SYÖTÄVIEN HYÖNTEISTEN RAVITSEMUKSELLINEN LAATU JA SEN PARANTAMINEN

Lampén Emilia

Kandidaatin tutkielma

Ravitsemustiede

Lääketieteen laitos

Terveystieteiden tiedekunta

Itä-Suomen yliopisto

Elokuu 2020

Itä-Suomen yliopisto, Terveystieteiden tiedekunta
Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö
Ravitsemustiede
LAMPÉN EMILIA J: Syötävien hyönteisten ravitsemuksellinen laatu ja sen parantaminen
Kandidaatin tutkielma, 32 sivua, 1 liitettä (8 sivua)
Ohjaaja(t): FM Kati Väkeväinen
Elokuu 2020

Avainsanat: entomofagia, syötävät hyönteiset, ravitsemuksellinen laatu, hyönteistalous, hyönteisruoka, rehu

SYÖTÄVIEN HYÖNTEISTEN RAVITSEMUKSELLINEN LAATU JA SEN PARANTAMINEN

Hyönteiset ovat kautta aikojen olleet osa ihmisen ruokavaliota. Länsimaissa niiden käyttö ei ole kuitenkaan yleistä, mutta myös länsimaisten kiinnostus hyönteisiä kohtaan on vähitellen kasvanut. Hyönteisravinnon uskotaan tuovan ruokaturvaa, helpotusta ilmastonmuutokseen ja tarjoavan terveellisen ja ravintopitoisen vaihtoehdon proteiininlähteeksi. Hyönteistalous on tuotantoa, jolla voidaan kasvattaa syötäviä hyönteisiä suurille massoille. Ravitsemuksen kannalta hyönteisistä ollaan erityisesti kiinnostuneita niiden ravitsemuksellisen laadun sekä mahdollisten terveysvaikutusten takia. Hyönteisiä pidetään erityisesti runsasproteiinisina sekä vitamiini- ja kivennäisainerikkaina. Lisäksi niissä on enemmän monityydyttymättömiä rasvahappoja verrattuna muihin proteiininlähteisiin. Eri hyönteislajit kuitenkin eroavat toisistaan ravintoainepitoisuuksien kannalta. Yleisiä huolenaiheita syötävien hyönteisten kannalta ovat niiden rasvan laatu sekä mahdolliset terveydelle haitalliset aineet. Tämän takia ollaankin kiinnostuneita siitä, voidaanko myös elävien hyönteisten ravitsemuksellista laatua muuttaa esimerkiksi eri rehuvaihtoehdoilla, ja siten tarjota niitä vieläkin terveellisempinä ja turvallisempina kuluttajille.

Tämän kandidaatin tutkielman tavoitteena oli selvittää nykyisen tutkimustiedon avulla, millainen syötävien hyönteisten ravitsemuksellinen laatu on sekä minkälaisin keinoin tätä laatua on pyritty parantamaan eri rehuvaihtoehdoilla. Nykytiedon valossa näyttää siltä, että hyönteisten ravintoainekoostumusta on mahdollista muuttaa erityyppisillä rehuilla. Ravitsemuksellista laatua on pystytty muuttamaan kaikkien ravintoaineiden osalta eri hyönteislajeilla eri hyönteisten kehitysvaiheissa. Ravintoaineiden pitoisuuksiin hyönteisessä vaikuttavat kuitenkin myös hyönteisen oma aineenvaihdunta sekä erilaiset ympäristötekijät. Tutkimusta tarvitaan vielä runsaasti. Tarvetta on etenkin tutkimuksille, jotka tutkivat vähemmän tunnettuja hyönteislajeja sekä hyönteisten vitamiinipitoisuuksia. Lisäksi olisi hyvä tehdä tutkimusta sellaisilla rehuilla, joita löytyy erityisesti myös Suomesta, jotta hyönteistalous voisi kukoistaa täälläkin tulevaisuudessa.

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO 4
2. HYÖNTEISSYÖNTIÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ JA TURVALLISUUS 5
3. SUOMESSA ELINTARVIKEKÄYTTÖÖN SALLITUT HYÖNTEISLAJIT 6
3.1 *Acheta domesticus* (kotisirkka) 7
3.2 *Alphitobius diaperinus* (kanatunkkari) 8
3.3 *Apis mellifera* (tarha- eli kesymehiläinen) 8
3.4 *Gryllodes sigillatus* (trooppinen kotisirkka) 9
3.5 *Hermetia illucens* (mustasotilaskärpänen) 9
3.6 *Locusta migratoria* (idänkulkusirkka) 9
3.7 *Schistocerca gregaria* (aavikkokulkusirkka) 10
3.8 *Tenebrio molitor* (jauhopukki) 10
4. HYÖNTEISTEN RAVITSEMUKSELLINEN LAATU 10
4.1 Proteiinit 12
4.2 Rasvat 15
4.3 Hiilihydraatit 17
4.4 Vitamiinit 18
4.5 Kivennäisaineet 20
5. HYÖNTEISTEN RAVITSEMUKSELLISEN LAADUN PARANTAMINEN 23
6. POHDINTA 25
7. JOHTOPÄÄTÖKSET 28
LÄHTEET 29
LIITE Rehun vaikutus kahdeksan syötäväksi kelpaavan hyönteislajin ravitsemukselliseen laatuun .....

1. JOHDANTO

Vuonna 2013 nälänhädästä kärsi arviolta noin miljardi ihmistä (van Huis ym. 2013). On ennustettu, että vuoteen 2050 mennessä maailmassa olisi yhteensä noin yhdeksän miljardia ihmistä. Tämä luo haasteen ruoan riittämiseksi kaikille, ja siten uusia keinoja turvata ravinnonsaanti pyritään koko ajan keksimään. (van Huis ym. 2013) Hyönteisten uskotaan olevan yksi ratkaisu ekologiseen kestävyyteen (Jantzen da Silva Lucas ym. 2020). Perinteiseen lihantuotantoon verrattuna hyönteiskasvatus tuottaa vähemmän kasvihuonekaasuja ja ammoniakkia, parantaa rehuhyötysuhdetta ja tarvitsee vähemmän maa-alaa. Lisäksi hyönteiset lisääntyvät nopeasti ja tarjoavat monipuolisen ravintoainesisällön sisältäen runsaasti proteiinia ja hyvän aminohappokoostumuksen, hyviä rasvoja, tärkeitä vitamiineja ja kivennäisaineita sekä kuitua (esim. Raheem ym. 2019, Baiano 2020, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020).

Entomofagiaa eli hyönteisten syöntiä ovat harjoittaneet jo varhaiset isot ihmisapinat (*Hominidae*) noin miljoonia vuosia sitten (Baiano 2020, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020), mikä on todistettu tutkimalla muun muassa etelänapinan (*Australopithecus*) hampaita. Kiinalaiset aloittivat hyönteissyönnin ja -kasvatuksen yli 5000 vuotta sitten. Varhaisin löydös mahdollisesta hyönteisten syönnistä ajoittuu jo 30 000–9000 eaa., minkä voi päätellä Altamiran luolissa Pohjois-Espanjassa löytyvistä hunajakennoja ja mehiläispesiä esittävistä luolamaalauksista (Baiano 2020). Heinäsirkat, hepokatit, kenttäsirkat ja kulkusirkat mainitaan kolmannessa Mooseksen kirjassa sallituksi ruoaksi, ja Johannes Kastajan on sanottu syövän heinäsirkkoja ja hunajaa (Huldén 2015). Muinaisessa Kreikassa filosofi Aristoteles tykkäsi syödä laulukaskaita (*Cicadoidea*). Muinaisessa Egyptissä sittiäisiä eli sontiaisia (*Geotrupes*) ja tarkemmin pillerinpyörittäjiä (*Scarabaeus sacer)* pidettiin pyhinä, sillä niiden pyörittämä lantapallo kuvasti auringon kehrää. Hyönteinen onkin esikuvana Ra-jumalalle omistetussa skarabee-amuletissa symboloimassa elämää. Naiset tekivät sittiäisjauheesta hedelmällisyysjuomaa ja kalmankuoriaisten (*Blaps polychresta*) uskottiin kaunistavan. (Huldén 2015)

Vuonna 2015 arviolta 112 maata (Eurooppa 11, Oseania 14, Yhdysvallat 23, Aasia 29 ja Afrikka 35) harjoitti entomofagiaa ja noin kaksi miljardia ihmistä söi hyönteisiä osana normaalia ruokavaliota (Baiano 2020, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020). Hyönteisiä syödään etenkin Aasiassa, Afrikassa ja Latinalaisessa Amerikassa Meksikon, Kiinan, Thaimaan ja Intian ollessa kärkimaita niin kulutuksen kuin hyönteislajimäärän suhteen. Lihaa korvaavien

tuotteiden valmistus ja kysyntä on lisääntynyt paljon viime vuosina, ja osa länsimaalaisista on siten alkanut kiinnostumaan myös hyönteisruoasta etenkin uutena proteiininlähteenä. (Baiano 2020, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020)

Hyönteisen ravitsemukselliseen koostumukseen vaikuttavat ruokavalio, kehitysvaihe, ympäristö, sukupuoli (Ibarra-Herrera ym. 2020) sekä kausittaiset muuttolennot (Jantzen da Silva Lucas ym. 2020). Tässä tutkielmassa keskityttiin nimenomaan hyönteisten ruokavalioon ja niille tarjottuihin rehuihin. Tavoitteena oli kartoittaa syötävien hyönteisten ravitsemuksellista laatua (proteiinit, rasvat, hiilihydraatit, vitamiinit ja kivennäisaineet) sekä sitä, kuinka syötävien hyönteisten ravitsemuksellista laatua voitaisiin parantaa rehun laatua muokkaamalla.

2. HYÖNTEISSYÖNTIÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ JA TURVALLISUUS

Suomessa hyönteistuotannosta tuli laillista elintarviketuotantoa syyskuussa 2017, kun Maa- ja metsätalousministeriö esitti Ruokavirastolle Euroopan unionin uuselintarvikeasetuksen (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 258/97) tulkintaa muutettavan niin, että kokonaiset hyönteiset eivät kuulu asetuksen piiriin (Ruokavirasto 2020a). Nykyinen voimassa oleva Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus uuselintarvikkeista (EU) 2015/2283 tuli voimaan vuoden 2015 lopussa ja sitä on sovellettu täysmääräisesti 1.1.2018 alkaen. Sen mukaan hyönteiselintarvikkeet kuuluvat uuselintarvikkeisiin. Uuselintarvikkeet ovat elintarvikkeita, jotka koostuvat, ovat peräisin tai on valmistettu eläimistä, ja joita ei ole käytetty merkittävässä määrin ihmisravintona EU:ssa ennen 15.5.1997. Markkinoida saa vain sellaisia hyönteislajeja ja niistä valmistettuja elintarvikkeita, jotka ovat olleet laillisesti markkinoilla Suomessa tai muussa EU-maassa ennen 1.1.2018, ja joista on 1.1.2019 mennessä jätetty uuselintarvikelupahakemus Euroopan komissiolle. (Ruokavirasto 2020a)

Hyönteistuotantoon pätee samat elintarvikelainsäädännön vaatimukset kuin muihinkin elintarvikkeisiin (Ruokavirasto 2020a). Vastuussa hyönteiselintarvikkeiden turvallisuudesta ja annettujen tietojen oikeellisuudesta ovat toiminnanharjoittajat. Hyönteiselintarvikkeen ainesosaluettelossa suositellaan ilmoitettavan hyönteislajin sekä suomenkielinen että tieteellinen nimi. Lisäksi suositellaan laitettavan seuraava varoitusmerkintä: *”Hyönteiset voivat aiheuttaa allergisia reaktioita. Ristiallergia on mahdollinen henkilöillä, jotka ovat allergisia äyriäisille, nilviäisille ja/tai pölypunkeille”* sekä ohje hyönteisten käyttötavasta esimerkiksi *”Hyönteiset tulee nauttia täysin kypsänä.”* Hyönteisten syömä rehu voi lisätä muita

jäämäallergeeneja tuotteessa, joten nekin on hyvä mainita. (Ruokavirasto 2020a) Allergioiden lisäksi hyönteisissä voi olla myös hyönteisten tuottamia toksiineja, ympäristön torjunta-ainejäämiä sekä raskasmetalleja, patogeeneja ja mykotoksiineja, mikä on syytä ottaa huomioon hyönteisravintoa käsitellessä ja hyönteisiä kasvatettaessa (Raheem ym. 2019). Hyönteiselintarvikkeita ja rehuja ei voi markkinoida luomutuotteina tällä hetkellä, sillä yhteisiä Euroopan unionin ehtoja hyönteisten luonnonmukaisuudelle ei vielä ole määritelty (Ruokavirasto 2020a).

Myös hyönteisten kasvatuksessa käytettäviin rehuihin liittyy turvallisuusvaatimuksia. Sallittuja rehuja ovat rehuaineluettelossa (Euroopan komission asetus (EU) N:o 2017/1017) mainitut kasviperäiset rehuaineet, kivennäisaineyhdisteet, maito- ja munatuotteet, muista kuin märehtijöistä saatu hydrolysoitu proteiini ja gelatiini, kalajauho sekä entiset elintarvikkeet, jotka eivät sisällä lihaa tai kalaa. Sekä elintarvike- että rehukäyttöön kasvatettavien hyönteisten rehut tulee hankkia rekisteröidyltä rehualan toimijalta tai vaihtoehtoisesti voi käyttää esimerkiksi kasviksia. Joissakin tieteellisissä tutkimuksissa (esim. Oonincx ym. 2015, van Broekhoven ym. 2015) on syötetty elintarviketeollisuudessa muodostuneita ruoka- tai biojätteitä hyönteisten ravinnoksi, mutta Suomessa ei tätä tällä hetkellä sallita. Poikkeuksena ovat tuoreiden hedelmien ja vihannesten käsittelyssä muodostuneet sivutuotteet sekä esimerkiksi suurkeittiöissä ylimäärin jääneet kasvikset, joita ei ole tarjottu asiakkaille (Ruokavirasto 2020a). Myöskään esimerkiksi teuras- ja kalanperkuujätteitä tai lantaa ei saa käyttää. Rehussa saa käyttää EU:ssa hyväksyttyjä rehun lisäaineita. Rehun tulee olla laadukasta ja mikrobiologiset riskit tulee huomioida. (Ruokavirasto 2020a)

3. SUOMESSA ELINTARVIKEKÄYTTÖÖN SALLITUT HYÖNTEISLAJIT

Hyönteiset (luokka, engl. *class*) kuuluvat niveljalkaisten (*Arthropoda*) pääjaksoon, johon kuuluvat myös hämähäkkieläimet, äyriäiset ja tuhatjalkaiset (Huldén 2015). Eri syötäviä hyönteislajeja on löydetty maailmasta jo noin 2300 (Baiano 2020) ja hyönteisten osuus kaikista eläinlajeista on jopa 80 % (Huldén 2015). Suomessa tunnetaan arviolta 22 000 hyönteislajia, joista vain pientä osaa syödään maailmalla (Huldén 2015). Yhdeksän hyönteislajia, joita käytetään eniten maailmassa syötäväksi ovat kovakuoriaiset (*Coleoptera* eli kovakuoriaiset, 31 %), perhostoukat (*Lepidoptera* eli perhoset, 18 %), mehiläiset, ampiaiset ja muurahaiset (*Hymenoptera* eli pistiäiset, 14 %) sekä kulkusirkat, heinäsirkat, hepokatit ja sirkat (*Orthoptera* eli suorasiipiset, 13 %) (Jongema 2017). Massatuotannolle ihanteellisilla hyönteisillä on tiheä

munien muodostus, korkea muodostuneiden munien määrä, lyhyt toukkavaihe, synkronisoitu koteloituminen, korkea paino toukka- ja kotelovaiheessa, korkea tuottavuus, matalat rehukulut, matala haavoittuvaisuus ja korkealaatuinen proteiinikoostumus (Dobermann ym. 2017).

Maailmalla arviolta 92 % syötävistä hyönteisistä kerätään luonnosta ja loput kasvatetaan (Dobermann ym. 2017). Luonnosta kerättyjen hyönteisten laadusta ja turvallisuudesta ei kuitenkaan voi olla varmoja ja hyönteisten valtava kerääminen luonnosta voi altistaa lajien sukupuutolle. Länsimaissa hyönteisiä pääasiassa kasvatetaan (van Broekhoven ym. 2015). Suomessa vain kokonaisia, kasvatettuja ja ihmisravinnoksi tarkoitettuja hyönteisiä saa markkinoida (Ruokavirasto 2020a). Kokonaiset hyönteiset voi kuitenkin esimerkiksi jauhaa, rouhia tai kuivata, mutta mitään osia (jalat, siivet, pää, suoli) ei saa poistaa, eikä esimerkiksi proteiini- tai rasvafraktioita saa eristää tai uuttaa.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa keskitytään nimenomaan Suomessa elintarvikekäyttöön hyväksyttyihin hyönteislajeihin. Suomessa ja Euroopassa siirtymäaikana eli 1.1.2019 jälkeen sallitut hyönteislajit ovat *Acheta domesticus* (kotisirkka), joka kuuluu suorasiipisten lahkoon (engl. *order*) ja sirkkojen heimoon (engl. *family*), *Alphitobius diaperinus* (kanatunkkari eli kanalakuoriainen, toukka; kovakuoriaiset: pimikkökuoriaiset), *Apis mellifera* (mehiläinen, kuhnuritoukka; pistiäiset: aitomehiläiset), *Gryllodes sigillatus* (trooppinen kotisirkka, suorasiipiset: sirkat), *Hermetia illucens* (mustasotilaskärpänen, toukka; kaksisiipiset: asekärpäset), *Locusta migratoria* (idänkulkusirkka, suorasiipiset: heinäsirkat), *Schistocerca gregaria* (aavikkokulkusirkka, suorasiipiset: heinäsirkat) ja *Tenebrio molitor* (jauhopukki, toukka; kovakuoriaiset: pimikkökuoriaiset) (Ruokavirasto 2020b). Latinankielisen tieteellisen nimen etuosa määrittelee hyönteislajin suvun (engl. *genus*) ja toinen osa itse lajia (engl. *species*).

3.1 *Acheta domesticus* (kotisirkka)

Kotisirkka (engl. *house cricket*) on suorasiipisten (*Orthoptera*) ja sirkkojen (*Gryllidae*) heimoon kuuluva hyönteislaji. Ympäristön kannalta kotisirkat ovat kestäviä ja ravinteikkaita etenkin niiden proteiinipitoisuuden takia, ja ne tuottavat perinteiseen lihantuotantoon verrattuna vähemmän hiilidioksidi- ja ammoniakkipäästöjä (Bawa ym. 2020). Niillä on todettu olevan parempi rehuhyötysuhde verrattuna kanaan, sikaan ja nautaan (Huldén 2015). Kotisirkka on

suosittua hyönteisruokaa etenkin Thaimaassa sen miellyttävän rakenteen takia (van Huis ym. 2013).

