

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
ZOOLOOGIA OSAKOND
ENTOMOLOOGIA ÕPPETOOL

Anne Merzin

**EESTI VAKSIKLASTE TOIDUTAIMEKASUTUSE FÜLOGENEETILISED
MUSTRID**

Magistritöö

Juhendajad: Vanemteadur Pille Gerhold, PhD

Professor Toomas Tammaru, PhD

TARTU 2020

Infoleht

Töö eesmärgiks oli välja selgitada Eesti puittaimedel toituvate vaksikute toidutaimeliigid manipulaatiivsete laborikatsete teel ning uurida, kas esineb fülogeneetilist signaali vaksiklaste toidutaimakasutuses. Töö tulemustena selgus, et lähedalt suguluses olevad vaksikuliigid toituvad sarnasel arvul taimeliikidel ja lähisugulastest taimeliike söödi sarnaselt palju või sarnaselt vähe. Uurides fülogeneetilist signaali toidutaimede kasutuses vaksikurühmade kaupa saadi teada, et signaal esines alamsugukonnas *Ennominae*, selle kahes alamklaadis ning triibusel *Anagogini*, kelle puhul on teada, et toitutakse enamasti lehtpuudest ja põõsastest. Taimeklaadide puhul leiti fülogeneetiline signaal perekonnal pajud, sugukondadel roosilised ja pajulised ning lehtpuudel, mille kohta saab öelda, et nendel toituvad enamasti vaksikuliigid on enamasti omavahel suguluses.

Märksõnad: Geometridae, vaksiklased, fülogenees, fülogeneetiline signaal, toidutaimed, spetsialiseerumine

B250 - Entomoloogia, taimede parasitoloogia; B280 - Loomaökoloogia

The aim of the present study was to determine food-plant use in Estonian geometrid moths under laboratory conditions. A central goal was also to detect any phylogenetic signal in host plant use in these moths. It was found that closely related moths feed on a similar number of food-plant species, and closely related plant species were eaten similarly little or similarly much. When examining the phylogenetic signal in food-plant preference by particular moth groups, significant signal was found in the subfamily Ennominae, in two of its subclades and in the tribe Anagogini, who are known to feed mostly on deciduous trees and shrubs. In plant clades, a phylogenetic signal was found in the use of the genus *Salix*, families Rosales and Salicaceae and deciduous trees, implying that these clades are eaten by closely related moth species.

Keywords: Geometridae, moths, phylogeny, phylogenetic signal, food-plants, specialization

B250 - Entomology, plant parasitology; B280 – Animal Ecology

Sisukord

1. Sissejuhatus.....	6
2. Materjal ja metoodika	9
2.1 Katsetele eelnev andmete kogumine	9
2.2 Vaksikute toidutaimakasutuse katsed.....	12
2.3 Andmeanalüüs	13
2.4 Töö autori roll.....	18
3. Tulemused.....	19
3.1 Vaksikute toidutaimakasutus.....	19
3.2 Vaksikute toidutaimakasutuse võrdlus kirjanduse andmetega.....	19
3.3 Fülogeneetiline signaal vaksikute spetsialiseerituse astmes	21
3.4 Fülogeneetiline signaal toidutaimede söödavuses.....	21
3.5 Fülogeneetiline signaal vaksikurühmade toidutaimede kasutuses	21
3.6 Fülogeneetiline signaal taimerühmade söödavuses.....	22
4. Arutelu	23
4.1 Vaksiklaste toidutaimakasutus	23
4.2 Kirjandusallikate usaldatavus.....	23
4.3 Fülogeneetiline signaal putukate toidutaimakasutuses	24
Kokkuvõte.....	27
Summary	28
Tänuavaldused	29
Kasutatud kirjandus	30
Lisad.....	35

1. Sissejuhatus

Ökoloogilise spetsialiseerumise määr ja viisid määravad eluslooduse liikide sobitumise ökosüsteemi (Poisot *et al.*, 2011), mistõttu on selle uurimine ökoloogilises uurimustöös keskse tähtsusega. Näiteks on erinevate konkureerivate liikide kooseksisteerimine võimalik tänu sellele, et nad on spetsialiseerunud erinevatele ressursidele, mis omakorda konkurentsi vähendavad (Poisot *et al.*, 2011).

Evolutsioonilise ökoloogia aspektist on keskseks probleemiks mõista ökoloogilise spetsialiseerumise määra (niši laiuse) evolutsiooni määravaid tegureid. Üldiselt arvatakse, et püsivas keskkonnas on parem olla spetsialist ja varieeruv generalist, kuid kuna spetsialisti evolutsioonipotsentsiaal on madal, on tema väljasuremise tõenäosus kordades suurem, kui keskkond peaks järsult muutuma (Bernays & Chapman, 1994). Vaadeldavaid spetsialiseerumise mustreid mõjutab ka liikidevaheline konkurents, mille võivad spetsialistid, sest nad kasutavad oma ressursse efektiivsemalt või generalistid, kui toimuvad muutused ressursside kättesaadavuses (Futuyma & Moreno, 1988). Tõendusmaterjale konkurentsi mõju kohta spetsialiseeritusele on leitud küll peamiselt vaid liigivaestel saartel, sest seal on kasutada olevate ressursside ja elupaikade valim väiksem (Futuyma & Moreno, 1988).

Putukad on oluline ja väga laialt levinud loomarühm, kelle ökoloogia ja evolutsiooni mõistmisel on oluline roll iga liigi toiduspetsialisatsiooni astmel. Kuigi spetsialiseeritust võib uurida erinevate keskkonnaparameetrite suhtes, on olulisimaks teguriks toit. Toiduspetsialisatsiooni astme alusel saab herbivoorsete putukate liike rühmitada mono-, oligo- ja polüfaagideks (Bernays & Chapman, 1994). Kuigi piirid on mõistagi suhtelised, peetakse monofaagideks sageli liike, kes toituvad ühe perekonna taimeliikidel, oligofaagid toituvad erinevate perekondade, kuid sama sugukonna liikidel ning polüfaagid toituvad paljudel taimeliikidel erinevatest sugukondadest (Bernays & Chapman, 1994, Holm *et al.*, 2018).

Putukate spetsialisatsiooniastme evolutsioonilisel seletamisel ei ole ülal kirjeldatud konkurentstile tuginevad mehhanismid usutavasti just suure tähtsusega, sest konkrentsisuhted on (herbivoorsete) putukate vahel enamasti nõrgad (Bernays & Chapman, 1994, Price *et al.*, 2011). Spetsialiseerumise evolutsiooni on pigem vahendanud kiskjad, sest mida rohkem on

putukas kindla taimega sarnane, seda suurem on tal tõenäosus ellu jääda (Bernays & Chapman, 1994). Liblikate puhul on näidatud, et taime kasvuvorm on üks faktoritest, mis määrab ära nii spetsialiseerituse taseme (Ward *et al.*, 1995) kui ka toidutaimakasutuse (Janz & Nylin, 1998). Puud on paljude liblikaliikide röövikute toidutaimedeks (Janz & Nylin, 1998) ning puudel toituvad liblikad on enamasti polüfaagid (Ward *et al.*, 1995). Oluliseks on ka toidutaimeliigi ohtrus: spetsialiseeruda on mõttekas taimeliigile, mida leidub keskkonnas palju ning mis on pidevalt kättesaadav (Bernays & Chapman, 1994). Samas on ka näidatud, et polüfaagsus võib olla üks vaheetapp spetsialiseerumisel teise sugukonna toidutaimeliigile (Janz *et al.*, 2006).

Putukate seas üldiselt on polüfaage vähe, enamasti liike toituvad peamiselt ühe sugukonna taimedel või ainult mõnel omavahel suguluses oleval taimel, kusjuures enamasti on kitsa spetsialiseerumise põhjuseks taimede sekundaarsed metaboliidid, millele putukad kohastuvad (Futuyma & Agrawal, 2009). Sekundaarsed metaboliidid on ühendid, mida taim sünteesib kaitseks herbivooride ja patogeenide vastu (Bernays & Chapman, 1994).

Paljude taimtoiduliste putukaklaadide seas on leitud fülogeneetilist konservatismi, mis tähendab, et seos sama taimetaksoniga on kestnud miljoneid aastaid ning ainult mõned liigid on oma toidutaimeliiki vahetanud (Futuyma & Agrawal, 2009). Esineb ka liblikaliike, kes toituvad fülogeneetiliselt omavahel kaugetel liikidel, kuid selle põhjuseks arvatakse olevat taimede sarnane keemiline koostis (Janz & Nylin, 1998). Samas on ka leitud, et osa polüfaage omavad laiaulatuslikku vastupanumehhanismi, mis võimaldab toituda paljudel erinevatel taimeliikidel (Futuyma & Gould, 1979). Ohakaliblika (*Vanessa cardui*) näitel on teada, et polüfaagsuse põhjuseks on kaks paari geene, millest üks on kohastunud taimeliikidele, mida on söönud ka eellasliigid ning teine on kohastunud uutele toidutaimeliikidele, olenemata nende keemilisest koostisest (de la Paz Celorio-Mancera *et al.*, 2016). Becerra ja Venable (1999) näitasid, et poilaste sugukonnas oleva perekonna *Blepharida* sugulasliigid toitusid sama keemilise koostisega taimedel, mis vahel olid ka sugulasliigid.

Vaksikud on liblikate seltsi kuuluv sugukond, mille näitel on spetsialiseerumist on hea uurida, sest neil esineb nii generalistidest kui ka spetsialistidest klaade, mis on muudes putukarühmades harv nähtus. Oma nime on eesti keeles vaksikud saanud sellest, et nende röövikud liiguvad vaksates. Vaksikuid on maailmas kirjeldatud vähemalt 23000 liiki 2002 perekonnas (van Nieukerken *et al.*, 2011). Eestis on teada 304 vaksikuliiki (Aarvik *et al.*, 2017). Meie

naaberriikides on liikide arv suhteliselt sama, vastavalt Lätis 306, Leedus 307, Soomes 311 ja Rootsis 330 liiki (Aarvik *et al.*, 2017).

Vaksikute valmikud on saleda keha ning suurte, kuid õrnade tiibadega (Hausmann 2001). Enamus liike on öise eluviisi ja varjevärvusega, kuid on ka liike, kes on päevase eluviisi ning erksavärvilise tiivakirjaga (Sihvonen *et al.*, 2011). Euroopa suurim vaksiklane on hiidsamblikuvaksik (*Hypomecis roboraria*), kelle tiibade siruulatus on kuni 6 cm ning väikseimad on kuluvaksikud *Idaea troglodytaria* ja *I. deitanaria*, kelle tiibade siruulatus on ainult 8 mm (Hausmann 2001).

Kuigi on teada vaksikuliikide ligikaudne arv maailmas, ei ole kõikide liikide uurimiseni veel kaugeltki jõutud. Siiani käib töö troopikas, uurimaks liikide morfoloogiat, käitumist ning toidutaimi (Bodner *et al.*, 2010). Ka töö parasvöötme liikidega pole veel läbi. Juba viimased kaks sajandit on peamiselt Suurbritannias ja Kesk-Euroopas tehtud ja kirja pandud vaatlusi vaksikute toidutaimede kasutuse kohta, kuid toidutaimakasutuse süstemaatiline katseline uurimine on haruldane (Novotny & Basset 2005). Kuna süstemaatilist tööd on vähe läbi viidud, võib oletada, et mõningatel polüfaagsetel vaksikuliikidel on palju rohkem toidutaimeliike, kui siiani on kirjeldatud. Samuti on arengujärgus veel vaksikute fülogeneesi rekonstruktsioon, mis viimasel ajal on siiski hoogsalt edenenud (Sihvonen *et al.*, 2011; Brehm *et al.*, 2019): üldjoontes on teada suuremate kladide omavahelised suhted, kuid molekulaarfülogeneetilistesse töödese kaasatud liike on seni vaid tuhatkond. Evolutsioonilise ökoloogia kontekstis on uuritava rühma fülogeneesi tundmine vajalik, kuna see võimaldab jälgida meid huvipakkuva tunnuse ehk toidutaimakasutuse muutumist evolutsioonis ning mõista seda kujundanud keskkonnategureid.

Panustamaks putukate toidutaimakasutuse ja spetsialiseerumise uurimisse vaksikute näitel, viidi käesolevas töös läbi laborikatse, milles uuriti, milliseid toidutaimeliike vastkoorunud vaksikuröövikud kasutasid ja milliseid mitte. Tuginedes rühma fülogeneesipuule uuriti, kas lähisugulastest vaksikuliigid sarnanevad üksteisele spetsialiseerituse astme poolest ning kas nad söövad samu taimeklaade. Sarnaseid küsimusi küsiti ka taimede kohta: kas lähisugulastest taimeliike sööb sama palju või sama vähe vaksikuliike ning kas neid kasutavad samad vaksikuklaadid.

2. Materjal ja metoodika

2.1 Katsetele eelnev andmete kogumine

Töö planeerimise faasis koostati nimekiri Eestis elavatest vaksikuliikidest ja koguti kokku olemasolevaid andmeid nende toidutaimeliikide kasutuse kohta. Vaksikuliikide nimekirja põhiosa saadi eElurikkuse andmebaasist („Eesti liigid: Geometridae“, n.d.), seda korrigeeriti ekspertide toel (Toomas Tammaru ja Erki Õunap) ning saadi kokku 301 liiki. Vaksikute toidutaimakasutuse kohta otsiti andmeid naaberriikide erialasest kirjandusest (Lisa 1) (Leraut, 2009; Mikkola *et al.*, 1985, 1989; Skou, 1986). Edasi jaotati Eesti vaksikud kahte rühma: puittaimedel ja rohttaimedel toituvad liigid. Käesolevas töös keskenduti puittaimedel toituvatele liikidele, mida oli nimekirjas 203. Puittaimed valiti seetõttu, et sooviti välja selgitada uuritavate liikide võimalikult täielik toidutaimede spekter. Rohttaimeliikide rohkuse tõttu oleks kõiki võimalikke alternatiive kaasav katse olnud liialt töömahukas ning andmestik oleks jäänud lünklikuks. Käesolev uurimustöö viidi läbi 35 puittaimedest toituvale vaksiku liigil, keda antud katse jaoks õnnestus kätte saada (Tabel 1).

