidena, näitab kollane sulevärv linnu võimet tulla toime oksüdatiivse stressiga – sulgedesse saab karotenoidide ladestada siis, kui on piisavalt muid antioksidante. Seega

annavad karotenoidsed ornamendid erinevalt melaniinsetest emaslinnule küllalt usaldusväärset infot isaslinnu tervisliku seisundi ja sealtkaudu ka tema kvaliteedi kohta – võib ju eeldada, et terve lind on haigustele vastupidavam ja tugevam ning pärandab need omadused ka järglastele.

Niisiis näitab must sulevärvus eelkõige isaslinnu sotsiaalset staatust ja vajalike ressursside kaitsmise võimet, kollane aga suutlikkust tulla toime parasiitidega ja leida toitu. Nende omaduste peegeldumine sulestikus võiski emase linnu jaoks tähendada isase linnu ilu. Emased kasutavad valiku tegemisel nii musta kui ka kollase värvuse antavat informatsiooni, mis oma sisult on küllalt erinev. See näitab, et elu ühe tähtsaima valiku – sigimispartneri valimise – juures ei taha emaslinnud kindlasti jääda lootma juhusele ja heale õnnele, vaid püüavad saada võimalikult palju informatsiooni isaslinnu kvaliteedi kohta.

Karotenoidne kollane ja melaniinne must sulevärvus on vaid osa lindude sulestiku värvikirevusest. Kuigi teised pigmendid on vähem levinud, ei maksa alahinnata nende rolli sugudevahelises signaalseerimises, varjumises, hoiausvärvuses või kaitses. Samuti ei tohi unustada struktuurvärvust, mida viimasel ajal on üha enam uurima hakatud. Käesolev artikkel keskendus aga eelkõige karotenoididele ja melaniinile, kuna nende kahe enamlevinud pigmendi näitel saab üsna hea ettekujutuse sellest, mida sulestikuvärvus linnule tähendada võib. Võrrelge kahte akna taga teri söövat rasvatihast või rohevinti – kas märkate erinevusi nende sulestikus ning oskate pärast selle artikli lugemist ära arvata, mida need erinevused tähendada võiksid?