3.2 *Alphitobius diaperinus* (kanatunkkari)

Kanatunkkari eli kanalakuoriainen (engl. *lesser mealworm*) on kovakuoriaisten (*Coleoptera*) lahkoon ja pimikkökuoriaisten (*Tenebrionidae*) heimoon kuuluva hyönteislaji. Suomessa sallitaan tällä hetkellä vain toukkavaiheen (engl. *larva*) kanatunkkarin eli buffalomadon käyttö (Ruokavirasto 2020b). Alankomaissa kanatunkkaria kasvatetaan ja käytetään eläinten rehuksi sekä jossain määrin myös ihmisten ruoaksi (van Huis ym. 2013). Kanatunkkari on yksi yleisimmistä kovakuoriaisista siipikarjatiloissa, ja se loisii mielellään huonosti ylläpidetyissä viljavarastoissa (Dinev 2013). Kyseinen hyönteinen on kotoisin tropiikista ja elääkin mieluiten lämpimässä ja kosteassa ympäristössä. Kanatunkkarit syövät luonnossa lantaa, kananmunia, kuolleita lintuja ja lepakoita sekä niiden ulostetta eli guanoa ja joskus myös oman lajinsa pienempiä yksilöitä. Naaras munii noin 200–400 munaa ja parhaimmillaan jopa 2000 munaa kerralla muutaman päivän välein. Täysi aikuinen kehittyy noin 40–100 päivän kuluttua kuoriutumisesta, minkä kesto riippuu ympäristöolosuhteista (noin 32 °C ja 90 % ilmankosteus). Kanatunkkari elää noin 3–12 kuukautta. (Dinev 2013)

3.3 *Apis mellifera* (tarha- eli kesymehiläinen)

Tarha- eli kesymehiläinen (engl. *European/western honey bee*) on pistiäisten (*Hymenoptera*) lahkoon ja aitomehiläisten (*Apidae*) heimoon kuuluva hyönteislaji. Suomessa sallitaan tällä hetkellä vain kuhnuritoukan käyttö (Ruokavirasto 2020b). Tarhamehiläinen on yleisin hunajaa tuottavista mehiläislajeista (Huldén 2015). Tarhamehiläiset saavat tarvitsemansa ravinteet keräämästään siitepölystä (Arien ym. 2020). Ravinnon suuren omega-6/omega-3-suhteen on huomattu lyhentävän elinikää ja selviytymistä. Kerääjä- eli kenttämehiläiset (engl. *forager bees*) hyödyntävät pääasiassa nektaria ja hoitaja- eli ruokkijamehiläiset (engl. *nurse bees*) ovat tavallisesti siitepölyn päähyödyntäjiä mehiläispesässä. Hoitajamehiläiset tuottavat kuningatarhyytelöä eli emomaitoa ja ruokkivat sillä toukkia, ja osallistuvat sosiaaliseen ruoanvaihtoon (engl. *trophallaxis*) muiden työläisten, kuhnurien sekä kuningattaren kanssa. (Arien ym. 2020)

3.4 *Gryllodes sigillatus* (trooppinen kotisirkka)

Trooppinen kotisirkka (engl. *tropical house cricket*) on suorasiipisten lahkoon ja sirkkojen heimoon kuuluva hyönteislaji, joka on väritykseltään kellertävän ruskea ja pituudeltaan 13–18 mm (Walker 1999). Naarailta puuttuvat useimmiten siivet. Trooppista kotisirkkaa esiintyy nimensä mukaisesti trooppisilla kaupunkialueilla ja joskus myös sisätiloissa, ja on mahdollisesti lähtöisin Lounais-Aasiasta. Lämpötilasta riippuen trooppisen kotisirkan kehityskaari munasta aikuiseksi kestää 2–3 kuukautta. (Walker 1999)

3.5 *Hermetia illucens* (mustasotilaskärpänen)

Mustasotilaskärpänen (engl. *black soldier fly*) on kaksisiipisten (*Diptera*) lahkoon ja asekärpästen (*Stratiomyidae*) heimoon kuuluva hyönteislaji. Suomessa sallitaan tällä hetkellä vain toukkamuodon käyttö (Ruokavirasto 2020b). Alun perin trooppisesta Amerikasta lähtöisin oleva mustasotilaskärpänen on levinnyt myös muualle päiväntasaajan molemmin puolin 45 leveyspiireille saakka (Huldén 2015). Väritykseltään aikuinen mustasotilaskärpänen on nimensä mukaisesti musta ja 15–20 mm pitkä. Toukkamuoto on vaalean ruskeanharmaa ja voi olla jopa 27 mm pitkä ja 6 mm leveä sekä painaa 220 mg. Naaras munii noin 500 munaa, jotka kuoriutuvat noin neljän päivän kuluttua. Aikuinen mustasotilaskärpänen ei syö mitään ja sen elinkaari on vain 5–8 päivää. Toukkamuoto syö arviolta 25–500 mg ravintoa päivässä ja kehittyy 2–4 kuukaudessa aikuiseksi. Luonnossa sille kelpaa ravinnoksi muun muassa mätänevät hedelmät ja vihannekset, kalojen sisäelimet ja lanta. Rehun vaihtelun vuoksi mustasotilaskärpäsen ravintoainekoostumus voi vaihdella huomattavasti, esimerkiksi sen rasvapitoisuus voi vaihdella 15–50 prosentin välillä. Huonekärpäseen (*Musca domestica*) verrattuna mustasotilaskärpänen ei ole hygieeninen haitta. (Huldén 2015)

3.6 *Locusta migratoria* (idänkulkusirkka)

Idänkulkusirkka (engl. *migratory locust*) on suorasiipisten lahkoon ja heinäsirkkojen (*Acrididae*) heimoon kuuluva hyönteislaji, joka on yksinelävänä aikuisena vihreä ja nymfinä vihreä tai ruskea, mutta parvessa pienikokoisia keltaisia aikuisia ja keltaoranssisia nymfejä mustilla pilkuilla (Huldén 2015). Naaras munii 140 munaa, jotka kuoriutuvat noin 10 päivän kuluttua (Oonincx ja van der Poel, 2011). Idänkulkusirkkaa tavataan hyvin laajasti eri puolilla

maapalloa; Euroopassa, Afrikassa, Australiassa, Aasiassa ja Uudessa-Seelannissa (Huldén 2015). Suomessa se ei lisäänny, mutta sitä voi vaeltaa Suomeen esimerkiksi Venäjältä.

3.7 *Schistocerca gregaria* (aavikkokulkusirkka)

Aavikkokulkusirkka (engl. *desert locust*) on suorasiipisten lahkoon ja heinäsirkkojen heimoon kuuluva hyönteislaji, jossa on runsaasti ravinteita ja korkea rehuhyötysuhde (Straub ym. 2019). Sirkat syövät oman painonsa verran kasveja päivässä ja voivat saada paljon tuhoa aikaan; aavikkokulkusirkka on vuosisatojen ajan tuhonnut Afrikan, Lähi-idän ja Aasian satoja, ja toinen kulkusirkka, idänkulkusirkka, on ollut ongelma erityisesti Afrikassa (Huldén 2015). Ravinnon loputtua kulkusirkat tavallisesti vaihtavat elinpaikkaa. Sirkkaparvet ovat yleensä niin suuria (n. 40–80 kulkusirkkaa/km^2) ja niiden kasvu nopeaa, ettei niiden kerääminen ravinnoksi estä tuhoja tarpeeksi. Tämän takia tiettyjä sirkkaparvia on jouduttu tuhoamaan myrkyttämällä, millä taas on vaikutuksia sirkkojen ravintoarvoon. (Huldén 2015)

3.8 *Tenebrio molitor* (jauhopukki)

Jauhopukki (engl. *mealworm* tai *yellow mealworm*) on kovakuoriaisten lahkoon ja pimikkökuoriaisten heimoon kuuluva hyönteislaji. Suomessa sallitaan tällä hetkellä vain toukkamuodon eli jauhomadon käyttö (Ruokavirasto 2020b). Jauhopukki on ravinteikas ja helppo kasvattaa (Alves ym. 2016, Dreassi ym. 2017, Ruschioni ym. 2020). Luonnossa jauhopukki syö lähinnä mätänevää materiaalia, kuten ulosteita ja raatoja (Huldén 2015). Naarasjauhopukki munii noin 500 munaa kerralla (Alves ym. 2016). Toukkavaihe kestää noin kolme kuukautta, ja jauhomato (0,2 g, 25–35 mm) on se muoto, jota normaalisti käytetään ravinnoksi. Toukkavaiheen jälkeen jauhomato muuttuu koteloksi, joka kestää 5–6 päivää lopulta kehittyen aikuiseksi.

4. HYÖNTEISTEN RAVITSEMUKSELLINEN LAATU

Hyönteisissä on tavallisesti melkein yhtä paljon proteiinia kuin muissa eläinperäisissä proteiininlähteissä (Jantzen da Silva Lucas ym. 2019, Raheem ym. 2019, Baiano 2020) ja niiden rasva-, vitamiini- ja kivennäisainekoostumus on monesti verrattavissa lihaan (Baiano 2020). Maailman nälkäpulan turvaamiseksi hyönteiset ovat hyvä valinta ruoanlähteeksi myös korkean

energiapitoisuuden takia, sillä joissain hyönteislajeissa voi olla energiaa (taulukko 1) jopa 750 kcal/100 g (Raheem ym. 2019).