Eesti vaksikute poolt kasutatavaid puittaimede liike oli kirjanduses mainitud üle 50. Käesoleva katse jaoks jäeti välja Eestis mitte-natiivsed liigid nagu viljapuud (nt ploomipuu, kirss) ja ilupuud (nt elupuu) ning Eestis haruldased liigid (nt pooppuu, laukapuu, tuhkipihlakas). Erandiks oli ainult lehis, mis jäeti valimisse, kuna see on Eestis nüüdseks naturaliseerunud liik ning annab ka parema ülevaate vaksikute okaspuudel toitumisest. Lõplikku toidutaimede nimekirja jäi 33 liiki (Tabel 2).

Tabel 1. Töös uuritud vaksikuliigid (süsteemaatiline kuuluvus antud Brehm *et al.*, (2019) järgi).

Liik (eesti k.)	Liik (lad k.)	Triibus	Alamsugukond	Pakutud taimede arv	Söödud taimede arv
Võsavaksik	<i>Ematurga atomaria</i>	<i>Boarmiini</i>	<i>Ennominae</i>	33	30
Salu-samblikuvaksik	<i>Hypomecis punctinalis</i>	<i>Boarmiini</i>	<i>Ennominae</i>	33	23
Laineserv-samblikuvaksik	<i>Alcis repandata</i>	<i>Boarmiini</i>	<i>Ennominae</i>	17	16

Mustlaik-samblikuvaksik	<i>Paradarisa consonaria</i>	<i>Boarmiini</i>	<i>Ennominae</i>	33	33
Männivaksik	<i>Bupalus piniaria</i>	<i>Boarmiini</i>	<i>Ennominae</i>	6	1
Lepa-samblikuvaksik	<i>Aethalura punctulata</i>	<i>Boarmiini</i>	<i>Ennominae</i>	33	5
Helevõõt-samblikuvaksik	<i>Cleora cinctaria</i>	<i>Boarmiini</i>	<i>Ennominae</i>	33	25
Harilik laikvaksik	<i>Lomaspilis marginata</i>	<i>Cassymini</i>	<i>Ennominae</i>	25	2
Leesikavaksik	<i>Macaria carbonaria</i>	<i>Macariini</i>	<i>Ennominae</i>	25	6
Kuuse-kärbvaksik	<i>Macaria signaria</i>	<i>Macariini</i>	<i>Ennominae</i>	33	4
Männi-kärbvaksik	<i>Macaria liturata</i>	<i>Macariini</i>	<i>Ennominae</i>	9	2
Kase-kärbvaksik	<i>Macaria notata</i>	<i>Macariini</i>	<i>Ennominae</i>	33	15
Harilik valgevaksik	<i>Cabera pusaria</i>	<i>Caberini</i>	<i>Ennominae</i>	33	6
Vöödiline atlassvaksik	<i>Lomographa temerata</i>	<i>Baptini</i>	<i>Ennominae</i>	16	3
Harilik kuuvaksik	<i>Selenia dentaria</i>	<i>Anagogini</i>	<i>Ennominae</i>	33	27
Tume-kuuvaksik	<i>Selenia tetralunaria</i>	<i>Anagogini</i>	<i>Ennominae</i>	33	27
Ruske hämaravaksik	<i>Plagodis pulveraria</i>	<i>Anagogini</i>	<i>Ennominae</i>	23	18
Sulavaksik	<i>Epirranthis diversata</i>	<i>Ennomini</i>	<i>Ennominae</i>	21	3
Kollavaksik	<i>Opisthograptis luteolata</i>	<i>Ennomini</i>	<i>Ennominae</i>	16	1
Toomingavaksik	<i>Angerona prunaria</i>	<i>Gnophini</i>	<i>Ennominae</i>	33	26
Hammasvaksik	<i>Odontopera bidentata</i>	<i>Odontoperini</i>	<i>Ennominae</i>	10	9
Mustika-õrnvaksik	<i>Jodis putata</i>	<i>Hemitheini</i>	<i>Geometrinae</i>	31	11
Kase-täpikvaksik	<i>Cyclophora albipunctata</i>	<i>Cosymbiini</i>	<i>Sterrhinae</i>	33	1
Vahtra-täpikvaksik	<i>Cyclophora annularia</i>	<i>Cosymbiini</i>	<i>Sterrhinae</i>	6	1
Puhma-lehevaksik	<i>Scopula floslactata</i>	<i>Scopulini</i>	<i>Sterrhinae</i>	33	16
Sagaravaksik	<i>Lobophora halterata</i>	<i>Trichopterygini</i>	<i>Larentiinae</i>	17	2
Kuustiibvaksik	<i>Pterapherapteryx sexalata</i>	<i>Trichopterygini</i>	<i>Larentiinae</i>	4	1
Haava-liipvaksik	<i>Trichopteryx carpinata</i>	<i>Trichopterygini</i>	<i>Larentiinae</i>	33	25
Kevad-pisivaksik	<i>Eupithecia lanceata</i>	<i>Eupitheciini</i>	<i>Larentiinae</i>	15	2
Paakspuuvaksik	<i>Triphosa dubitata</i>	<i>Triphosini</i>	<i>Larentiinae</i>	32	5
Vöödiline kirivaksik	<i>Xanthorhoe spadicearia</i>	<i>Xanthorhoini</i>	<i>Larentiinae</i>	3	1
Sinkjas kirivaksik	<i>Hydriomena impluviata</i>	<i>Hydriomenini</i>	<i>Larentiinae</i>	20	3
Sarapuu-kirivaksik	<i>Electrophaes corylata</i>	<i>Cidariini</i>	<i>Larentiinae</i>	16	3
Suur-kirivaksik	<i>Dysstroma truncata</i>	<i>Cidariini</i>	<i>Larentiinae</i>	15	7
Okka-kirivaksik	<i>Thera variata</i>	<i>Cidariini</i>	<i>Larentiinae</i>	4	1

Tabel 2. Töös kasutatud vaksikute toidutaimede liigid.

Liik (eesti k.)	Liik (lad k.)	Sugukond	Selts	Mitmele liblikale pakuti	Mitu liblikat sõi
Hall lepp	<i>Alnus incana</i>	<i>Betulaceae</i>	<i>Fagales</i>	24	16
Sanglepp	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Betulaceae</i>	<i>Fagales</i>	23	17
Arukask	<i>Betula pendula</i>	<i>Betulaceae</i>	<i>Fagales</i>	27	16
Sookask	<i>Betula pubescens</i>	<i>Betulaceae</i>	<i>Fagales</i>	24	15
Harilik sarapuu	<i>Corylus avellana</i>	<i>Betulaceae</i>	<i>Fagales</i>	24	14
Harilik tamm	<i>Quercus robur</i>	<i>Fagaceae</i>	<i>Fagales</i>	23	11
Harilik toomingas	<i>Prunus padus</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Rosales</i>	22	15
Harilik pihlakas	<i>Sorbus aucuparia</i>	<i>Rosaceae</i>	<i>Rosales</i>	25	13
Harilik jalakas	<i>Ulmus glabra</i>	<i>Ulmaceae</i>	<i>Rosales</i>	23	9
Harilik paakspuu	<i>Frangula alnus</i>	<i>Rhamnaceae</i>	<i>Rosales</i>	24	11
Harilik türnpuu	<i>Rhamnus cathartica</i>	<i>Rhamnaceae</i>	<i>Rosales</i>	25	11
Harilik haab	<i>Populus tremula</i>	<i>Saliaceae</i>	<i>Malpighiales</i>	26	13
Kahevärviline paju	<i>Salix phylicifolia</i>	<i>Saliaceae</i>	<i>Malpighiales</i>	22	12
Raagremmelgas	<i>Salix caprea</i>	<i>Saliaceae</i>	<i>Malpighiales</i>	24	14
Tuhkur paju	<i>Salix cinerea</i>	<i>Saliaceae</i>	<i>Malpighiales</i>	22	10
Harilik vaher	<i>Acer platanoides</i>	<i>Sapindaceae</i>	<i>Sapindales</i>	22	7
Harilik pärn	<i>Tilia cordata</i>	<i>Malvaceae</i>	<i>Malvales</i>	24	11
Must sõstar	<i>Ribes nigrum</i>	<i>Grossulariaceae</i>	<i>Saxifragales</i>	24	13
Verev kontpuu	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Cornaceae</i>	<i>Cornales</i>	26	12
Harilik lodjapuu	<i>Viburnum opulus</i>	<i>Adoxaceae</i>	<i>Dipsacales</i>	26	13
Harilik kuslapuu	<i>Lonicera xylosteum</i>	<i>Caprifoliaceae</i>	<i>Dipsacales</i>	20	8
Harilik saar	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Oleaceae</i>	<i>Lamiales</i>	26	11
Sookail	<i>Ledum palustre</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Ericales</i>	26	4
Kanarbik	<i>Calluna vulgaris</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Ericales</i>	22	7
Harilik küüvits	<i>Andromeda polifolia</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Ericales</i>	23	11
Sinikas	<i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Ericales</i>	27	9
Harilik mustikas	<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Ericales</i>	26	16
Harilik pohl	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Ericales</i>	24	10
Harilik jõhvikas	<i>Vaccinium oxycoccus</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Ericales</i>	21	7

Harilik kadakas	<i>Juniperus communis</i>	<i>Cupressaceae</i>	<i>Pinales</i>	27	7
Euroopa lehis	<i>Larix decidua</i>	<i>Pinaceae</i>	<i>Pinales</i>	24	6
Harilik mänd	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinaceae</i>	<i>Pinales</i>	22	5
Harilik kuusk	<i>Picea abies</i>	<i>Pinaceae</i>	<i>Pinales</i>	26	6

2.2 Vaksikute toidutaimekasutuse katsed

Saamaks vastkoorunud röövikuid laborikatseteks, püüti emaseid liblikaid ajavahemikul 26. aprillist 11. augustini 2019. aastal. Liblikad püüti mitmetest kohtadest üle Eesti, kuid peamiselt Kanepi vallast Karilatsilt ja Kastre vallast Järveljalt. Toidutaimeid korjati Tartu ümbrusest.

Liblikate püüdmisel ja munele panemisel juhinduti suuresti laboris varem välja töötatud meetodikast (Holm *et al.*, 2018, 2019). Enamus liike püüti öösel valguspüügiga, väheste päevase aktiivsusega liikide emased püüti päevasel ajal liblikavõrguga. Peale püüki asetati isendid ükshaaval ja olevalt isendi suurusest, kas 50 ml või 100 ml plasttoppidesse. Esimesel võimalusel määrati emase liik, mille jaoks kasutati nii eksperdi Toomas Tammaru kui ka Eesti liblikate määraja (Viidalepp & Remm, 1996) abi. Püütud isendid viidi laborisse, kus pandi topsi tükike salvrätikut, mida oli niisutatud suhkrulahusega, et liblikas saaks toituda. Lisaks pandi topsi vastavale vaksiku liigile sobiva toidutaime leht koos oksatükiga, mis vältis lehe kiiret kuivamist. On nimelt teada, et rööviku toidutaime olemasolu laborikeskkonnas mõjub vaksikute munemiskäitumisele stimuleerivalt (Tammaru & Javoš, 2000). Liblikaid hoiti topsides, kuni munad olid munetud ning emane surnud. Surnud liblikad nõelastati ja hoiustati võimaldamaks määrangu hilisemat kontrollimist. Munadega topsid jäeti toatemperatuurile koorumiseks, vältides otsest päikesevalgust, et munad ära ei kuivaks.

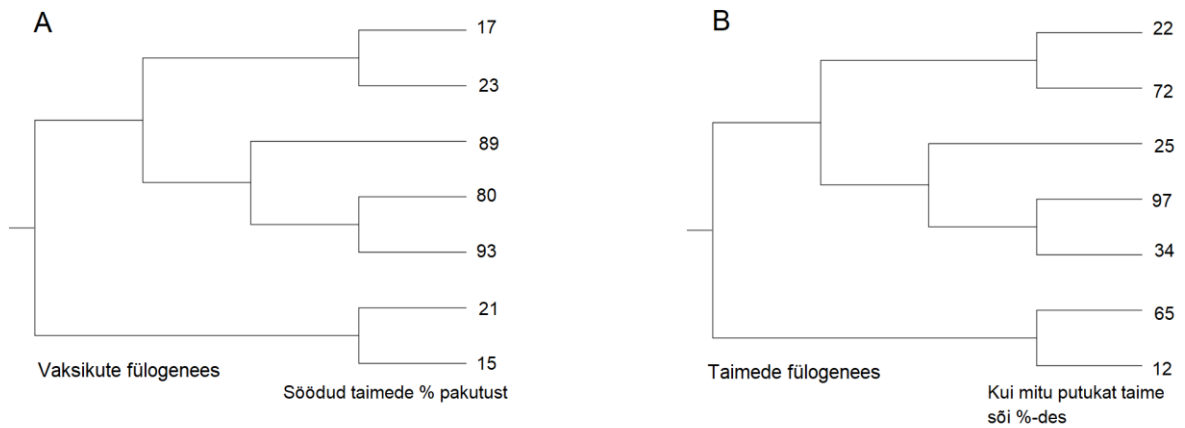
Rööviku toidutaimekasutuse testimine järgis Holmi jt (2019) poolt välja töötatud meetodikat. Pärast koorumist asetati röövikud koheselt õrnalt pintsliga kolmekaupa uutesse topsidesse, millest igäühes oli ühe kindla taimeliigi lehti. Oluline oli asetada röövikud taime peale, et nad saaksid kohe toituma hakata. Kasutasime kolme isendit, et vältida mõne isendi võimalikust vigastamisest tulenevat valenegatiivset tulemust. Topsid märgistati toidutaime ja vaksikuliigi nime ja kuupäevaga ning jäeti 48 tunniks seisma. Topsid jäeti lauale tagurpidi ning topsi ja kaane vahele asetati ka valge salvrätik, et röövikute elutegevuse jäljed oleksid paremini näha. Juhul kui röövikud olid taime sööma asunud, olid topsis hästi näha putuka väljaheiteid ning

röövikud olid ka palju suuremad kui koorudes. Kõiki uuritavaid taimi pakuti igale vaksikuliigile kuni viies korduses vastavalt sellele, kui palju röövikuid koorus. Kui võimalik, siis kasutati sama taimeliigi korduval testimisel erinevate emaste järglaskondi. Kui koorunud röövikuid ei olnud piisavalt kõigi 33 taime testimiseks, valiti uuringusse kaasatavad taimed juhuslikult, võttes valimisse siiski selle ühe taime, mille kasutamist peeti kirjanduse andmetele tuginedes kõige tõenäosemaks. Katse tulemusena saadi kirja binaarne muutuja iga uuritud vaksikuliik-taimeliik kombinatsiooni jaoks (kasutab/ei kasuta). Positiivne tulemus läks kirja siis, kui taimeliigi söömine tuvastati enamuses kordustest (või kahest ühes).

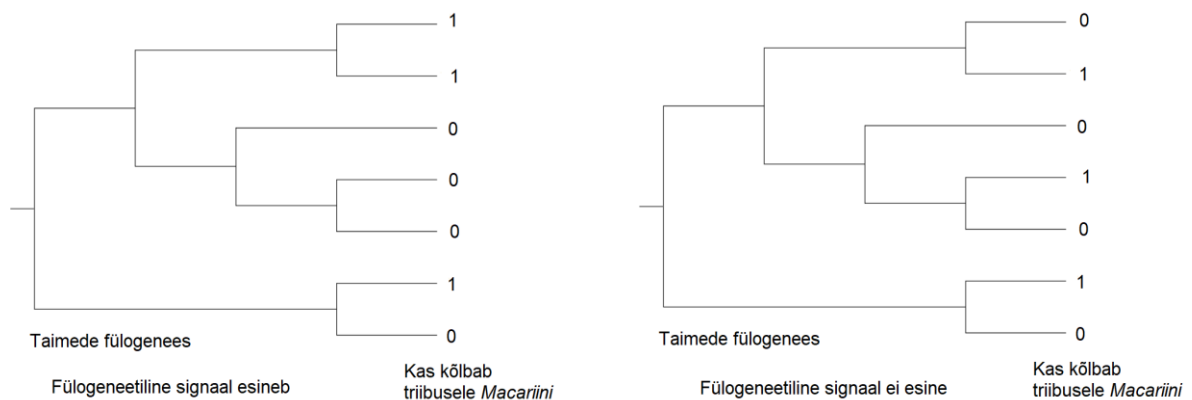
2.3 Andmeanalüüs

Vastust püüti leida järgmistele küsimustele:

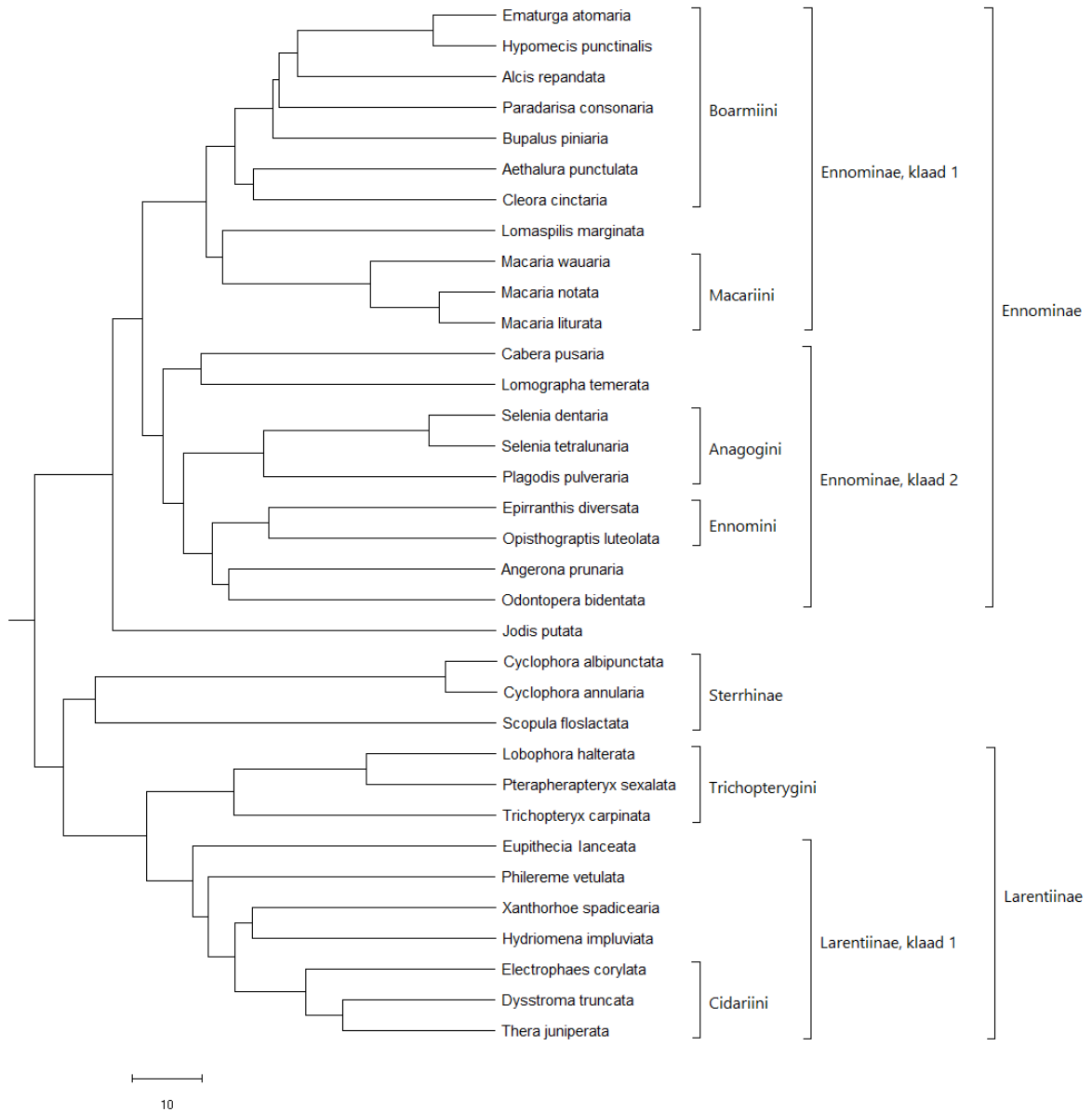
1. Fülogeneetiline signaal vaksikute spetsialiseerituse astmes, mis näitab, kas lähisugulasliikidest vaksikud on sarnase spetsialiseerituse tasemega ehk kas valitud vaksikuliigi spetsialiseerituse astme alusel võib ennustada ka tema sugulasliigi spetsialiseerituse astet (Joonis 1A). Sõltuvaks muutujaks oli protsent, mitut taimeliiki antud vaksikuliik kõikide pakutud toidutaimeliikide hulgast sõi. Analüüsis kasutati 28 vaksikuliiki, välja jäeti need vaksikuliigid, millele sai pakkuda vähem kui 9 toidutaimeliiki.
2. Fülogeneetiline signaal toidutaimeliikide söödavuses, mis näitab seda, kas lähisugulasliikidest taimeliikid on sarnased selles osas, et neid söödi kas paljude või väheste vaksikuliikide poolt (Joonis 1B). Sõltuvaks muutujaks oli protsent, kui palju vaksikuliike kõikidest vaksikuliikidest sõi antud taimeliiki.
3. Fülogeneetiline signaal vaksikurühmade toidutaimeliikide kasutuses. Seati eesmärgiks teada saada, kas valitud klaad vaksikuid toitub lähisugulasliikidest taimeliikidel või ei (Joonis 2). Selle arvutamiseks kasutati üks/null sõltuva muutujaga analüüsi, kus muutujaks oli antud vaksikuklaadi puhul see, kas valitud taimeliiki söödi või ei. Positiivne tulemus (1) sai taimeliigile kirja, kui üle poolte vaadeldava vaksikuklaadi liikidest sõid antud taimeliiki. Kui taime kasutajaid oli alla poole vaksikuliikidest, siis oli väärtuseks 0. Analüüsis vaadeldi 12 vaksikuklaadi, millest 7 vastasid triibuse tasemele ja ülejäänud alamsugukondade tasemele (Joonis 3).



Joonis 1. (A) on hüpoteetiline näide illustreerimaks fülogeneetilist signaali vaksikute spetsialiseerituse astmes: lähiliikide puhul on protsent kas sarnaselt suur või sarnaselt väike. (B) on hüpoteetiline näide fülogeneetilise signaali puudumisest toidutaimede söödavuses: lähiliikide näitajad on erinevad.

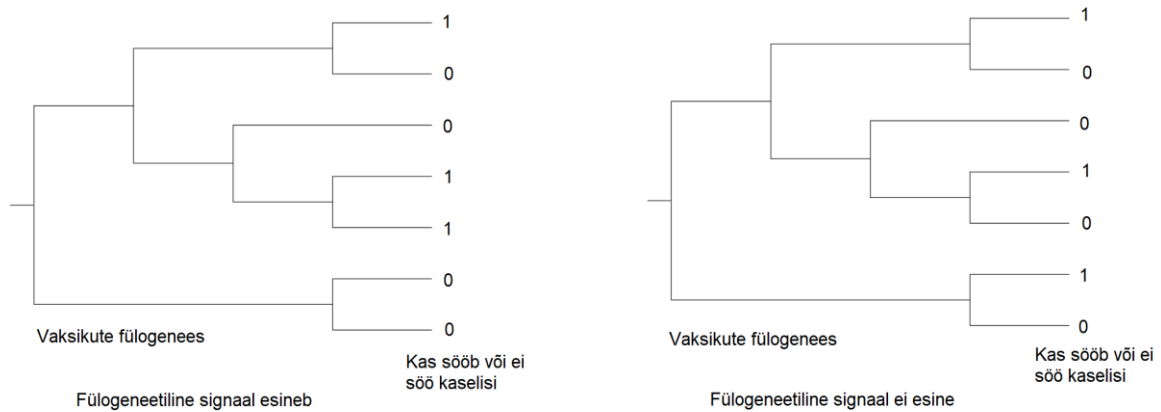


Joonis 2. Hüpoteetiline näide fülogeneetilise signaali uurimisest vaksikurühmade toidutaimede kasutuses. Vasakul joonisel esineb fülogeneetiline signaal (kasutatakse pigem lähisugulasliike) triibuse *Macariini* puhul, parempoolsel joonisel signaali ei esine (ei kasutata lähisugulasliike).

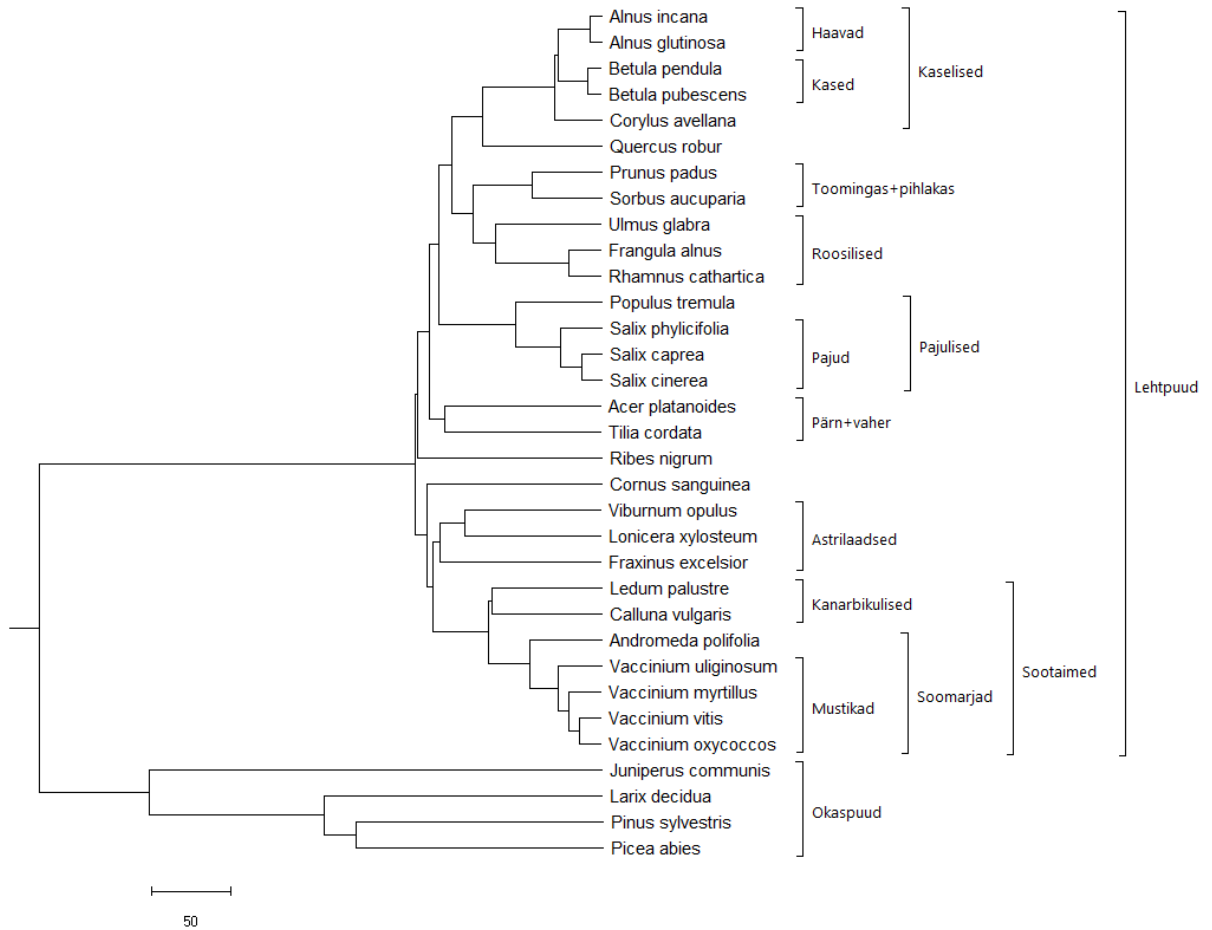


Joonis 3. Andmeanalüüsidest kasutatud vaksikute kladid. Number 10 all näitab muutuste arvu antud vahemikus.