Hyönteisten ravitsemuksellinen laatu vaihtelee suuresti niin hyönteislajien välillä kuin itse hyönteislajin sisällä (Raheem ym. 2019), mihin vaikuttavat muun muassa hyönteisen ruokavalio, kehitysvaihe, ympäristö, sukupuoli (Ibarra-Herrera ym. 2020) sekä kausittaiset muuttolennot (Jantzen da Silva Lucas ym. 2020). Hyönteiset syövät tavallisesti erilaista ravintoa eri kehitysvaiheissa, ja joissain kehitysvaiheissa tietyt lajit eivät syö ollenkaan (Huldén 2015). Hyönteisiä voidaan hyödyntää kaikissa eri kehitysvaiheissa, joita ovat muna (engl. *egg*), toukka (engl. *larva*), kotelo (engl. *pupa*) ja aikuinen (engl. *adult*) (Raheem ym. 2019, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020), mutta eniten hyödynnetään toukka- ja kotelomuotoja (Jantzen da Silva Lucas ym. 2020) niiden helpomman keräämisen ja usein paremman ravintoainekoostumuksen takia (Huldén 2015). Ibarra-Herrera ja muut (2020) huomasivat tutkimuksessaan, että heinäsirkkojen erilainen ruokavalio vaikutti erilaisen ravintoainekoostumuksen lisäksi itse heinäsirkkojen makuun.

Haastavaksi eri hyönteislajien ja hyönteisyksilöiden ravintoainekoostumusten vertailun tekevät niiden eri vesi- ja rasvapitoisuudet. Korkeampi kosteus- ja/tai rasvapitoisuus pienentää proteiinipitoisuutta. Tässä kirjallisuuskatsauksessa osassa käsiteltävistä tutkimuksista ravintosisältö on ilmoitettu hyönteisistä sellaisenaan (ts. raakana; engl. *fresh weight*, FW) (esim. Nowak ym. 2014, Payne ym. 2016) ja osassa kuiva-aineessa (engl. *dry matter*, DM) (esim. Rumpold ja Schlüter 2013).

Taulukko 1. Kahdeksan syötäväksi kelpaavan hyönteislajin energiapitoisuuksien keskiarvot (Oonincx ja van der Poel 2011, Rumpold & Schlüter 2013, Zielińska ym. 2015, Bbosa ym. 2019, Roncolini ym. 2020).

Hyönteislaji	Energia, kcal/100 g DM
Kotisirkka (*Acheta domesticus*)	434,8
Kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*)	494,8
Tarhamehiläinen (*Apis mellifera*)	475,3
Trooppinen kotisirkka (*Gryllodes sigillatus*)	452,0
Mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*)	609,8
Idänkulkusirkka (*Locusta migratoria*)	540,0
Aavikkokulkusirkka (*Schistocerca gregaria*)	432,0
Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)	504,8

DM, dry matter, kuiva-aine

4.1 Proteiinit

Ihmisille proteiinin saanniksi suositellaan 10–20 E% päivittäisestä energiamäärästä. Hyönteiset mielletään hyvin proteiinirikkaaksi vaihtoehdoksi eläin- ja kasviperäisten proteiininlähteiden rinnalla (Raheem ym. 2019, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020). Useimmat hyönteislajit sisältävät 35–70 g proteiinia 100 g:ssa kuiva-ainetta (Straub ym. 2019). Suomessa hyönteiselintarvikkeessa voidaan käyttää ravitsemusväitettä ”*hyvä proteiinin lähde*”, mikäli proteiinia kyseisessä tuotteessa on vähintään 12 % energiasta (Ruokavirasto 2020a). Yi:n ja kumppaneiden (2016) mukaan hyönteisproteiini imeytyy hyvin, mutta Manditseran ja muiden (2019b) mukaan ruoanvalmistusmenetelmä (esim. keittäminen, paahtaminen) voi vaikuttaa imeytyvyyteen.

Hyönteiset eivät ole vain runsasproteiinisia, vaan niissä on usein myös optimaalinen aminohappokoostumus. Tarkastelemalla Suomessa sallittuja lajeja (taulukko 2) huomataan, että vallitsevin aminohappo hyönteislajien kesken – lukuun ottamatta mustasotilaskärpästä – on glutamiinihappo (Glu), jonka pitoisuus vaihtelee 90,7–126,0 mg/g proteiinia. Toiseksi vallitsevimmat aminohapot ovat leusiini (70,2–240,1 mg) ja alaniini (71,8–105,6 mg). Muita korkeina pitoisuuksina olevia aminohappoja ovat asparagiinihappo (65,1–83,0 mg), proliini (43,1–75,0 mg) ja glysiini (31,5–70,9 mg). Välttämättömistä aminohapoista heikoiten löytyy tryptofaania. Huomattavat erot muihin hyönteislajeihin verrattuna on mustasotilaskärpäsen korkeat isoleusiini- (190,1 mg), metioniini- (262,6 mg), tyrosiini- (96,9 mg) ja fenyylialaniinipitoisuudet (76,8 mg). Naudanlihaan ja soijaan verrattuna eri hyönteisten aminohappoprofiilit ovat miltei vastaavat tai jopa korkeammat, lukuun ottamatta lysiiniä, jota on enemmän naudassa ja soijassa. Bbosan tutkimusryhmän (2019) tutkimuksessa analysoitiin esikotelovaiheen mustasotilaskärpäsiä, joille syötettiin oluen valmistamisessa syntynyttä hirssin sivutuotetta.

Taulukko 2. Kahdeksan syötäväksi kelpaavan hyönteislajin proteiinipitoisuuksien keskiarvo (g/100 g DM), välttämättömien ja ei-välttämättömien aminohappojen suhde sekä aminohappokoostumuksen keskiarvo (mg/g proteiinia) (Rumpold & Schlüter 2013, Yi ym. 2013, Bosch ym. 2014, Oonincx ym. 2015, Zielińska ym. 2015, Churchward-Venne ym. 2017, Mwangi ym. 2018, Bbosa ym. 2019, Zhang ym. 2019, Ruschioni ym. 2020).

	Prot.	EAA/NEAA	**Arg**	**His**	**Ile**	**Leu**	**Lys**	**Met**	**Phe**	**Thr**	**Trp**	**Val**	Ala	Asp	Cys	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr
Naudanliha[1)]	16,9	-	-	32,0	41,8	77,5	79,4	32,7 *	70,2 **	42,1	9,9	45,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Soija[1)]	58,1	-	-	25,4	47,1	85,1	63,4	68,1 *	96,6 **	38,4	11,4	49,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Kotisirkka (*Acheta domesticus*)	62,9	0,8	62,6	23,0	41,6	81,6	55,4	15,5	31,0	35,4	6,3	54,0	85,0	73,0	11,3	102,1	53,8	58,7	47,1	50,4
Kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*)	67,9	0,8	38,0	22,8	23,1	46,6	43,6	8,1	29,7	27,4	12,0	29,1	52,9	83,0	1,9	90,7	31,5	43,1	28,6	23,2
Tarhamehiläinen (*Apis mellifera*)	44,4	1,1	51,0	24,0	53,0	93,0	56,0	17,0	39,0	43,0	-	52,0	87,0	-	-	126,0	70,0	75,0	53,0	37,0
Trooppinen kotisirkka (*Gryllodes sigillatus*)	70,0	0,4	46,6	17,2	26,6	57,8	38,4	15,9	22,0	36,8	-	47,0	58,0	72,8	11,1	106,6	40,7	54,2	40,4	31,8
Mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*)	42,1	0,6	56,1	-	190,1	240,1	38,8	262,6	76,8	-	-	31,9	-	-	-	46,1	-	70,4	35,3	96,9
Idänkulkusirkka (*Locusta migratoria*)	59,0	0,8	49,0	14,9	28,5	70,2	45,0	8,2	23,2	30,4	-	41,1	105,6	-	1,6	95,8	48,0	60,8	33,1	23,5
Aavikkokulkusirkka (*Schistocerca gregaria*)	76,0	0,5	39,8	20,6	28,2	77,7	35,1	8,2	18,7	35,5	-	56,6	88,8	66,1	3,6	107,5	49,4	67,1	33,7	33,1
Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)	51,8	0,8	46,9	28,4	40,3	75,5	48,9	11,8	31,7	35,5	10,1	56,9	71,8	65,3	7,0	107,3	54,4	62,7	46,6	53,1

DM, dry matter, kuiva-aine; EAA, essential amino acids, välttämättömät aminohapot; NEAA, nonessential amino acids, ei-välttämättömät aminohapot

Ala, alanine, alaniini; Arg, arginine, arginiini; Asp, aspartic acid, asparagiinihappo; Cys, cysteine, kysteiini; Glu, glutamic acid, glutamiinihappo; Gly, glycine, glysiini; His, histidine, histidiini; Ile, isoleucine, isoleusiini; Leu, leucine, leusiini; Lys, lysine, lysiini; Met, methionine, metioniini; Phe, phenylalanine, fenyylialaniini; Pro, proline, proliini; Ser, serine, seriini; Thr, threonine, treoniini; Trp, tryptophan, tryptofaani; Tyr, tyrosine, tyrosiini; Val, valine, valiini; välttämättömät aminohapot tummennettuina.

* Mukaan lukien kysteiini.

** Mukaan lukien tyrosiini.

Ei-välttämätöntä aminohappoa asparagiinia (engl. *asparagine*, Asn) ei löytynyt mistään hyönteislajeista ja glutamiinia (engl. *glutamine*, Gln) löytyi vain mustasotilaskärpäsestä (60,4 mg), joten ne on jätetty taulukosta pois.