4. Fülogeneetiline signaal taimerühmade söödavuses, mille abil üritati teada saada, kas teatud taimeklaade söövad vaksikuliigid on omavahel lähisugulased (Joonis 4). Analüüsis vaadeldud taimeklaadid vastasid umbes perekonnale või sugukonnale (Joonis 5).



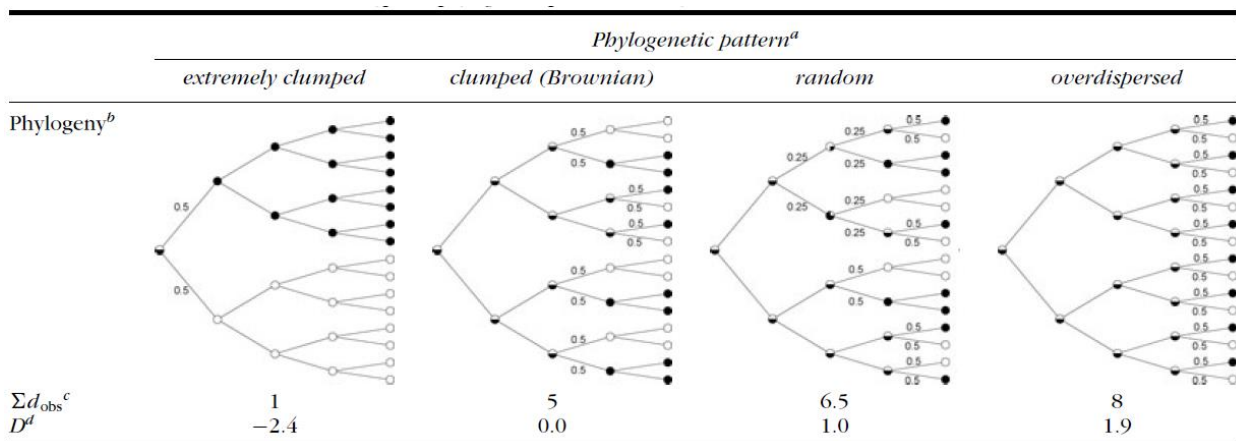
Joonis 4. Näide fülogeneetilise signaali uurimisest taimerühmade söödavuses. Vasakpoolsel joonisel esineb fülogeneetiline signaal kaseliste söömisel (kaselisi söövad pigem lähisugulastest vaksikuliigid), parempoolsel joonisel signaal puudub (kaseliste söömine on jaotunud vaksikute hulgas fülogeneetilisest lähedusest sõltumata).



Joonis 5. Andmeanalüüsid kasutatud taimeliikide monofüleetilised rühmad. 50 all nurgas näitab muutuste arvu antud vahemikus.

Kõik andmeanalüüsid viidi läbi statistikaprogrammis R. Töös kasutatud vaksikuliikide fülogeneesipuu koostas geenandmete põhjal Erki Õunap. Katses kasutatud, kuid fülogeneesipuudes mitte leiduvad liigid asendati lähiliikidega (*Thera variata* → *T. juniperata*, *Triphosa dubitata* → *Philerme vetulata*, *Macaria carbonaria* → *M. wauaria*). Üks liik, kuusekärbvaksik (*Macaria signaria*) jäi analüüsist välja, kuna tema kohta ei olnud piisavalt geenijärjestusi ning ka tema lähiliigid olid andmestikus juba esindatud, seega ei saanud tema asukohta fülogeneesipuu üheselt määrata. Töös kasutatud vaksikute toidutaimede fülogeneesipuu koostati Euroopa floora fülogeneesipuu põhjal (Durka & Michalski, 2012).

Fülogeneetilise signaali arvutamiseks pidevate tunnuste puhul ehk vaksikute polüfaagsuse (uurimisküsimus 1) ja taimede söödavuse (uurimisküsimus 2) uurimiseks kasutati indeksit λ (Pagels, 1999) R paketi *caper* (Orme *et al.*, 2018). Fülogeneetilise signaali arvutamiseks binaarsete tunnuste puhul ehk selleks, et uurida, kas mingi vaksikurühma toidutaimede kasutuses (uurimisküsimus 3) või taimerühma söödavuses (uurimisküsimus 4) on fülogeneetilist signaali, kasutati indeksit D (Fritz & Purvis, 2010) R paketi *caper* (Orme *et al.*, 2018). Kui D väärtus on suurem kui 1, jaotuvad tunnused fülogeneetiliselt juhuslikult liikide vahel, kui väärtus on 0, siis on tunnuse leidumine sugulasliikidel seletatav Browni liikumisega, ning kui väärtus on väiksem kui 0, siis esineb tunnuse enamjaolt sugulasliikidel (Fritz & Purvis, 2010; Joonis 6). D -indeksi olulisust mõõdetakse vaadeldud tunnuse jaotuse erinevuse abil mudeli (juhuslik või Brown) poolt ennustatud tunnuse jaotusest fülogeneesipuu, kusjuures $p < 0.05$ näitab, et vaadeldav jaotus erineb mudeli poolt ennustatud jaotusest.



Joonis 6. Binaarsete tunnuste esinemine fülogeneesipuu vastavalt fülogeneetilise signaali indeksile D (Fritz & Purvis, 2010).

2.4 Töö autori roll

Käesoleva magistritöö autor viis juhendajate suuniste järgi läbi enamuse laboratoorsest tööst, andmeanalüüsi ning kirjutas teksti. Laboratoorse töö jaoks vajalikud liblikad püüdis Toomas Tammaru, andmeanalüüside jaoks vajalike skriptidega varustas Pille Gerhold ning Erki Õunap koostas tööks vajaliku vaksikute fülogeneesipuu.

3. Tulemused

3.1 Vaksikute toidutaimekasutus

Kokku sai toidutaimi pakutud 35 vaksikuliigile, kellest 14 puhul oli võimalik testida kõigi 33 taimeliigi söödavust. Nende 14 liigi puhul oli keskmine kasutatavate taimede arv 19. Enamus uuritud vaksikuliikidest olid polüfaagid, mis tähendab seda, et söödi palju erinevaid taimeliike (Lisa 2). Monofaage oli kokku 8: männivaksik (*Bupalus piniaria*) sõi ainult mäнди, kase-täpikvaksik (*Cyclophora albipunctata*) toitunud ainult arukasest, vahtra-täpikvaksik (*C. annularia*) sõi vahtrat, vöödilise kirivaksik (*Xanthorhoe spadicearia*) sõi harilikku mustikat, okka-kirivaksik (*Thera variata*) ja kevad-pisivaksik (*Eupithecia lanceata*) toitunud kuusest, kollavaksik (*Opisthograptis luteolata*) harilikust toomingast ning kuustiibvaksik (*Pterapherapteryx sexalata*) vaid raagremmelgast.

Polüfaagid olid näiteks mustlaik-samblikuvaksik (*Paradarisa consonaria*), kellele sobisid kõik pakutud taimeliigid, samuti sõi enamust taimeliikidest ka toomingavaksik (*Angerona prunaria*), kuid erinevalt eelmisest, ei kõlvanud toomingavaksikule enamused okaspuid, küüvits, jõhvikas ja vaher. Ka võsavaksik (*Ematurga atomaria*) oli selge polüfaag, kellele siiski ei sobinud okaspuud ega saar. Enamikke taimeliike sõi ka laineserv-samblikuvaksik (*Alcis repandata*), ainsana ei sobinud talle sookail, kuid röövikute vähesuse tõttu sai proovitud ainult 17 taimeliiki 33-st. Ülejäänud vaksikuliigid toitunud enamjaolt lehtpuudest ja põõsastest ning kanarbikulisest. Leidus ka mõningaid erandeid nagu kuuse- ja männi-kärbvaksikud (*Macaria signaria* & *M. liturata*), kellest esimesele sobisid kõik pakutud okaspuud ning teisele mäнд ja kadakas. Esines ka mõningaid liike, kes peale lehtpuude sõid ka mõnda okaspuud nagu näiteks helevööt-samblikuvaksik (*Cleora cinctaria*), kellele sobis ka kadakas. Samuti sõi puhma-lehevaksik (*Scopula floslactata*) peale lehtpuude ka euroopa lehist. Kõige populaarsemateks toidutaimedeks osutusid kaseliste sugukonna liigid, mida sõi 21 vaksikuliiki 33st.

3.2 Vaksikute toidutaimekasutuse võrdlus kirjanduse andmetega

Oli ainult mõni vaksikuliik, kelle katses tuvastatud toidutaimekasutus ühtis kirjanduse andmetega. Sellised on kevad-pisivaksik (*Eupithecia lanceata*) ja okka-kirivaksik (*Thera*

variata), kes söid käesolevas töös tehtud katses kui ka kirjanduse andmetel ainult kuuske ning männivaksik (*Bupalus pinaria*), kes toitub männil. Selline kooskõla leiti ka kuustiibvaksikul (*Pterapherapteryx sexalata*), kelle toidutaimeks on raagremmelgas ja vöödilisel kirivaksikul (*Xanthorhoe spadicearia*), kelle toidutaimeks on harilik mustikas. Männi-kärbvaksiku (*Macaria liturata*) toidutaimedeks on nii läbiviidud katses kui kirjanduses mänd ja kadakas, kuid kadakas toodi välja ainult Soome kirjanduses (Mikkola *et al.*, 1989), mitte Põhja-Euroopas (Skou 1986) ja Euroopas üldiselt (Leraut 2009). Kase- ja vahtra- täpikvaksikute (*Cyclophora albipunctata* ja *C. annularia*) puhul katses saadud tulemus ja kirjanduses leitud tulemused ühtisid enamjaolt, ainsana oli erinev seisukoht Hausmanni (2004) raamatus, kus toodi välja, et esimest liiki on leitud ka lepal, tammel ning kasvatatud veel ka kasel ja jalakal ning teist liiki on leitud ka kasel, pajul ja tammel. Sama kehtis kuuse-kärbvaksiku (*Macaria signaria*) puhul, kes söi kõiki katses antud okaspuid, kuid kadakat ei ole kirjanduses välja toodud. Üldiselt torкас silma, et mida rohkem erinevaid toidutaimeliike vaksikuliik söi, seda suurem vahe oli katse andmetel kirjandusest leitud andmetega ehk mida polüfaagsem on vaksikuliik, seda puudulikumad on kirjanduse andmed. Kõige paremaks näiteks on mustlaik-samblikuvaksik (*Paradarisa consonaria*), kes söi kõiki talle pakutud liike, kuid erinevate kirjandusallikate peale kokku leidsin vaid järgmised toidutaimedena nimetatud liigid: mänd, pihlakas, lepp, sarapuu, kask, tamm, pärn, paju, mustikas, toomingas. Sama kehtib ka võsavaksiku puhul, kelle puhul Skou (1986) ja Leraut (2009) tõid välja, et selle toidutaimeks on puittaimedest kanarbik, samal ajal kui Mikkola jt (1989) mainisid, et antud liigile sobivad veel mustikas, sinikas, sookail, pihlakas, kask ja paju. Oma katses suutsin näidata, et antud liigile sobivad veel 19 taimeliiki ning ainsad puud, mida võsavaksik ei söödud, olid kuusk, mänd ja saar.

Leidus ka mõningaid vaksikuliike, kelle puhul lisandus katsest toidutaimi juurde, kuid kõiki kirjanduses mainitud toidutaimi ei söödud. Lepa-samblikuvaksik (*Aethalura punctulata*) on heaks näiteks, sest Mikkola jt. (1989) ning Müller jt (2019) väidavad, et liik peaks toituma ka pajudel ja sookailul. Käesolevas töös seda ei tuvastatud, kuid leiti, et liik toitub peale kaskede ja leppade ka veel sarapuul. Sama oli ka salu-samblikuvaksikuga (*Hypomecis punctinalis*), kelle puhul tõi Leraut (2009) välja, et liik sööb veel kuslapuud ning Mülleri jt (2019) poolt lisandusid lehis ja vahter. Katse tulemusena saab juurde lisada, et antud liigile sobib ka veel haab, jalakas, küüvits, lodjapuu, must sõstar, pohl, saar, sarapuu, toomingas ja türnpuu. Kõige täpsemaks osutusid kirjanduse andmed polüfaagide osas hariliku kuuvaksiku (*Selenia dentaria*) puhul,

kelle puhul lisandus kirjanduses olevale 24 toidutaimele veel ainult kolm toidutaimet – jõhvikas, küüvits ja saar. Üldiselt võib kirjanduse andmeid seega hinnata suhteliselt usaldusväärseteks.

3.3 Fülogeneetiline signaal vaksikute spetsialiseerituse astmes

Vaksikutel leiti spetsialiseerituse astmes tugev fülogeneetiline signaal ($\lambda=0.969$, $p=0.018$). See tähendab, et lähedalt suguluses olevad vaksikuliigid toituvad sarnasel arvul toidutaimeliikidel. Näiteks toitus vaid ühel toidutaimeliigil kase-täpikvaksik (*Cyclophora albipunctata*) ning talle kõige lähem liik käesoleva töö katses vahtra-täpikvaksik (*C. annularia*) toitus samuti ühelainsal taimeliigil. Kõige suuremal arvul toidutaimeliikidel toitus mustlaik-samblikuvaksik (*Paradarisa consonaria*), kellele sobisid antud katses kõik toidutaimeliigid. Sama kehtis ka tema lähiliikide võsavaksik (*Ematurga atomaria*) ja laineserv-samblikuvaksik (*Alcis repandata*) kohta, kes söid vastavalt 90% ja 94% katses pakutud toidutaimi.