1) Lähde: Fineli® 2020, Friedman 1996

4.2 Rasvat

Rasvat ovat proteiinien jälkeen tärkein ravintoaineryhmä hyönteisten koostumuksessa, ja hyönteisten pääasialliset lipidit ovat triglyseridit (80 %) ja fosfolipidit (< 20 %). Toukkavaiheessa rasvapitoisuus on yleensä korkeampi verrattuna muna-, kotelo- ja aikuisvaiheeseen (Jantzen da Silva Lucas ym. 2020). Loheen (taulukko 3) verrattuna hyönteisten rasvapitoisuus on suurimmaksi osaksi suurempi. Lohi koostuu pääasiassa tyydyttymättömistä rasvahapoista, kun taas hyönteisissä on runsaammin tyydyttynyttä rasvaa, eikä dokosaheksaeeni- (DHA, C22:6n-3) tai eikosapentaeenihappoa (EPA, C20:5n-3) juurikaan ole hyönteisissä (taulukko 4). Maahyönteisissä on yleensäkin hyvin vähissä määrin DHA:a ja EPA:a (Dreassi ym. 2017) verrattuna vesihyönteisiin, jotka saavat omega-3-rasvahappoja mikrolevistä (Oonincx ym. 2019). Kuten selkärankaisten, myös selkärangattomien hyönteisten tulee tavallisesti saada välttämättömät rasvahapot (alfalinoleeni- ja linolihappo) ravinnosta, lukuun ottamatta joitain hyönteislajeja (Arien ym. 2020). Omega-6/omega-3-suhde onkin monessa tarkasteltavassa hyönteislajissa korkea suositukseen nähden, mitä voitaisiin pyrkiä parantamaan kasvattamalla hyönteisiä omega-3-rasvahappopitoisilla rehuilla.

Tyydyttyneistä rasvahapoista huolimatta hyönteisistä löytyy hyvissä määrin myös kerta- ja monityydyttymättömiä rasvahappoja, kuten linoli- (LA, C18:2n-6) ja oleiinihappoa (C18:1n-9). Kaikissa muissa tarkasteltavissa hyönteislajeissa, paitsi idänkulkusirkassa ja tarhamehiläisessä, linoli-, oleiini- ja palmitiinihappo (C16:0) ovat vallitsevimmat rasvahapot. Idänkulkusirkassa linolihappopitoisuuden ylittää alfalinoleenihappopitoisuus ja tarhamehiläisessä steariinihappopitoisuus (C18:0). Mustasotilaskärpäsessä sekä idänkulkusirkassa on huomattavasti enemmän tyydyttynyttä rasvaa verrattuna muihin lajeihin.

Taulukko 3. Kahdeksan syötäväksi kelpaavan hyönteislajin rasvapitoisuudet (g/100 g DM) ja rasvan laatu (Oonincx ja van der Poel 2011, Rumpold & Schlüter 2013, Mohamed 2015, Oonincx ym. 2015, Zielińska ym. 2015, Dreassi ym. 2017, Haber ym. 2019, Oonincx ym. 2019, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020).

	Rasvaa	SFA	MUFA	PUFA	SFA/UFA	n-6/n-3
Suositus[1)]	25–40 E%	< 10 E%	10–20 E%	5–10 E%, joista n-3-rasvahappoja väh. 1 E%	< 1,5	$\leq$ 5:1
Lohi (*Salmo salar*)[2)]	13,5	2,6	4,5	4,9	0,3	0,2
Kotisirkka	31,0	37,3	31,5	29,8	0,6	36,2

	Rasvaa	SFA	MUFA	PUFA	SFA/UFA	n-6/n-3
Suositus[1)]	25–40 E%	< 10 E%	10–20 E%	5–10 E%, joista n-3-rasvahappoja väh. 1 E%	< 1,5	≤ 5:1
Lohi (*Salmo salar*)[2)]	13,5	2,6	4,5	4,9	0,3	0,2
(*Acheta domesticus*)						
Kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*)	32,0	34,0	36,0	28,6	0,5	22,7
Tarhamehiläinen (*Apis mellifera*)	17,4	48,9	47,1	4,1	0,9	0,7
Trooppinen kotisirkka (*Gryllodes sigillatus*)	18,2	33,7	34,3	31,9	0,5	14,0
Mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*)	27,4	74,4	15,1	10,1	3,0	18,3
Idänkulkusirkka (*Locusta migratoria*)	22,8	81,7	80,3	35,0	0,7	0,4
Aavikkokulkusirkka (*Schistocerca gregaria*)	13,0	35,3	38,4	26,3	0,6	1,2
Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)	35,5	28,4	52,5	18,9	0,4	30,4

DM, dry matter, kuiva aine; MUFA, monounsaturated fatty acids, kertatyydyttymättömät rasvahapot; PUFA, polyunsaturated fatty acids, monityydyttymättömät rasvahapot; SFA, saturated fatty acids, tyydyttyneet rasvahapot; UFA, unsaturated fatty acids, tyydyttymättömät rasvahapot (MUFA + PUFA)

1) Lähde: Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2018

2) Lähde: Fineli® 2020

Taulukko 4. Kahdeksan syötäväksi kelpaavan hyönteislajin rasvahappokoostumus (g/100 g kokonaisrasvahappomäärästä; *L. migratoria* mg/g) (Mohamed 2015, Oonincx ym. 2015, van Broekhoven ym. 2015, Zielińska ym. 2015, Alves ym. 2016, Dreassi ym. 2017, Haber ym. 2019, Oonincx ym. 2019, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020, Roncolini ym. 2020, Ruschioni ym. 2020, Truzzi ym. 2020).

	C12:0	C13:0	C14:0	C16:0	C16:1 n-7	C18:0	C18:1 n-9	C18:2 n-6	C18:3 n-3	C20:0	C20:5 n-3	C22:6 n-3	C22:0
Lohi (*Salmo salar*)[1)]	-	-	2,2	-	-	3,0	40,0	14,0	6,5	-	0,8	2,3	-
Kotisirkka (*Acheta domesticus*)	≤ 0,2	5,7	1,8	26,0	2,1	6,1	29,1	29,1	1,6	-	-	-	-
Kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*)	0,03	0,02	1,0	25,2	0,2	9,0	38,5	23,3	1,1	0,4	-	-	≤ 0,2
Tarhamehiläinen (*Apis mellifera*)	-	-	2,7	31,5	-	11,4	47,1	1,7	2,4	1,5	-	-	1,7
Trooppinen kotisirkka (*Gryllodes sigillatus*)	0,1	-	1,7	23,5	3,8	7,4	29,1	29,8	2,1	0,4	-	-	0,1
Mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*)	30,4	≤ 2,3	6,4	13	4,4	2,4	11,2	6,8	2,2	≤ 4,0	≤ 5,2	≤ 6,7	≤ 5,0
Idänkulkusirkka (*Locusta migratoria*)[2)]	0,2	0,2	3,9	60,6	2,3	15,1	78,0	10,8	24,0	0,9	-	0,2	0,2

	C12:0	C13:0	C14:0	C16:0	C16:1 n-7	C18:0	C18:1 n-9	C18:2 n-6	C18:3 n-3	C20:0	C20:5 n-3	C22:6 n-3	C22:0
Lohi (*Salmo salar*)[1)]	-	-	2,2	-	-	3,0	40,0	14,0	6,5	-	0,8	2,3	-
Aavikkokulkusirkka (*Shistocerca gregaria*)	0,2	-	1,7	23,3	1,8	9,3	36,2	14,0	11,4	0,4	-	-	0,1
Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)	0,2	1,3	3,1	18,5	2,1	2,4	49,5	21,8	0,8	0,1	0,3	-	-

C12:0, lauriinihappo; C13:0, tridekyylihappo; C14:0, myristiinihappo; C16:0, palmitiinihappo; C16:1n-7, palmitoleiinihappo; C18:0, steariinihappo; C18:1n-9, oleiini- eli öljyhappo; C18:2n-6, linolihappo; C18:3n-3, alfalinoleenihappo; C20:0, arakidihappo; C20:5n-3, eikosapentaeenihappo; C22:0, beheenihappo; C22:6n-3, dokosaheksaeenihappo; C24:1, nervonihappo

Kapryyli- (C8:0), kapriini- (C:10), paulliini- tai eikoseeni- (C20:1), eikosadieeni- tai dihomolinoli- (C20:2), eruka- (C22:1) ja nervonihappo (C24:1) on jätetty pois, sillä määrät olivat hyvin pieniä (≤ 0,8) tai joistain hyönteislajeista ne puuttuivat kokonaan.

1) Lähde: Fineli® 2020, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020

2) Arvot mg/g.

4.3 Hiilihydraatit

Tietoa hyönteisten hiilihydraatti- ja kuitupitoisuuksista on vähemmässä määrin saatavilla verrattuna esimerkiksi proteiini- tai rasvapitoisuuksiin, ja arvot vaihtelevat laajasti. Monesti tiedot annetaan typettömänä uuteaineena (engl. *nitrogen free extract*, NFE), mikä saadaan, kun luvusta 100 vähennetään raakaproteiini, rasva, vesi, tuhka eli kivennäisaineet sekä kuitu (ResearchGate 2020). Hyönteisten hiilihydraattipitoisuudet (taulukko 5) ovat varsin alhaisia. Kuitupitoisuudet ovat soijaan verrattuna keskimääräisesti alhaisempia lukuun ottamatta kotisirkkaa, jossa on noin kolminkertaisesti enemmän kuitua kuin muissa lajeissa.

Taulukko 5. Kahdeksan syötäväksi kelpaavan hyönteislajin hiilihydraatti- ja kuitupitoisuudet (g/100 g DM) (Rumpold & Schlüter 2013, Zielińska ym. 2015, Kouřimská ja Adámková 2016, Bbosa ym. 2019, Roncolini ym. 2020).

	Hiilihydraatteja	Kuitua
Suositus[1)]	45–60 E%	väh. 25–35 g
Soija[2)]	25,7	5,5
Kotisirkka (*Acheta domesticus*)	2,8[3)]	15,8
Kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*)	2,5[3)]	7,5
Tarhamehiläinen (*Apis mellifera*)	33,7[3)]	3,4
Trooppinen kotisirkka (*Gryllodes sigillatus*)	0,1	3,7

Mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*)	3,4	5,1
Idänkulkusirkka (*Locusta migratoria*)	-	27,0[4)]
Aavikkokulkusirkka (*Schistocerca gregaria*)	1,7	2,5
Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)	3,4[3)]	11,3

1) Lähde: Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2018.

2) Lähde: Fineli® 2020

3) Arvo ilmaistu NFE-lukuna.

4) Arvo ilmaistu NDF-lukuna (engl. *neutral-detergent fibre*), joka sisältää selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin.

4.4 Vitamiinit

Hyönteisten vitamiinikoostumuksista on tehty vasta vähän tutkimusta. Ainoastaan kotisirkan, mustasotilaskärpäsen ja jauhopukin vitamiinipitoisuuksia on määritetty kattavasti (taulukko 6). Keskimääräisesti etenkin B2-, B7-, B12- ja D-vitamiinipitoisuudet ovat erinomaiset vitamiinisuosituksiin nähden. Lisäksi mustasotilaskärpäsestä löytyy pienissä määrin B9-vitamiinia, jota ei ole kahdessa muussa hyönteislajissa.

D-vitamiinilla on tärkeä tehtävä muun muassa kalsiumin aineenvaihdunnan säätelyssä, ja etenkin pohjoisessa Suomessa omaa D-vitamiinin saantia on hyvä tarkkailla (Freese ja Voutilainen 2016). Hyönteiset voisivatkin olla hyvä lisä sekasyöjien ruokavalioon Suomessa ja muualla Pohjois-Euroopassa. B-vitamiinit liittyvät vahvasti energia-aineenvaihduntaan. Lisäksi B7-vitamiini eli biotiini tunnetaan sen positiivisista vaikutuksista hiuksiin, kynsiin ja ihoon. B9-vitamiinin eli folaatin merkitys ruokavaliossa korostuu etenkin raskautta edeltävänä aikana että raskauden aikana, sillä se vähentää sikiön riskiä saada hermostoputken sulkeutumishäiriö eli NTD-vaurio (*neural tube defect*). (Freese ja Voutilainen 2016)

Suosituksiin nähden heikoiten taulukossa 6 nähtävistä hyönteislajeista löytyy A-, B3- ja C-vitamiinia. A-vitamiinin aktiivista muotoa, retinolia, sekä A-vitamiinin esiasteita, karotenoideja, on muutamissa tutkimuksissa onnistuttu lisäämään hyönteisissä (esim. Oonincx ja van der Poel 2011). Tutkimuksia hyönteisten vitamiinipitoisuuksien parantamisesta löytyi vain idänkulkusirkasta, trooppisesta kotisirkasta ja kotisirkasta (liite).

Taulukko 6. Kolmen syötäväksi kelpaavan hyönteislajin vitamiinien keskiarvot (/100 g FW) (Nowak ym. 2014, Payne 2016).

	A (µg)[2)]	B1 (mg)	B2 (mg)	B3 (mg)[4)]	B5 (mg)	B6 (mg)	B7 (µg)	B9 (µg)	B12 (µg)	C (mg)	D (µg)	E (mg)[8)]
Suositus[1)]	700–900[3)]	1,1–1,3	1,2–1,6	14–19	5[5)]	1,2–1,6	30[5)]	300[6)]	2	75	10[7)]	8–10
Kotisirkka (*Acheta domesticus*)	14,4	0,04	3,4	3,8	2,3	-	20	-	5,4	3,0	640,0	2,3
Mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*)	-	0,8	1,6	7,1	3,9	0,6	40,0	270,0	5,6	1,0	-	0,6
Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)	16,9	0,2	0,8	4,1	2,6	0,7	30,0	-	0,5	1,2	640,0	1,3

FW, fresh weight, tuorepaino

B1, tiamiini; B2, riboflaviini; B3, niasiini; B5, pantoteenihappo; B6, pyridoksiini; B7, biotiini; B9, folaatti;E, d-alfatokoferoli, 0,667 mg D-alfatokoferolia vastaa 1 IU E-vitamiinia.

1) Lähde: Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2018.

2) Retinoliekvivalentti (RE) = 1 µg retinolia = 12 µg ß–karoteenia.

3) Miehet 900 µg, naiset 700 µg, raskaana olevat 800 µg ja imettävät 1100 µg.

4) Niasiiniekvivalentti (NE) = 1 mg niasiinia = 60 mg tryptofaania.

5) Riittävä saanti (Freese ja Voutilainen 2016).

6) Hedelmällisessä iässä olevat naiset 400 µg ja raskaana olevat ja imettävät naiset 500 µg.

7) Ikääntyneet (yli 75-v.) 20 µg.

8) α–tokoferoliekvivalentti (α–TE) = 1 mg RRR α–tokoferolia.

4.5 Kivennäisaineet

Kehitysmaat, joissa on pulaa ruoasta ja puhtaasta vedestä, hyötyisivät etenkin hyönteisravinnosta sen tarjoaman raudan ja sinkin sekä muiden kivennäisaineiden takia. Maailmalla sinkin puutteesta kärsii noin kaksi miljardia ja raudan puutteesta noin miljardi ihmistä. Herkimpiä puutokselle ovat etenkin lapset ja hedelmällisessä iässä olevat naiset. Hyönteisten ollessa eläinkunnan tuote, niiden sisältämä rauta on hyvin imeytyvää hemirautaa. (Raheem ym. 2019) Ruoanvalmistusmenetelmä (esim. keittäminen ja paahtaminen) voi kuitenkin heikentää hyönteisten sisältämien kivennäisaineiden, kuten raudan ja sinkin, imeytymistä (Manditsera ym. 2019b, Raheem ym. 2019).

Taulukossa 7 on listattuna tarkasteltavien hyönteislajien sekä naudanlihan keskimääräisiä kivennäisainepitoisuuksia. Idänkulkusirkan ja naudanlihan arvot on mitattu raa'asta tai ei-kuivatusta näytteestä ja muiden hyönteislajien arvot kuivatusta näytteestä. Pitoisuudet vaihtelevat paljon kuivatun ja ei-kuivatun hyönteisen välillä, ja myös eri lähteistä saatavat tiedot vaihtelevat. Tämän takia täydellinen pitoisuuksien vertailu on hankalaa.

Naudanlihaan verrattuna hyönteisissä on keskimääräisesti parempi kivennäisaineprofiili. Tarhamehiläistä lukuun ottamatta hyönteisten natriumpitoisuus on kuitenkin suurempi kuin naudanlihan. Heikoiten löytyy jodia, mangaania ja seleeniä. Kotisirkan ja jauhopukin seleenipitoisuudet ovat kuitenkin hyviä, sillä jo 100 g:n hyönteisannoksesta saa noin suositellun päivittäisen seleeniannoksen. Päivittäisen sinkki- ja rauta-annoksen saa jo noin 100–150 g:n hyönteisannoksesta ja 100 g:n annos mustasotilaskärpäsiä ylittää jo suositellun kalsiummäärän.

Taulukko 7. Kahdeksan syötäväksi kelpaavan hyönteislajin kivennäisaineiden keskiarvot (/100 g DM; *H. illucens* FW) (Despins ja Axtell 1995, Oonincx ja van der Poel 2011, Rumpold ja Schlüter 2013, Siemianowska ym. 2013, Zielińska ym. 2015, Payne 2016, Jantzen da Silva Lucas ym. 2020).

	Ca (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	I (µg)	K (g)	Mg (mg)	Mn (mg)	Na (mg)	P (mg)	Se (µg)	Zn (mg)
Suositus[1)]	800[2)]	0,9[3)]	9–15[4)]	150[5)]	3,1–3,5[6)]	280–350[7)]	1,8–2,3[8)]	< 2000[9)]	600[10)]	50–60[11)]	7–9[12)]
Naudanliha[13, 14)]	5,5	0,1	2,4	-	0,3	24,4	-	68,0	275,0	-	4,2
Kotisirkka (*Acheta domesticus*)	154,1	1,5	11,6	20,0	1,3	112,0	4,0	512,3	907,1	50,0	21,5
Kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*)	30,0	2,7	21,8	-	0,8	140,0	1,6	200,0	900,0	-	26,8
Tarhamehiläinen (*Apis mellifera*)	15,4	-	25,2	-	0,4[14)]	5,2	-	19,4[14)]	125,5	-	-
Trooppinen kotisirkka (*Gryllodes sigillatus*)	130,0	4,8	4,2	-	1,2	101,0	-	330,0	-	-	13,9
Mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*)[14)]	934,0	0,4	6,7	26,0	0,4	174,0	6,2	88,7	356,0	-	5,6
Idänkulkusirkka (*Locusta migratoria*)	65,0	3,2	13,7	-	1,0	95,7	-	164,8	648,3	-	14,8
Aavikkokulkusirkka (*Schistocerca gregaria*)	70,0	6,3	8,4	-	0,7	82,0	-	173,0	-	-	18,6
Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)	68,8	1,2	5,2	17,0[14)]	0,9	219,7	1,0	147,8	900,4	50,0	12,7

DM, dry matter, kuiva-aine; FW, fresh weight, tuorepaino

Ca, kalsium; Cu, kupari; Fe, rauta; I, jodi; K, kalium; Mg, magnesium; Mn, mangaani; Na, natrium; P, fosfori; Se, seleeni; Zn, sinkki

1) Lähde: Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2018.

2) Alle 10–17-vuotiaat sekä raskaana olevat ja imettävät naiset 900 mg.

3) 10–13-vuotiaat 0,7 mg, raskaana olevat 1,0 mg ja imettävät 1,3 mg.

4) Miehet, nuoret tytöt ja vaihdevuodet ohittaneet naiset 9 mg ja hedelmällisessä iässä olevat naiset 15 mg.

5) Raskaana olevat naiset 175 µg ja imettävät 200 µg.

6) Miehet 3,5 g ja naiset 3,1 g ja 10–13-vuotiaat pojat 3,3 g ja tytöt 2,9 g.