3.4 Fülogeneetiline signaal toidutaimede söödavuses

Fülogeneetiline signaal esines ka toidutaimeliikide söödavuses ($\lambda=0.852$, $p=0.0015$). Antud tulemus näitab seda, et lähisugulastest taimeliike söödi sarnaselt palju või sarnaselt vähe. Näiteks kõige vähem taheti sookailu (*Ledum palustre*), mida söi ainult 22% liblikaliikidest ning samuti söödi vähe tema lähiliiki kanarbikku (*Calluna vulgaris*), mida söi 35% vaksikuid. Kõige rohkem söödi lepa perekonna liike, vastavalt 68% halli leppa (*Alnus incana*) ja 75% sangleppa (*A. glutinosa*).

3.5 Fülogeneetiline signaal vaksikurühmade toidutaimede kasutuses

Uurides fülogeneetilist signaali toidutaimede kasutuses vaksikurühmade kaupa, leiti, et järgmised vaksikuklaadid toituvad enamasti sugulasliikidest taimedel: alamsugukond *Ennominae* ($D = -0.746$, $p(\text{juhuslik}) < 0.001$, $p(\text{Brown}) = 0.854$), selle alamklaad 1 ($D = -0.225$, $p(\text{juhuslik}) = 0.011$, $p(\text{Brown}) = 0.636$) ja alamklaad 2 ($D = -0.270$, $p(\text{juhuslik}) = 0.004$, $p(\text{Brown}) = 0.655$) ning triibus *Anagogini* ($D = -0.765$, $p(\text{juhuslik}) = 0.001$, $p(\text{Brown}) = 0.806$). Kõik vaksikuklaadid, kellel fülogeneetiline signaal esines, toitusid enamasti lehtpuudest ja

põõsastest, samal ajal kui kanarbikulisi ja okaspuid enamjaolt ei tahetud. Fülogeneetilist signaali ei esinenud alamsugukondades *Sterrhinae* ja *Larentiinae* ning selle esimeses alamklaadis ning triibustes *Boarmiini*, *Trichopterygini*, *Ennomini*, *Macariini* ja *Cidariini* (Joonis 3).

3.6 Fülogeneetiline signaal taimerühmade söödavuses

Fülogeneetiline signaal söödavuses tuvastati järgmiste taimeklaadide osas ehk neid taimeklaade söid lähisugulastest vaksikuliigid: roosilised ($D = -0.392$, $p(\text{juhuslik}) = 0.014$, $p(\text{Brown}) = 0.697$), pajulised ($D = -0.621$, $p(\text{juhuslik}) = 0.014$, $p(\text{Brown}) = 0.784$), lehtpuud ($D = -0.483$, $p(\text{juhuslik}) = 0.01$, $p(\text{Brown}) = 0.756$) ja pajud ($D = -0.213$, $p(\text{juhuslik}) = 0.027$, $p(\text{Brown}) = 0.647$) (Joonis 2). Samuti esines marginaalselt oluline fülogeneetiline signaal kanarbikulistel ($D = -0.0349$, $p(\text{juhuslik}) = 0.054$, $p(\text{Brown}) = 0.545$). Teisisõnu, just nende taimerühmade kohta võib öelda, et mõned vaksikurühmad on neile spetsialiseerunud: kui ühe vaksikuklaadi üks liik toitub roosilaadsetel, siis teeb seda keskmisest suurema tõenäosusega ka teine selle klaadi liik. Sellist spetsialiseerumist ei täheldatud järgmiste taimeklaadide puhul: astrilaadsed, sootaimed, soomarjad, pärn+vaher, kaselised, toomingas+pihlakas, okaspuud, mustikad, kased ja haavad (Joonis 5).

4. Arutelu

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada Eestis elavate puittaimedel toituvate vaksikute toidutaimed manipulatiivse laborikatse teel. Samuti uuriti, kas esineb fülogeneetilisi signaale vaksikute ja toidutaimede vahel.

4.1 Vaksiklaste toidutaimerasutus

Käesoleva töö originaalkatsetest ilmnes, et enamus vaksikuid on polüfaagid, mis vastandub üldistele trendidele putukate klassis (Futuyma & Agrawal 2009). Nende mõne liigi puhul, kes katse tulemuste põhjal on monofaagid, ei saa praegu siiski täie kindlusega väita, et nad ka tõesti seda on, kuna enamikel neist liikidel ei olnud röövikute valim piisavalt suur võimaldamaks neile pakkuda kõiki taimi. Ainukeseks erandiks on siin kase-täpikvaksik (*Cyclophora albipunctata*), kellele sai antud kõiki taimi ning ainsana sõi ta neist arukaske. Kuigi Soome kirjanduses (Mikkola *et al.*, 1985) on välja toodud, et kõnealune liik peaks sööma ka sookaske, siis antud katse puhul see kinnitust ei leidnud. Samas võib olla probleemiks see, et röövikute vähesuse tõttu ei saanud katset korrata ning peale kordamist võib tulemus hiljem teistsugune olla.

4.2 Kirjandusallikate usaldatavus

Kui monofaagide puhul originaalkatsete tulemused kirjandusest teada olevale toidutaimede nimekirjale lisa ei pakkunud, siis polüfaagide puhul said enamus liike „toidutaimi juurde“. Põhjus võib olla selles, et taimeliikide hulk, mida emased kasutavad munemiseks, on palju väikem sellest hulgast, mis sobib röövikutele kasvamiseks (Wiklund 1975). See näitab, et kui tahta saada tegelikku nimekirja toidutaimedest, on vaja senisest rohkem läbi viia manipulatiivseid uuringuid. Üldiselt võib siiski öelda, et „liblikakirjandusest“ leitavad andmed vaksikuliikide toidutaimerasutuse kohta on üpris usaldusväärsed – kirjandusel põhinevad ja katses leitud toidutaimede nimekirjad ikkagi põhiosas kattusid. Vaksikute toidutaimerasutust Põhja-Euroopas ei peegelda siiski piisavalt hästi „The Geometrid Moths of Europe” sarja

raamatud, kuhu on kogutud andmeid üle Euroopa –mõningaid seal mainitud toidutaimi ei leia muust kirjandusest ning nende kasutamist ei toeta ka käesoleva töö originaalkatsed. Selle põhjuseks suure tõenäosusega on see, et sinna on kaasatud enamuse viimase sajandi andmeid ning kuna liblikaliikide määramine pool sajandit tagasi ei pruukinud olla kõige täpsem, siis võis esineda mõningaid vigu, mis kõnealusesse raamatutesse hiljem üle kanti. Samas juhiks tähelepanu ka sellele, et enamuse kasutatud raamatuist ei kuulu rangelt võttes teaduskirjanduse hulka ning teaduslikult Euroopa vaksiklaste toidutaimakasutust uuritud ei ole. Autorile teadaolevalt on käesolev töö esimene selles valdkonnas.

4.3 Fülogeneetiline signaal putukate toidutaimakasutuses

Fülogeneetiline signaal putukate toitumiseelistuses on teada kildudena. Ajakohased tööd on enamasti välja toonud, et suguluses olevad putukad toituvad sugulastoidutaimedel nagu see on näiteks päevaliblikate puhul hästi teada (Janz & Nylin, 1998). Üheks kõige paremaks lähenemiseks on siin olnud tuvastada putukate ja taimede fülogeneeside vaheline kongruentsus, mis sobib hästi illustreerima olukorda, kus sugulastest putukaliigid toituvad sugulastest taimeliikidel. Näitena sobib välja tuua Farrelli ja Mitteri (1990) töö, kus uuriti poilaste perekonna *Phyllobrotica* toidueelistusi ja leiti, et enamuse nendest toitust tihaseina (*Scutellaria*) liikidel. Fülogeneetiline signaal esineb ka teise poilaste perekonna *Blepharida* puhul. Töös leiti, et kui toituti samas regioonis mitmel taimel, siis taimi iseloomustas sarnane keemiline koostis ning nad olid enamasti suguluses (Becerra & Venable, 1999). Käesoleva töö originaalkatses nii selget tulemust ei saadud – sugulasliikidel toitumist leiti siiski pajuliste ja roosilaadsete puhul või lehtpuudel üleüldiselt. Samas peab arvestama, et käesolevas töös uuritud vaksiklaste sugukond on varasemates töödes käsitletud rühmadest oluliselt suurem.

Väiksemaid teemakohaseid uuringuid on veel, kuid viimasel ajal on keskendutud putukaklaadide ühiste eellaste toidutaimede väljaselgitamisele. Tulemuste põhjal saab enamasti järeldada, et enamuse perekondi ja sugukondi on pikka aega püsinud sama taimeklaadiga seotuna. Nagu näiteks on toodud välja, et ratsulibliklaste (*Papilionidae*) sugukond on tihedalt seotud magnoliididega, punnpealisi (*Hesperiidae*) leidub enamasti üheidulehelistel, põualibliklased (*Pieridae*) leiab enamjaolt asteriididelt ning sugukonnad koerlibliklased (*Nymphalidae*), sinilibliklased (*Lycaenidae*) ja nurmenukulibliklased (*Riodinidae*) on enamasti

seotud rosiidide ja mõningate asteriididega (Ferrer-Paris et al. 2013). Sama on toodud välja võrgendkoide (*Yponomeuta*) puhul, kelle ühine eellane toitub kikkapuulistel (Menken, 1996). Suure tõenäosusega toitub enamus võrgendkoisid siiani kikkapuulistel, kuid mõnede nooremate sugulasliikide puhul on toidutaimedeks kas roosõielised või pajulised. Neid eelistavad enamasti just lähisugulastest putukad (Menken, 1996). Hiidüraskid (*Dendroctonus*) toituvad männilistel, enamus isegi männi perekonna liikidel, kuid mingit seost taimede ja putukate fülogeneeside vahel ei leitud (Kelley & Farrell, 1998). Küll leiti, et lähisugulasliigid toitusid sarnastel taimeliikide komplektidel (Kelley & Farrell, 1998), mida leiti ka käesolevas töös. Nylin, Slove ja Janz (2014) leidsid ülal mainitud koerlibliklaste lähemal uurimisel, et selle sugukonna puhul esineb fülogeneetiline signaal palmilaadsete, oalaadsete, emajuurelaadsete, iminõgeselaadsete, malpiigialaadsete, kõrreliselaadsete, roosilaadsete, seebipuulaadsete ja maavitsalaadsete kasutamisel: neilt taimeseltsidelt leiab enamasti sugulasliike. Peale selle on leitud ka troopika herbivooride puhul fülogeneetilist signaali, kui mingi herbivoor toitub mitmel taimeliigil, siis need on enamasti lähisugulasliigid (Novotny *et al.*, 2002).

Käesolev töö leidis vaksiklaste hulgas väga palju polüfaage, samas kui Bernays ja Chapman (1994) tõid välja, et liblikaliste seas üldiselt on polüfaage vähem kui 20%. Vaksiklaste kõrge polüfaagsuse aste võimaldab uurida toidutaimekasutuse evolutsiooni uudsete vaatenurkade alt. Nii saame vaadata, kas kasutatakse samu toidutaimekomplekte ning kas esineb fülogeneetilist signaali ka nende taimede osas, mida ei sööda. Uuritud sugukond oli uurimiseks hea ka seetõttu, et generalistidest ja spetsialistidest klaadid esinesid fülogeneesipuus vaheldumisi, mida muudes putukarühmades näib harva esinevat.

Võrreldes käesoleva uurimuse metodoloogilist lähenemist varasemate töödega, tuleb tõdeda, et sellist katseskeemi suurt rakendatud ei ole. Ainsaks võrreldavaks näiteks ongi praegu Holm jt (2019), kus vaadati samuti toidutaimekasutust, kuid vaid selleks, et hinnata liblikaliikide spetsialiseerituse taset spetsiifilisi küsimusi küsimata. Vanematest töödest õnnestus leida üks (Futuyma & Gould, 1979), kus oli süstemaatiliselt välja toodud puud ja nendel toituvad putukherbivoorid. Töö metoodika oli siiski oluliselt teistsugune, kuna puuliikidega seotud putukaliigid saadi kirja neid puudelt maha raputades. Kahtlemata on ka käesoleva töö katses puudusi. Esimene ja kõige suurem on see, et ei õnnestunud kaasata kõiki puittaimi, mida Eestis leidub ning ei saa ka kindlat öelda, kas antud taimeliigid neile ikkagi sobisid, sest neid röövikuid

hoiti topsis ainult 48 tundi. Seetõttu ei ole kindlust, et röövikud oleksid edukalt valmikuks arenenud kõigil neil taimedel, mida nad sööma asusid. Käesoleva projekti raames oleks selline uurimus osutunud siiski liialt töömahukaks.

Igal juhul julgustavad käesoleva töö tulemused jätkama vaksiklaste toidutaimakasutuse laboratoorset uurimist. Tuleb suurendada valimit, mis aitaks tõsta tulemuste statistilist usaldusväärsust. Samuti oleks oluline neid andmeid koguda just Eestis ka seetõttu, et sarnaselt põhjanaabritele oleks ka meil olemas nimekiri toidutaimedest, mida kodumaise fauna vaksikuliigid söövad. Kahtlemata tuleks uurimistööd laiendada ka rohttaimedele ning allesjäänud puittaimedele, mida Eestis leidub, kuid mida ei saanud praegusesse katsesse kaasata.