7) Miehet 350 mg ja naiset sekä 10–13-vuotiaat pojat 280 mg.

8) Arvioitu riittävä saanti miehet 2,3 mg ja naiset 1,8 mg (Freese ja Voutilainen 2016).

9) Suolaksi laskettuna 5 g. Alle 2-vuotiaat lapset enintään 0,5 g/MJ ja 2–10-vuotiaat lapset enintään 3–4 g.

10) 10–17-vuotiaat sekä raskaana olevat 700 mg ja imettävät naiset 900 mg.

11) Naiset 50 µg ja miehet sekä raskaana olevat ja imettävät naiset 60 µg.

12) Miehet sekä raskaana olevat naiset 9 mg, naiset 7 mg ja imettävät naiset 11 mg.

13) Lähde: Ahmad ym. 2018

14) Arvo raakana tai sellaisenaan.

5. HYÖNTEISTEN RAVITSEMUKSELLISEN LAADUN PARANTAMINEN

Hyönteisten ravitsemuksellisen laadun parantamista on tutkittu muutamissa tutkimuksissa. Keskeisimmät tulokset valituista tutkimuksista on esitetty liitteessä. Hyönteiset muuttavat syömäänsä rehuaan tehokkaasti omaksi kehonmassaksi eli niillä sanotaan olevan hyvä rehuhyötysuhde, millä on arvokasta merkitystä muun muassa ympäristön ja kestävyyden kannalta (Oonincx ym. 2015). Hyönteisten vaihtolämpöisyydestä on etua rehuhyötysuhteessa, sillä energiaa kuluu enemmän kasvuun eikä ruumiinlämmön ylläpitoon (van Broekhoven ym. 2015). Hyönteisten ravitsemuksellista laatua voidaan parantaa esimerkiksi *gut-loading*-menetelmällä (Ogilvy ym. 2012). Gut-loading-menetelmässä kasvatetaan tietyn ravintoaineen pitoisuutta hyönteisessä lisäämällä sitä runsaammin rehuun tietyllä aikavälillä ennen hyönteisten valmistusta ruoaksi (Oonincx ja van der Poel 2011). Eri hyönteislajit kuitenkin eroavat toisistaan ravintoaineiden imeytymisen ja varastoinnin kannalta, joten samanlainen rehu ei välttämättä takaa samanlaisia tuloksia kahdella eri lajilla (Oonincx ym. 2019). Hyönteisen ravitsemukselliseen laatuun voidaan vaikuttaa ruokavalion tai rehun lisäksi myös huomioimalla muun muassa hyönteisen kehitysvaihe sekä optimoimalla ympäristöolosuhteet sopiviksi (Ibarra-Herrera ym. 2020). Hyönteisille tarjoamalla rehulla on vaikutuksia ravitsemuksellisen koostumuksen lisäksi hyönteisten kuolleisuuteen, rehuhyötysuhteeseen, kasvuun ja eri kehitysvaiheisiin kuluvaan aikaan (esim. Oonincx ja van der Poel 2011, Ruschioni ym. 2020). Hyönteisten massatuotanto vaatii runsaasti rehua, ja siksi rehua valitessa tulee pohtia eri vaihtoehtoja (Straub ym. 2019). Yksi mahdollinen kestävä tapa kasvattaa hyönteisiä on ruokkia niitä erilaisilla sivutuotteilla ja tähteillä (Oonincx ym. 2015, Truzzi ym. 2020).

Tieteellisissä tutkimuksissa syötävien hyönteisten proteiinipitoisuutta on onnistuttu muokkaamaan vaihtelevasti. Tutkimuksissa käytetyillä rehuilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta jauhopukin (Oonincx ym. 2015, van Broekhoven ym. 2015, Liu ym. 2020, Ruschioni ym. 2020) tai kanatukkarin (Ruschioni et al. 2020) proteiinipitoisuuteen eikä aminohappokoostumukseen. Tutkimuksissa käytettiin erilaisia rehuja, mutta mm. vehnä toistui tutkimusten kesken. Truzzin ja muiden (2020) tutkimuksessa mikrolevä nosti mustasotilaskärpäsen proteiinipitoisuutta verrattuna rehuun, joka sisälsi kahvipavun uloimpaa kuorikerrosta. Oonincxin ja van der Poelin (2011) sekä Bawan ja muiden (2020) tutkimuksessa rehulla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus idänkulkusirkan ja kotisirkan proteiinipitoisuuteen, kun taas Straubin ja muiden (2019) tutkimuksessa vaikutusta aavikkokulkusirkkaan ei ollut. Toistuvia rehuja olivat vehnä, maissi ja soija, mutta osassa rehuissa oli suurempi proteiinipitoisuus, mikä näkyi myös hyönteisissä; vehnä ja erilaiset kasvikset rehussa alensivat proteiinipitoisuutta.

Rehulla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta jauhopukin rasvapitoisuuteen eikä rasvahappokoostumukseen tutkimuksissa (Alves ym. 2016, Dreassi ym. 2017, Liu ym. 2020, Ruschioni ym. 2020). Kaikissa tutkimuksissa hyödynnettiin muiden eri rehuvaihtoehtojen lisäksi vehnää. Van Broekhovenin ja muiden (2015) tutkimuksessa rehu vaikutti jauhopukin kuten myös kanatunkkarin rasvapitoisuuteen, rasvahappokoostumukseen sekä omega-6/omega-3-suhteeseen. EPA:a löytyi hyvin pieniä määriä jauhopukista kahdessa tutkimuksessa (van Broekhoven ym. 2015, Alves ym. 2016). Oonincxin ja muiden (2015) tutkimuksessa rehulla oli vaikutus jauhopukin, kotisirkan ja mustasotilaskärpäsen rasvahappokoostumukseen ja omega-6/omega-3-suhteeseen, joka oli korkea. Kotisirkoista löytyi pieniä määriä DHA:a ja EPA:a. Mustasotilaskärpäsen lauriinihappopitoisuudet olivat korkeat verrattuna muihin lajeihin, mikä tutkijoiden mielestä voi viitata kyseisen lajin kykyyn syntetisoida sitä. Tutkijat huomasivat saman yhteyden myös vuoden 2019 tutkimuksessaan. Kuten kotisirkasta, myös mustasotilaskärpäsestä löytyi pieniä määriä EPA:a. Yhdistäviä rehuja näissä kahdessa tutkimuksessa (van Broekhoven ym. 2015, Oonincx ym. 2015) olivat mäski, oluthiiva, höyrystetyt perunankuoret ja leivän valmistuksen sivutuotteet (engl. *bread remains*). Rehulla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus kotisirkan rasvapitoisuuteen myös Bawan ja muiden (2020) tutkimuksessa. Oonincxin ja muiden (2019) tutkimuksessa pellavansiemenöljylisä paransi tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) kotisirkan, mustasotilaskärpäsen sekä kanatunkkarin rasvahappokoostumusta ja koostumus vaihteli kaikilla lajeilla; vain kotisirkasta löytyi pienet määrät EPA:a ja DHA:a ei mistään. Truzzin ja muiden (2020) tutkimuksessa mikrolevä nosti mustasotilaskärpäsen rasvapitoisuutta sekä paransi rasvahappokoostumusta mm. omega-3-rasvahappojen osalta. Arienin ja muiden (2020) tutkimuksessa pellava- tai maissiöljylisällä oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,0001$) vaikutus tarhamehiläisen rasvapitoisuuteen, rasvahappokoostumukseen ja omega-6/omega-3-suhteeseen. Kaikissa mainituissa tutkimuksissa, lukuun ottamatta Arienin ja muiden (2020) ja Bawan ja muiden (2020) tutkimuksia, vallitsevat rasvahapot olivat palmitiini-, oleiini- ja linolihappo. Truzzin ja muiden (2020) tutkimuksessa myös steariinihappoa löytyi samoina pitoisuuksina.

Liun ja muiden (2020) sekä Ruschionin ja muiden (2020) tutkimuksessa rehulla ei ollut vaikutusta jauhopukin hiilihydraatti- eikä kuitupitoisuuteen. Kuitenkin Alvesin ja muiden (2016) tutkimuksessa, jossa rehuna käytettiin mm. bocaiúva-hedelmää (*Acrocomia aculeata*), yhteys huomattiin; vehnää, soijaa ja bocaiúvaa syövät jauhopukit olivat kuituköyhempiä verrattuna jauhopukkeihin, jotka söivät vain vehnää ja soijaa ($p < 0,05$). Bawan ja muiden (2020) tutkimuksessa rehulla oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$) vaikutus kotisirkan hiilihydraatti- (5–10 g) ja kuitupitoisuuteen (4–8 g/100 g

DM). Tässä tutkimuksessa rehut koostuivat rehualan valmistajien tuotteista, jotka sisälsivät mm. kalajauhoa, eri viljoja ja kasviksia.

Vitamiini-, retinoli- ja karotenoidipitoisuuksia tutkivissa tutkimuksissa (Oonincx ja van der Poel 2011, Ogilvy ym. 2012, Bawa ym. 2020) rehu vaikutti tilastollisesti merkitsevästi idänkulkusirkan, kotisirkan ja trooppisen kotisirkan eri vitamiinien ja karotenoidien pitoisuuksiin. Tutkimusten rehut koostuivat mm. vehnästä, porkkanasta, soijasta, kalasta ja maissista. Vuoden 2011 tutkimuksessa vehnälese vähensi idänkulkusirkan alfakaroteenipitoisuutta, mutta nosti retinolipitoisuutta. Porkkana nosti sekä retinoli- että beetakaroteenipitoisuutta. Vuoden 2012 tutkimuksessa korkein karotenoidipitoisuus (luteiini, kantsaksantiini, beetakryptoksantiini, beetakaroteeni, tunnistamaton karotenoidi) oli hevirehua syöneillä trooppisilla kotisirkoilla ja kotisirkoilla, kun taas matalin pitoisuus oli vehnälesettä syöneillä yksilöillä. Kotisirkat ja trooppiset kotisirkat eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Vuoden 2020 tutkimuksessa kotisirkkojen B-vitamiinipitoisuudet nousivat jättikurpitsaa sisältävillä rehuilla.