Kokkuvõte

Ökoloogiline spetsialiseeritus on üks põhiparameetreid, mida kasutatakse eluslooduse kirjeldamiseks ja mõistmiseks erinevates olukordades ning erinevate probleemide lahendamisel, mistõttu on selle uurimine äärmiselt oluline. Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada Eesti puittaimedel toituvate vaksikute toidutaimed manipulatiivse laborikatse teel. Andmeid kasutati uurimaks fülogeneetilist signaali vaksiklaste toidutaimekasutuses. Töö tulemustena selgus, et lähedalt suguluses olevad vaksikuliigid toituvad sarnasel arvu toidutaimeliikidel ning lähisugulastest taimeliike söödi sarnaselt vähe või palju. Uurides fülogeneetilist signaali toidutaimekasutuses vaksikurühmade kaupa, saadi teada, et selline signaal esines alamsugukonnas *Ennominae*, kahes selle alamklaadis ning triibusel *Anagogini*, kelle kõigi puhul on teada, et nad toitvad enamasti lehtpuudel ja pöösastel. Taimeklaadide puhul leiti fülogeneetiline signaal söödavuses klaadidel roosilaadsed, pajulised, lehtpuud ja pajud, millel toituvad vaksikuliigid on enamasti omavahel sugulased. Varasemate teemakohaste töödega võrreldes esines vaksikute toidutaimekasutuses fülogeneetilist signaali siiski tagasihoidlikult, kuid enamik kirjandusest leitud töid põhinesid oluliselt väiksemate klaadide analüüsil, mistõttu on antud tulemus oodatav. Kuna paljud vaksikud on polüfaagid, on võimalik uurida neid ka selle nurga alt, et kas süüakse samu toidutaimekomplekte ning ka seda, kas esineb fülogeneetilist signaali selliste taimede osas, mida ei taheta. Käesolevas töös kasutatud katseskeemi tuleb pidada perspektiivseks ja loodetavasti leiab see laiemat rakendamist toidutaimespetsialisatsiooni evolutsioonilise ökoloogia uurimisel.

Summary

Ecological specialization is one of the basic parameters that is used to describe and understand living nature in different situations and to help solve different problems, which is why this phenomenon deserves to be studied in depth. The aim of the present study was to determine the food-plant use in Estonian geometrid moths using a manipulative laboratory test. The data was also used to investigate the phylogenetic signal in food-plant use in these moths. As a result of the work, it became clear that closely related geometrid moth species feed on a similar number of food-plant species, and closely related plants are either similarly liked, or disliked by most geometrid species. Examining the phylogenetic signal in food-plant use separately by moth groups, it was found that such a signal was present in the subfamily Ennominae, in two of its subclades and in the tribe Anagogini, which are known to feed mostly on deciduous trees and shrubs. In the case of plant clades, a phylogenetic signal was found in genus *Salix*, families Rosales and Salicaceae and deciduous trees, which means that these clades are eaten by closely related moth species. Compared to data from literature, the overall strength of phylogenetic signal in Geometridae was relatively weak, but since most of the comparable studies were based on smaller families or just genera, this result is to be expected. Since many geometrid moths are polyphagous, it is also possible to examine them from the angle of using the same sets of food-plants to ask whether there is a phylogenetic signal among the plants that are not acceptable. Overall, the experimental approach used in the present study can be considered promising in further studies on the evolutionary ecology of host use in herbivorous insects.

Tänuavaldused

Soovin tänada oma juhendajaid Pille Gerholdi ja Toomas Tammaru nende suure abi ja toetuse eest, ilma kelleleta see töö ei oleks olnud võimalik. Samuti soovin tänada kõiki teisi õppetooli liikmeid, kes aitasid mind katsete ja andmeanalüüsides. Lisaks kuulub mu tänu perele ja tuttavatele, kes andsid mulle piisavalt motivatsiooni, et see kõik valmis kirjutada. Töö on läbi viidud personaalse uurimistoetuse PUT1006 abil.

Kasutatud kirjandus

- Aarvik, L., Bengtsson, B. Å., Elven, H., Ivinskis, P., Jürivete, U., Karshol, O., Mutanen, M. & Savenkov, N. (2017). Nordic-Baltic Checklist of Lepidoptera. *Norwegian Journal of Entomology*, 64 (1)(Suppl. 3), 1-240.
- Becerra, J. X., & Venable, D. L. (1999). Macroevolution of insect–plant associations: the relevance of host biogeography to host affiliation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(22), 12626-12631.
- Bernays, E. A., & Chapman, R. F. (1994). *Host-plant selection by phytophagous insects*. Chapman & Hall.
- Bodner, F., Brehm, G., Homeier, J., Strutzenberger, P., & Fiedler, K. (2010). Caterpillars and host plant records for 59 species of Geometridae (Lepidoptera) from a montane rainforest in southern Ecuador. *Journal of Insect Science*, 10(1), 67.
- Brehm, G., Murillo-Ramos, L., Sihvonen, P., Hausmann, A., Schmidt, B. C., Õunap, E., Moser, A., Mörtter, R., Bolt, D., Bodner, F., Lindt, A., Parra, L. E., & Wahlberg, N. (2019). New World geometrid moths (Lepidoptera: Geometridae): Molecular phylogeny, biogeography, taxonomic updates and description of 11 new tribes. *Arthropod Systematics and Phylogeny*, 77, 457-486.
- de la Paz Celorio-Mancera, M., Wheat, C. W., Huss, M., Vezzi, F., Neethiraj, R., Reimegård, J., Nylin, S., & Janz, N. (2016). Evolutionary history of host use, rather than plant phylogeny, determines gene expression in a generalist butterfly. *BMC Evolutionary Biology*, 16(1), 59.
- Durka, W., & Michalski, S. G. (2012). Daphne: a dated phylogeny of a large European flora for phylogenetically informed ecological analyses: *Ecological Archives* E093-214. *Ecology*, 93(10), 2297-2297.
- Farrell, B., & Mitter, C. (1990). Phylogenesis of insect/plant interactions: have Phyllobrotica leaf beetles (Chrysomelidae) and the Lamiales diversified in parallel?. *Evolution*, 44(6), 1389-1403.

- Ferrer-Paris, J. R., Sanchez-Mercado, A., Vilorio, A. L., & Donaldson, J. (2013). Congruence and diversity of butterfly-host plant associations at higher taxonomic levels. *PLoS One*, 8(5).
- Fritz, S. A., & Purvis, A. (2010). Selectivity in mammalian extinction risk and threat types: a new measure of phylogenetic signal strength in binary traits. *Conservation Biology*, 24(4), 1042-1051.
- Futuyma, D. J., & Agrawal, A. A. (2009). Macroevolution and the biological diversity of plants and herbivores. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(43), 18054-18061.
- Futuyma, D. J., & Gould, F. (1979). Associations of plants and insects in deciduous forest. *Ecological Monographs*, 49(1), 33-50.
- Futuyma, D. J., & Moreno, G. (1988). The evolution of ecological specialization. *Annual review of Ecology and Systematics*, 19(1), 207-233.
- Hausmann, A. (2001). *The Geometrid Moths of Europe*. Stenstrup Denmark: Apollo Books.
- Hausmann, A. (2004). *The Geometrid Moths of Europe. Volume 2: Sterrhinae*. Apollo Books.
- Hausmann, A., & Viidalepp, J. (2012). *The Geometrid Moths of Europe, Volume 3: Larentiinae I*. Apollo Books.
- Holm, S., Javoš, J., Õunap, E., Davis, R. B., Kaasik, A., Molleman, F., Tasane, T. & Tammaru, T. (2018). Reproductive behaviour indicates specificity in resource use: phylogenetic examples from temperate and tropical insects. *Oikos*, 127(8), 1113-1124.
- Janz, N., & Nylin, S. (1998). Butterflies and plants: a phylogenetic study. *Evolution*, 52(2), 486-502.
- Janz, N., Nylin, S., & Wahlberg, N. (2006). Diversity begets diversity: host expansions and the diversification of plant-feeding insects. *BMC Evolutionary Biology*, 6(1), 4.
- Kelley, S. T., & Farrell, B. D. (1998). Is specialization a dead end? The phylogeny of host use in *Dendroctonus* bark beetles (Scolytidae). *Evolution*, 52(6), 1731-1743.
- Leraut, P. (2009). *Moths of Europe-Volume 2: Geometrid moths*. *Moths of Europe-Volume 2: Geometrid moths*. N.A.P Editions.

- Menken, S. B. (1996). Pattern and process in the evolution of insect-plant associations: Yponomeuta as an example. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 80(1), 297-305.
- Mikkola, K., Jalas, I. & Peltonen, O. (1985). Suomen Perhoset. Mittarit 1. Tampere: Tampereen kirjapaino Oy Tamprint.
- Mikkola, K., Jalas, I., Peltonen, O. (1989). Suomen perhoset. Mittarit II. Hanko: Hangon Kirjapaino Oy.
- Mironov, V. (2003). The Geometrid Moths of Europe. Volume 4: Larentiinae II. Apollo Books.
- Müller, B., Erlacher, S., Hausmann, A., Rajaei, H., Sihvonen, P. & Skou, P. (2019). Geometrid Moths of Europe. Volume 6. Part 1. Brill.
- Novotny, V., & Basset, Y. (2005). Host specificity of insect herbivores in tropical forests. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1568), 1083-1090.
- Novotny, V., Basset, Y., Miller, S. E., Weiblen, G. D., Bremer, B., Cizek, L., & Drozd, P. (2002). Low host specificity of herbivorous insects in a tropical forest. *Nature*, 416(6883), 841-844.
- Nylin, S., Slove, J., & Janz, N. (2014). Host plant utilization, host range oscillations and diversification in nymphalid butterflies: a phylogenetic investigation. *Evolution*, 68(1), 105-124.
- Orme, D., Freckleton, R., Thomas, G., Petzoldt, T., Fritz, S., Isaac, N., & Pearse, W. (2018). caper: Comparative Analyses of Phylogenetics and Evolution in R. R package version 1.0.1. (<https://CRAN.R-project.org/package=caper>)
- Pagel, M. (1999). Inferring the historical patterns of biological evolution. *Nature*, 401(6756), 877-884.
- Poisot, T., Bever, J. D., Nemri, A., Thrall, P. H., & Hochberg, M. E. (2011). A conceptual framework for the evolution of ecological specialisation. *Ecology Letters*, 14(9), 841-851.
- Price, P. W., Denno, R. F., Eubanks, M. D., Finke, D. L., & Kaplan, I. (2011). *Insect ecology: behavior, populations and communities*. Cambridge University Press.

- Scott, J. A. (1997). *The butterflies of North America: a natural history and field guide*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Sihvonen, P., Mutanen, M., Kaila, L., Brehm, G., Hausmann, A., & Staude, H. S. (2011). Comprehensive molecular sampling yields a robust phylogeny for geometrid moths (Lepidoptera: Geometridae). *PloS One*, 6(6).
- Skou, P. (1986). *The Geometroid Moths of North Europe (Lepidoptera: Drepanidae and Geometridae)*. Brill.
- Skou, P., & Sihvonen, P. (2015). *The Geometrid Moths of Europe. Volume 5: Ennominae I*. Brill.
- Tammaru, T., & Javoiš, J. (2000). Responses of ovipositing moths (Lepidoptera: Geometridae) to host plant deprivation: life-history aspects and implications for population dynamics. *Environmental Entomology*, 29(5), 1002-1010.
- Tartu Ülikooli loodusmuuseum ja botaanikaaed. (n.d). Eesti liigid: Geometridae. (<https://elurikkus.ee/lists/speciesListItem/list/drt8078037392?fq=family%3AGeometridae&max=25>)
- van Nieukerken, E. J., Kaila, L., Kitching, I. J., Kristensen, N. P., Lees, D. C., Minet, J., Mitter, C., Mutanen, M., Regier, J. C., Simonsen, T.J., Wahlberg, N., Yen S.-H., Zahir, R., Adamski, D., Baixeras, J., Bartsch, D., Bengtsson, B. Å., Brown, J.W., Bucheli, S. R., Davis, D. R., de Prins, J., de Prins, W., Epstein, M. E., Gentili-Poole, P., Gielis, C., Hättenschwiler, P., Hausmann, A., Holloway, J. D., Kallies, A., Karsholt, O., Kawahara, A. Y., Koster, S. J. C., Kozlov, M.V., Lafontaine, J. D., Lamas, G., Landry, J.-L., Lee, S., Nuss, M., Park, K.-T., Penz, C., Rota, J., Schintlmeister, A., Schmidt, B. C., Sohn, J.-C., Solis, M. A., Tarmann, G. M., Warren, A. D., Weller, S., Yakovlev, R. V., Zolotuhin, V.V. & Zwick, A. (2011). Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. In: Zhang, Z.-Q.(Ed.) *Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa*, 3148(1), 212-221.
- Viidalepp, J. & Remm, H. (1996). *Eesti liblikate määraja*. Tallinn: Valgus.

Ward, L. K., Hackshaw, A., & Clarke, R. T. (1995). Food-plant families of British insects and mites: the influence of life form and plant family. *Biological Journal of the Linnean Society*, 55(2), 109-127.

Wiklund, C. (1975). The evolutionary relationship between adult oviposition preferences and larval host plant range in *Papilio machaon* L. *Oecologia*, 18(3), 185-197.

Lisad

Lisa 1. Kirjandusepõhine toidutaimekasutus Eesti vaksikutel (Leraut, 2009; Mikkola *et al.*, 1985, 1989; Skou, 1986).

Vaksikuliigid	Toidutaime liigid või perekonnad
<i>Abraxas grossulariata</i>	toomingas, viirpuu, sarapuu, sõstar, laukapuu
<i>Abraxas sylvata</i>	toomingas, kask, jalakas
<i>Acasis viretata</i>	paakspuu, pihlakas, vaher, viirpuu, lodjapuu
<i>Aethalura punctulata</i>	kask, lepp, paju, sookail
<i>Agriopis aurantiaria</i>	tamm, kask, sarapuu, raagremmelgas, pärn, pihlakas, toomingas, lepp, kibuvits, ploomipuu, viirpuu, paju, vaher, saar
<i>Agriopis marginaria</i>	tamm, laukapuu, kask, haab, lepp, ploomipuu, viirpuu, kibuvits, sarapuu
<i>Alcis deversata</i>	pole teada
<i>Alcis jubata</i>	nulg, kuusk, mänd - samblike olemasolul
<i>Alcis repandata</i>	kask, lepp, paju, pihlakas, mänd, haab, tamm, viirpuu, kanarbik, mustikas, sinikas, sookail, sõstar, kuslapuu, laukapuu, must leeder
<i>Alsophila aescularia</i>	toomingas, õunapuu, ploomipuu, sarapuu, pärn, jalakas, tamm, vaher, viirpuu, türnpuu, kask, laukapuu, kibuvits
<i>Angerona prunaria</i>	kask, lepp, paju, toomingas, haab, paakspuu, viirpuu, kibuvits, kanarbik, mustikas, sinikas, sõstar, kuslapuu, laukapuu, leeder, ploomipuu, sarapuu, jalakas
<i>Anticlea derivata</i>	kibuvits, kuslapuu
<i>Apeira syringaria</i>	harilik ja sinine kuslapuu, sirel, saar
<i>Archiearis parthenias</i>	kask, pihlakas
<i>Arichanna melanaria</i>	sookail, sinikas

<i>Aspitates gilvaria</i>	sinikas, küüvits, kukemari
<i>Asthena albulata</i>	sarapuu, kask, tamm
<i>Asthena anseraria</i>	kontpuu
<i>Biston betularius</i>	kask, hall lepp, sanglepp, tamm, paju, haab, õunapuu, pihlakas, toomingas, pärn, türnpuu, lehis, kännapuu, viirpuu, ploomipuu, sõstar, kibuvits, mustikas, laukapuu, raagremmelgas, toompihlakas, paakspuu, kikkapuu
<i>Biston stratarius</i>	tamm, jalakas, sarapuu, lepp, haab
<i>Archiearis notha</i>	haab, paju
<i>Bupalus piniaria</i>	mänd, kuusk
<i>Cabera exanthemata</i>	paju, lepp, kask, haab
<i>Cabera leptographa</i>	paju
<i>Cabera pusaria</i>	lepp, kask, paju, haab, pihlakas, tamm
<i>Campaea margaritaria</i>	vaher, tamm, kask, jalakas, paju, sarapuu, toomingas, viirpuu
<i>Camptogramma bilineata</i>	toomingas
<i>Carsia sororiata</i>	mustikas, jõhvikas, sinikas
<i>Cepphis advenaria</i>	mustikas, sõstar, laukapuu, kontpuu
<i>Charissa ambiguata</i>	mustikas, kask, nulg
<i>Chlorissa cloraria</i>	viirpuu, sarapuu
<i>Chlorissa viridata</i>	viirpuu, kask, paju, tamm, kanarbik, porss, kukemari, mustikas
<i>Chloroclysta miata</i>	haab, kask, paakspuu, paju, pihlakas, toomingas, tamm, kibuvits, mustikas, sinikas, toompihlakas
<i>Chloroclysta siterata</i>	kask, hall lepp, pärn, saar, sarapuu, tamm, toomingas, vaher, haab, laukapuu, kibuvits, ploomipuu, raagremmelgas
<i>Chloroclystis v-ata</i>	pärn, viirpuu, leeder
<i>Cidaria fulvata</i>	kibuvits

<i>Cleora cinctaria</i>	kask, paju, haab, pihlakas, paakspuu, tamm, mustikas, porss, kanarbik, laukapuu
<i>Colostygia pectinataria</i>	paju, viirpuu
<i>Colotois pennaria</i>	tamm, paju, pihlakas, õunapuu, toomingas, vaher, pirn, ploomipuu, kask, viirpuu, laukapuu, haab
<i>Comibaena bajularia</i>	tamm
<i>Crocallis elinguaris</i>	kask, lepp, paju, haab, pihlakas, toomingas, pärn, sarapuu, paakspuu, tamm, viirpuu, sõstar, kibuvits, kanarbik, mustikas, sinikas, kuslapuu, sirel
<i>Cyclophorapunctaria</i>	tamm
<i>Cyclophora albipunctata</i>	kask
<i>Cyclophora annularia</i>	kask, vaher
<i>Cyclophora pendularia</i>	paju, raagremmelgas, lepp
<i>Cyclophora quercimontaria</i>	tamm
<i>Deileptenia ribeata</i>	kuusk, tamm, paju, toomingas, kask, mustikas, mänd, lehis, jugapuu, nulg, raagremmelgas
<i>Dysstroma citrata</i>	kask, paju, mustikas, sinikas
<i>Dysstroma infuscata</i>	mustikas, sinikas, sookail
<i>Dysstroma latefasciata</i>	mustikas, sinikas, sookail
<i>Dysstroma truncata</i>	kask, hall lepp, pihlakas, toomingas, viirpuu, paju, mustikas, sinikas, kuslapuu, ploom
<i>Earophila badiata</i>	kibuvits, viirpuu
<i>Ectropis crepuscularia</i>	kask, lepp, paju, haab, pihlakas, paakspuu, sõstar, kibuvits, kanarbik, mustikas, tamm, jalakas, ploomipuu, leeder
<i>Electrophaes corylata</i>	kask, lepp, pihlakas, toomingas, pärn, sarapuu, viirpuu, laukapuu
<i>Elophos vittaria</i>	kask, mustikas, sinikas
<i>Ematurga atomaria</i>	kask, paju, pihlakas, sookail, kanarbik, mustikas, sinikas

<i>Ennomos alniaria</i>	hall lepp, kask, paju, haab, pärn, mustikas, tamm, jalakas, raagremmelgas, sarapuu
<i>Ennomos autumnaria</i>	kask, sanglepp, tamm, viirpuu, mustikas, laukapuu, jalakas, pärn, ploomipuu, pirn, sarapuu
<i>Ennomos erosaria</i>	tamm, pöök, pärn, kask, pirn, jalakas, haab
<i>Ennomos fuscantaria</i>	saar, lepp, kask
<i>Entephria caesiata</i>	vaevakask, mustikas, sinikas, sookail, kukemari, pohl, kanarbik, paju
<i>Epione repandaria</i>	paju, raagremmelgas, haab, lepp, laukapuu
<i>Epione vespertaria</i>	haab, lepp, paju, kask, sarapuu
<i>Epirranthis diversata</i>	haab, paju
<i>Epirrhoe rivata</i>	haab, paju
<i>Epirrita autumnata</i>	kask, lepp, paju, pihlakas, toomingas, õunapuu, pärn, mustikas, sinikas, sarapuu, haab, ploomipuu, kuslapuu, lehis
<i>Epirrita christyi</i>	pihlakas, sarapuu, toomingas, kask, raagremmelgas, vaher, pöök, pooppuu
<i>Epirrita dilutata</i>	tamm, kask, lepp, jalakas, õun
<i>Erannis defoliaria</i>	tamm, kask, sarapuu, õunapuu, pihlakas, viirpuu, toomingas, pärn, vaher, jalakas, pooppuu, toompihlakas, paju, sõstar, kibuvits, kuslapuu, tuhkpuu, laukapuu
<i>Euchoeca nebulata</i>	lepp, kask
<i>Eulithis mellinata</i>	sõstar
<i>Eulithis populata</i>	haab, vaevakask, mustikas, sinikas, punane sõstar, paju, kanarbik
<i>Eulithis prunata</i>	viirpuu, sõstar, laukapuu
<i>Eulithis pyropata</i>	must sõstar, punane sõstar
<i>Eulithis testata</i>	paju, kask, haab, mustikas, sinikas, kanarbik, raagremmelgas
<i>Eupithecia abbreviata</i>	tamm

<i>Eupithecia abietaria</i>	kuusk, mänd, nulg
<i>Eupithecia absinthiata</i>	kanarbik
<i>Eupithecia actaeata</i>	lodjapuu
<i>Eupithecia analoga</i>	kuusk
<i>Eupithecia assimilata</i>	sõstar
<i>Eupithecia centaureata</i>	kanarbik
<i>Eupithecia conterminata</i>	kuusk
<i>Eupithecia denotata</i>	sinikas
<i>Eupithecia dodoneata</i>	tamm, viirpuu
<i>Eupithecia egenaria</i>	pärn
<i>Eupithecia exigua</i>	paakspuu, paju, pihlakas, toomingas, õunapuu, viirpuu, laukapuu, kuslapuu, sõstar, kukerpuu, ploom
<i>Eupithecia gelidata</i>	sookail, sinikas
<i>Eupithecia goossensiata</i>	kanarbik
<i>Eupithecia indigata</i>	mänd, lehis, kadakas
<i>Eupithecia innotata</i>	saar, viirpuu, laukapuu, must leeder
<i>Eupithecia intricata</i>	kadakas
<i>Eupithecia inturbata</i>	kask, vaher
<i>Eupithecia lanceata</i>	kuusk, kadakas, lehis, mänd
<i>Eupithecia lariciata</i>	lehis, mänd, elupuu
<i>Eupithecia nanata</i>	kanarbik
<i>Eupithecia orphnata</i>	tamm
<i>Eupithecia pusillata</i>	kadakas
<i>Eupithecia satyrata</i>	kask, punane sõstar
<i>Eupithecia subfuscata</i>	paju, lepp
<i>Eupithecia succenturiata</i>	sinikas
<i>Eupithecia tantillaria</i>	kuusk, lehis, nulg, mänd, kadakas
<i>Eupithecia tenuiata</i>	paju, raagremmelgas
<i>Eupithecia tripunctaria</i>	lodjapuu
<i>Eupithecia virgaureata</i>	toomingas, kanarbik, viirpuu
<i>Eupithecia vulgata</i>	toomingas

<i>Gymnoscelis rufifasciata</i>	viirpuu, pihlakas, kanarbik, õun
<i>Hemistola chrysoprasaria</i>	tamm, laukapuu
<i>Hemithea aestivaria</i>	kask, paju, pihlakas, pärn, tamm, ploomipuu, kirss, lepp, valgepöök, sarapuu, punane sõstar, laukapuu, kuslapuu, kibuvits, raagremmelgas
<i>Hydrelia flammeolaria</i>	lepp, raagremmelgas, vaher
<i>Hydrelia sylvata</i>	lepp, paju, õun
<i>Hylaea fasciaria</i>	mänd, kuusk, lehis, nulg
<i>Hypomecis punctinalis</i>	kask, lepp, pärn, toomingas, tamm, haab, paju, laukapuu, õunapuu, kuslapuu
<i>Hypomecis roboraria</i>	kask, toomingas, õunapuu, tamm, paju
<i>Hypoxystis pluviana</i>	kask, sinikas
<i>Idaea aversata</i>	mustikas, kanarbik, lepp, sarapuu
<i>Idaea biselata</i>	lepp, pärn, sarapuu
<i>Idaea deversaria</i>	laukapuu, tamm, pärn
<i>Idaea dimidiata</i>	laukapuu, paju, lepp
<i>Idaea emarginata</i>	lepp, sarapuu
<i>Idaea muricata</i>	kanarbik
<i>Idaea sylvestraria</i>	kanarbik
<i>Jodis lactearia</i>	kask, pihlakas, pärn, tamm, õunapuu, sarapuu, lepp, paju, saar, sinikas, laukapuu, mustikas
<i>Jodis putata</i>	lepp, tamm, mustikas, sinikas, sookail
<i>Larentia clavaria</i>	toomingas
<i>Ligdia adustata</i>	kikkapuu
<i>Lobophora halterata</i>	haab, sookask, paju
<i>Lomaspilis marginata</i>	haab, kask, paju, sarapuu
<i>Lomaspilis opis</i>	kask
<i>Lomographa bimaculata</i>	kask, pärn, toomingas, kirss, laukapuu, ploomipuu, viirpuu
<i>Lomographa temerata</i>	hapu kirss, toomingas, õunapuu, laukapuu, ploomipuu, kibuvits, paju, kask, tamm

<i>Lycia hirtaria</i>	haab, kask, lepp, paakspuu, paju, pihlakas, pärn, tamm, toomingas, õunapuu, viirpuu, sõstar, kibuvits, mustikas, kuslapuu, kukerpuu, raagremmelgas, jalakas, saar, ploom
<i>Lycia lapponaria</i>	kask, sinikas, mustikas, sookail, kanarbik, porss
<i>Lycia pomonaria</i>	kask, tamm, toomingas, paju, mustikas, sinikas, jõhvikas, pohl, pärn, sarapuu, ploom
<i>Macaria alternata</i>	kask, paakspuu, paju, pihlakas, türnpuu, lepp, tamm, laukapuu
<i>Macaria artesiaria</i>	paju
<i>Macaria brunneata</i>	sinikas, mustikas, sookail
<i>Macaria carbonaria</i>	küüvits, kukemari, pohl, leesikas, kask, paju, mustikas
<i>Macaria liturata</i>	kadakas, mänd, kuusk, lehis
<i>Macaria loricaria</i>	paju, kask, lepp
<i>Macaria notata</i>	kask, paju, tamm, toompihlakas, lepp
<i>Macaria signaria</i>	kuusk, lehis, mänd
<i>Macaria wauaria</i>	sõstar, laukapuu
<i>Malacodea regelaria</i>	kuusk, lehis
<i>Mesoleuca albicillata</i>	kibuvits
<i>Mesotype didymata</i>	tamm, saar
<i>Mesotype parallelolineata</i>	haab
<i>Odontopera bidentata</i>	haab, kask, kuusk, lehis, hall lepp, paju, pihlakas, toomingas, pärn, mänd, tamm, sõstar, mustikas, õunapuu, sookail, saar
<i>Operophtera brumata</i>	kask, paju, haab, jalakas, pihlakas, toomingas, kirss, õunapuu, tamm, pärn, vaher, saar, türnpuu, astelpaju, sarapuu, pirn, pooppuu, ploomipuu, sõstar, kibuvits, toompihlakas
<i>Operophtera fagata</i>	kask, pärn, toomingas, pöök

<i>Opisthograptis luteolata</i>	kask, paju, õunapuu, pihlakas, viirpuu, toomingas, ploomipuu, sõstar, kuslapuu, laukapuu, toompihalakas, pirn
<i>Ourapteryx sambucaria</i>	paju, pihlakas, lepp, haab, toomingas, viirpuu, sõstar, kibuvits, kuslapuu, must leeder, laukapuu, pärn
<i>Paradarisa consonaria</i>	tamm, kask, paju, pärn, toomingas, pihlakas, pöök, mustikas, lepp, mänd
<i>Parectropis similaria</i>	lepp, tamm, kask, sarapuu
<i>Pasiphila chloerata</i>	toomingas, laukapuu, kirss
<i>Pasiphila debiliata</i>	mustikas, sinikas
<i>Pasiphila rectangulata</i>	õunapuu, pirn, toomingas, ploomipuu, toompihlakas, laukapuu, viirpuu
<i>Pennithera firmata</i>	mänd
<i>Perconia strigillaria</i>	kanarbik
<i>Peribatodes secundaria</i>	kuusk, mänd, elupuu, kadakas
<i>Phigalia pilosaria</i>	tamm, toomingas, sanglepp, türnpuu, jalakas, pärn, laukapuu, haab, vaher, pirn, viirpuu, kask, sarapuu
<i>Philereme transversata</i>	türnpuu, paakspuu
<i>Philereme vetulata</i>	türnpuu, paakspuu, viirpuu
<i>Plagodis dolabraria</i>	tamm, pärn, kask, pöök, leeder, ploomipuu, kibuvits
<i>Plagodis pulveraria</i>	kask, hall lepp, raagremmelgas, paju, pihlakas, toomingas, tamm, sarapuu, kirss, mustikas, kuslapuu
<i>Plemyria rubiginata</i>	lepp, toomingas, sõstar, paju, õunapuu, ploom
<i>Pterapherapteryx sexalata</i>	paju, kask, haab, viirpuu
<i>Rheumaptera cervinalis</i>	kukerpuu
<i>Rheumaptera hastata</i>	kask, paju, sõstar, sinikas, porss, mustikas
<i>Rheumaptera subhastata</i>	kask, mustikas, sinikas, sõstar
<i>Rheumaptera undulata</i>	kask, paju, haab, pihlakas, mustikas, porss, raagremmelgas, kukerpuu, sõstar, pihlakas, sinikas
<i>Rhodostrophia vibicaria</i>	kanarbik
<i>Scopula (Calothyisanis) floslactata</i>	mustikas, lepp

<i>Scopula (Calothysanis) incanata</i>	pihlakas, mustikas
<i>Scopula (Calothysanis) ternata</i>	mustikas, sinikas, kanarbik
<i>Scopula (Scopula) immorata</i>	kanarbik
<i>Scopula (Scopula) nemoraria</i>	haab, lepp, pärn
<i>Scopula (Scopula) nigropunctata</i>	kuslapuu
<i>Scopula (Scopula) virgulata</i>	mustikas
<i>Selenia dentaria</i>	kask, lepp, paju, pihlakas, toomingas, pärn, paakspuu, tamm, viirpuu, sõstar, kanarbik, mustikas, sinikas, laukapuu, ploomipuu, kirss, jalakas
<i>Selenia lunularia</i>	tamm, hall lepp, toomingas, saar, kask, kibuvits, ploomipuu, viirpuu, paju, vaher, leeder, sirel, lodjapuu
<i>Selenia tetralunaria</i>	lepp, kask, õunapuu, toomingas, saar, tamm, paju, kibuvits, jalakas, laukapuu, viirpuu
<i>Selidosema brunnearia</i>	kanarbik
<i>Stegania cararia</i>	haab
<i>Thalera fimbrialis</i>	kanarbik, mustikas
<i>Thera cognata</i>	kadakas
<i>Thera juniperata</i>	kadakas
<i>Thera obeliscata</i>	mänd, kuusk, kadakas, nulg
<i>Thera serraria</i>	kuusk
<i>Thera variata</i>	kuusk, mänd, nulg, lehis
<i>Trichopteryx carpinata</i>	kask, paju, haab
<i>Trichopteryx polycommata</i>	haab, paju, kask, kuslapuu, saar
<i>Triphosa dubitata</i>	paakspuu, toomingas, saar, türnpuu
<i>Venusia blomeri</i>	jalakas
<i>Venusia cambrica</i>	pihlakas, mustikas
<i>Xanthorhoe annotinata</i>	mustikas
<i>Xanthorhoe montanata</i>	mustikas
<i>Xanthorhoe quadrfasiata</i>	mustikas, must sõstar
<i>Xanthorhoe spadicearia</i>	mustikas, sinikas

Lisa 2. Söömiskatsete tulemused.

Taimeliigid	<i>Lobophora halterata</i>	<i>Eupithecia lanceata</i>	<i>Epirranthis diversata</i>	<i>Triphosa dubitata</i>	<i>Cyclophora annularia</i>	<i>Lomographa temerata</i>	<i>Plagodis pulveraria</i>	<i>Macaria carbonaria</i>	<i>Jodis putata</i>	<i>Xanthorhoe spadicearia</i>	<i>Cyclophora albipunctata</i>	<i>Macaria signaria</i>	<i>Odontopera bidentata</i>
<i>Cornus sanguinea</i>	0		0	0			1	0	0		0	0	
<i>Fraxinus excelsior</i>		1	1	0				0	0		0	0	1
<i>Corylus avellana</i>		0	0	0			0	0	1		0	0	
<i>Ribes nigrum</i>	0		0	0		0		0			0	0	1
<i>Quercus robur</i>	0								1		0	0	1
<i>Lonicera xylosteum</i>	0			1	0			0	0		0	0	
<i>Viburnum opulus</i>		0	0	1			1	0	0		0	0	1
<i>Vaccinium oxycoccus</i>			0	0		0	1	1	0		0	0	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0		0	0		1	1	1	1	1	0	0	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0		0	0		0		0	1		0	0	1
<i>Vaccinium uliginosum</i>		0	0	0	0		1	0	1		0	0	
<i>Andromeda polifolia</i>			0	0			1	1	1		0	0	
<i>Ledum palustre</i>			0	0		0	0	0	1		0	0	
<i>Calluna vulgaris</i>				0	0		1	1	0		0	0	
<i>Tilia cordata</i>	1	0	1	0			0		0	0	0	0	
<i>Acer platanoides</i>			0	0	1			0	0		0	0	
<i>Betula pubescens</i>		0		0		0	1	1	0		0	0	
<i>Betula pendula</i>	0	0	0	0		0	1		1		1	0	
<i>Alnus incana</i>		0	0	0		0	1	0	1		0	0	
<i>Alnus glutinosa</i>				0		0	1	0	1		0	0	1
<i>Ulmus glabra</i>	0	0	0	0					0	0	0	0	
<i>Frangula alnus</i>				1			0	1	0		0	0	1
<i>Rhamnus cathartica</i>	0	0	1	1		0	1	0	0		0	0	
<i>Prunus padus</i>		0		1		1		0	1		0	0	1
<i>Sorbus aucuparia</i>	0	0	0	0		1	1	0	0		0	0	
<i>Salix cinerea</i>		0		0		0	1	0	0		0	0	
<i>Salix phylicifolia</i>	0			0			1				0	0	1
<i>Salix caprea</i>	1			0	0		1		0		0	0	
<i>Populus tremula</i>		0	1	0		0	1		0		0	0	
<i>Juniperus communis</i>	0		0	0		0	0	0	0		0	1	
<i>Picea abies</i>	0	1		0			1	0	0		0	1	0
<i>Larix decidua</i>	0		0	0	0	0		0	0		0	1	
<i>Pinus sylvestris</i>	0		0	0					0		0	1	

Taimeliigid	<i>Dysstroma truncata</i>	<i>Electrophaes corylata</i>	<i>Bupalus piniaria</i>	<i>Thera variata</i>	<i>Opisthograpis luteolata</i>	<i>Hydriomena impluviata</i>	<i>Lomaspilis marginata</i>	<i>Macaria liturata</i>	<i>Pterapherapteryx sexalata</i>	<i>Alcis repandata</i>	<i>Paradarisa consonaria</i>	<i>Angerona prunaria</i>	<i>Cabera pusaria</i>
<i>Cornus sanguinea</i>		0			0	0	0		0	1	1	1	0
<i>Fraxinus excelsior</i>			0	0	0	0	0			1	1	1	0
<i>Corylus avellana</i>		1			0		0			1	1	1	1
<i>Ribes nigrum</i>	1	0				0				1	1	1	1
<i>Quercus robur</i>	0	0			0	0	0	0			1	1	0
<i>Lonicera xylosteum</i>						0					1	1	0
<i>Viburnum opulus</i>		0	0				0		0	1	1	1	0
<i>Vaccinium oxycoccus</i>						0					1	0	0
<i>Vaccinium myrtillus</i>				0			0	0		1	1	1	0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	1		0				0				1	1	0
<i>Vaccinium uliginosum</i>	0	0			0	0	0	0			1	1	0
<i>Andromeda polifolia</i>	0				0	0	0				1	0	0
<i>Ledum palustre</i>	0	0			0	0	0			0	1	0	0
<i>Calluna vulgaris</i>							0	0		1	1	1	0
<i>Tilia cordata</i>	1				0	0					1	1	0
<i>Acer platanoides</i>	0					0	0				1	0	0
<i>Betula pubescens</i>	1				0			0		1	1	1	1
<i>Betula pendula</i>		0			0	1	0			1	1	1	1
<i>Alnus incana</i>	1					1				1	1	1	1
<i>Alnus glutinosa</i>	1					1	0				1	1	1
<i>Ulmus glabra</i>					0	0	0				1	1	0
<i>Frangula alnus</i>		0			0	0	0	0			1	1	0
<i>Rhamnus cathartica</i>	0				0				0	1	1	1	0
<i>Prunus padus</i>					1		0				1	1	0
<i>Sorbus aucuparia</i>		1					0	0			1	1	0
<i>Salix cinerea</i>	1					0					1	1	0
<i>Salix phylicifolia</i>	0	0					0			1	1	1	0
<i>Salix caprea</i>	0	1		0			1		1		1	1	0
<i>Populus tremula</i>		0	0		0	0	1			1	1	1	0
<i>Juniperus communis</i>		0			0	0	0	1		1	1	0	0
<i>Picea abies</i>		0	0	1			0			1	1	0	0
<i>Larix decidua</i>		0					0			1	1	1	0
<i>Pinus sylvestris</i>			1			0	0	1			1	0	0

Taimeliigid	<i>Aethalura punctulata</i>	<i>Selenia tetralunaria</i>	<i>Macaria notata</i>	<i>Trichopteryx carpinata</i>	<i>Cleora cinctaria</i>	<i>Selenia dentaria</i>	<i>Ematurga atomaria</i>	<i>Scopula floslactata</i>	<i>Hypomecis punctinalis</i>
<i>Cornus sanguinea</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Fraxinus excelsior</i>	0	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>Corylus avellana</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Ribes nigrum</i>	0	1	1	0	1	1	1	1	1
<i>Quercus robur</i>	0	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Lonicera xylosteum</i>	0	1	0	0	1	1	1	1	0
<i>Viburnum opulus</i>	0	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Vaccinium oxycoccus</i>	0	1	0	1	0	1	1	0	0
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0	1	0	0	1	0	1	1	1
<i>Vaccinium uliginosum</i>	0	1	0	1	1	1	1	0	0
<i>Andromeda polifolia</i>	0	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Ledum palustre</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Calluna vulgaris</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0
<i>Tilia cordata</i>	0	1	1	0	1	1	1	0	1
<i>Acer platanoides</i>	0	1	0	1	1	1	1	0	0
<i>Betula pubescens</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Betula pendula</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Alnus incana</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Alnus glutinosa</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ulmus glabra</i>	0	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Frangula alnus</i>	0	0	1	1	1	1	1	0	1
<i>Rhamnus cathartica</i>	0	1	0	0	1	1	1	1	1
<i>Prunus padus</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Sorbus aucuparia</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Salix cinerea</i>	0	1	0	1	1	1	1	0	1
<i>Salix phylicifolia</i>	0	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Salix caprea</i>	0	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Populus tremula</i>	0	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Juniperus communis</i>	0	0	0	1	1	0	1	0	0
<i>Picea abies</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Larix decidua</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Pinus sylvestris</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Lisa 3. Andmeanalüüsid kasutatud skriptid.

```
library(picante)
```

```
library(ape)
```

```
library(caper)
```

#Analüüside jaoks vajalike liikidega fülogeneesipuude saamine suurematest fülogeneesipuudest

```
samp<-read.table("taim.txt",header=T)
```

```
taim=read.tree("euroopapuu.tre")
```

```
taimepuu <- prune.sample(samp, taim)
```

```
write.tree(taimepuu, file="taimepuu.tre")
```

```
samp1<-read.table("putukad_nimekirjana.txt",header=T)
```

```
liblikas=read.tree("Geometridae.txt")
```

```
liblikapuu <- prune.sample(samp1, liblikas)
```

```
write.tree(liblikapuu, file="putukapuu.tre")
```

#Fülosignaali pidevatele tunnustele

```
puu=read.tree("putukapuu.tre")
```

```
traitl=read.table("liblikate_protsent.txt", header = T)
```

```
phy=puu
```

```
data=traitl
```

```
cdat= comparative.data(phy, data, liigid, vcv=T, vcv.dim=3)
```

```

mod=pglS(protScent~1, cdat, lambda = "ML")

summary(mod)

mod.1=pgls.profile(mod, "lambda")

plot(mod.1)

puu2=read.tree("taimepuu.tre")

traitt=read.table("taimede_protScent.txt", header = T)

phy2=puu2

data2=traitt

cdat2= comparative.data(phy2, data2, liigid, vcv=T, vcv.dim=3)

mod2=pgls(protScent~1, cdat2, lambda = "ML")

summary(mod2)

mod.1.2=pgls.profile(mod2, "lambda")

plot(mod.1.2)

```

#FüloSIGNAL binaarsetele tunnustele

#Taimed

```

tree=read.tree("putukapuu.tre")

trait3=read.table("põõsad.txt",header=T)

signal_põõsad<-phylo.d(data=trait3,tree, names.col=Liik, binvar=põõsad, permut = 1000)

print(signal_põõsad)

```

#iga klaadi jaoks tehti eraldi tekstifail, et vältida andmekadu, mida puuduvad väärtused põhjustasid ning leiti kas signaali esineb või ei.

#Vaksikud

```
tree1=read.tree("taimepuu.tre")
```

```
trait1=read.table("liblikad_binaarne.txt",header=T)
```

```
signal_Sterrhinae<-phylo.d(data=trait1,tree1, names.col=liik, binvar=Sterrhinae, permut =  
1000)
```

```
print(signal_Sterrhinae)
```

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Anne Merzin,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Eesti vaksiklaste toidutaimakasutuse fülogeneetilised mustrid“, mille juhendajad on Pille Gerhold ja Toomas Tammaru,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Anne Merzin

26.05.2020