Kivennäisainepitoisuuksia tutkivissa tutkimuksissa (Oonincx ja van der Poel 2011, Oonincx ym. 2015, Bawa ym. 2020) rehulla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus idänkulkusirkan, kotisirkan, mustasotilaskärpäsen ja jauhopukin kivennäisainepitoisuuksiin. Vuoden 2011 tutkimuksessa porkkana laski idänkulkusirkan magnesium- ja kaliumpitoisuutta. Vehnälese nosti magnesiumpitoisuutta, mutta laski kalsium-, natrium- ja kaliumpitoisuutta.

6. POHDINTA

Kanditutkielmassa käsiteltiin 13 eri tutkimusta liittyen hyönteisten ravitsemuksellisen laadun parantamiseen. Lisäksi hyödynnettiin muita tutkimuksia liittyen hyönteisten ravitsemukselliseen koostumukseen. Tutkimuksissa oli yhteneväisyyksiä ja myös eroavaisuuksia. Kaikista hyönteislajeista löytyi tutkimuksia, mutta toisista lajeista (kotisirkka, jauhopukki ja mustasotilaskärpänen) selkeästi enemmän (esim. Oonincx ym. 2015). Tiettyjä rehuvaihtoehtoja oli käytetty useissa eri tutkimuksissa, ja osassa tutkimuksista oli taas kokeiltu erikoisempia rehuja. Tutkimuksissa tutkittiin kaikkia eri kehitysvaiheita riippuen hyönteislajista; toukkia tutkittiin eniten jauhopukista ja kanatunkkarista (esim. van Broekhoven ym. 2015), aikuisia kotisirkasta ja idänkulkusirkasta (esim. Ogilvy ym. 2012), koteloita ja esikoteloita jauhopukista, kanatunkkarista, tarhamehiläisestä ja mustasotilaskärpäsestä (esim. Oonincx ym. 2019), kolmatta ja toiseksi viimeistä kehitysvaihetta vain trooppisesta kotisirkasta ja idänkulkusirkasta (esim. Oonincx ja van der Poel

2011), munia vain tarhamehiläisestä (Arien ym. 2020) ja nymfejä vain aavikkokulkusirkasta (Straub ym. 2019).

Sallittuja rehun raaka-aineita Suomessa ovat muun muassa eri kasvikset ja kasviperäiset rehuaineet, kivennäisaineyhdisteet ja maito- ja munatuotteet, kun taas esimerkiksi biojätteitä ei sallita (Ruokavirasto 2020a). Hyönteisten ravitsemuksellista laatua muokkaavat tutkimukset hyödynsivät tutkimuksissaan eri rehun raaka-aineita. Useimmin toistuvat ja tavallisimmat rehun raaka-aineet olivat maissi, vehnä, soija, oluthiiva (*Saccharomyces cerevisiae*), porkkana, erilaiset kasviöljyt sekä erilaiset elintarvikkeiden valmistuksessa syntyvät sivutuotteet. Lisäksi osassa tutkimuksista oli rehuun lisätty vitamiineja, kivennäisaineita sekä aminohappoja (esim. Bawa ym. 2020). Valtaosa käytetyistä rehun raaka-aineista oli rehuaineluettelon (Euroopan komission asetus (EU) N:o 2017/1017 mukaan sallittuja raaka-aineita, joten tutkimustuloksia voidaan hyödyntää käytännön hyönteisten kasvatuksessa.

Rehulla ei suurimmaksi osaksi ollut vaikutusta jauhopukin proteiinipitoisuuteen eikä aminohappokoostumukseen. Näissä tutkimuksissa kuitenkin käytettiin rehuna paljon kasvikunnantuotteita, mikä voi vaikuttaa tuloksiin. Myös suurimmassa osassa tutkimuksia rehulla ei ollut vaikutusta myöskään jauhopukin rasvapitoisuuteen, rasvahappokoostumukseen eikä hiilihydraattipitoisuuteen. Tutkijat (Oonincx ym. 2015, van Broekhoven ym. 2015, Ruschioni ym. 2020) ovatkin epäilleet jauhopukin aineenvaihdunnan (ravintoaineiden imeytymisen ja varastoinnin) olevan hyvin säädeltyä. Oonincxin ja van der Poelin (2011) sekä Bawan ja muiden (2020) tutkimuksessa proteiinipitoiset englanninraiheinä sekä 22 % proteiinia sisältävä rehu paransivat sirkkojen proteiinipitoisuutta.

Kolmessa eri tutkimuksessa (Oonincx ym. 2019, Arien ym. 2020, Truzzi ym. 2020) rehuissa käytettiin jotain kasviöljyä tai omega-3-rasvahappoja sisältävää (mikro)levää ja kaikissa näissä tuloksena oli alhaisempi omega-6/omega-3-suhde sekä yleisesti parempi rasvahappoprofiili eri hyönteislajeissa. Kahdessa muussa tutkimuksessa (Oonincx ym. 2015, van Broekhoven ym. 2015), jossa rehuina käytettiin mm. oluthiivaa ja tärkkelyspitoisia rehuja hyönteisten omega-6/omega-3-suhde oli hyvin korkea. Näiden tutkimusten perusteella omega-3-rasvahappoja sisältävän rehun lisääminen hyönteisten ruokavalioon voi parantaa niiden rasvahappokoostumusta. Van Broekhoven ja muut (2015) huomasivat myös, että pidempi toukkavaihe johti parempaan omega-6/omega-3-suhteeseen. Hyvin usein ruokavalio aloitetaan heti hyönteisen kuoriutumisen jälkeen, minkä takia seuraavaksi voisikin olla hyvä tutkia sitä, voidaanko hyönteisten rasvahappokoostumukseen vaikuttaa

myös myöhemmässä kehitysvaiheessa. Oonincx ja muut (2015, 2019) huomasivat mustasotilaskärpäsessä korkean lauriinihappopitoisuuden (29-51 %) verrattuna muihin lajeihin (≤ 0,5 % kokonaisrasvahappomäärästä), minkä syynä voi mahdollisesti olla kyseisen hyönteislajin kyky syntetisoida lauriinihappoa matalarasvaisella ruokavaliolla ja vuorostaan kyky varastoida sitä runsasrasvaisella ruokavaliolla. Tämä viittaa siihen, että mustasotilaskärpäsen rasvahappokoostumusta voi olla hankala muuttaa. Lisäksi kotisirkassa huomattiin eikosatrieenihappoa (C20:5n3) ja DHA:a, joita ei huomattu muissa lajeissa eikä myöskään rehuissa. Kotisirkka kykenee muuntamaan ALA:a EPA:ksi elongaatiolla sekä oleiinihappoa linolihapoksi, mikä voi viitata siihen, että kotisirkka kykenee mahdollisesti syntetisoimaan eikosatrieenihappoa sekä DHA:a *de novo*. Myös jauhopukin rasvahappokoostumuksen huomattiin olevan epätasapainossa rehun rasvahappokoostumuksen kanssa (Dreassi ym. 2017). Van Broekhoven ja muut (2015) sekä Bawa ja muut (2020) huomauttavat, että hyönteiset voivat syntetisoida lipidejä myös muista yhdisteistä, kuten hiilihydraateista.

Hyönteisten kuitupitoisuudet vaihtelivat merkitsevästi, mutta pitoisuudet eivät aina olleet samassa suhteessa rehujen kanssa (esim. Alves ym. 2016, Bawa ym. 2020). Useat hyönteislajit syövät luonnollisesti kasveja, mikä lisää niiden kuitupitoisuutta. Hiilihydraattipitoisuudet ovat monissa lajeissa alhaiset, sillä proteiinit ja rasvat ovat vallitsevimmat ravintoaineet hyönteisissä.

Kaikissa tutkimuksissa rehulla oli selkeä vaikutus hyönteisten vitamiini- ja kivennäisainekoostumuksiin. Monissa tutkimuksissa hyödynnettiin porkkanaa, mikä nosti hyönteisten karotenoidipitoisuuksia, mutta toisaalta laski tiettyjen kivennäisaineiden pitoisuuksia (esim. Oonincx ja van der Poel 2011). Samat tutkijat huomasivat, että vehnälese laski idänkulkusirkan fosforipitoisuutta verrattuna englanninraiheinään, vaikka sen fosforipitoisuus on jopa korkeampi. Tutkijat epäilivät, että fosfori imeytyy valikoivasti näissä hyönteisissä. Bawa ja muut (2020) huomasivat jättikurpitsalisän madaltavan kotisirkan proteiinipitoisuutta, mutta toisaalta parantavan B-vitamiinipitoisuuksia lukuun ottamatta tiamiinia (B1-vitamiini). Tutkijat huomasivat lisäksi yhteyden proteiinipitoisen rehun ja fosforin, kaliumin, kalsiumin sekä natriumin välillä, joiden pitoisuudet olivat korkeita tätä rehua syöneillä kotisirkoilla. Hyönteisten vitamiini- ja kivennäisaineprofiileista on edelleen hyvin vähän tietoa. Lisätutkimukselle on siis tarvetta.

Oonincx ja van der Poel (2011) sekä Oonincx ja muut (2019) ehdottavat seuraavaksi tutkimuskohteeksi sen, kuinka lyhyen (gut-loading) ja pitkän aikavälin ruokavaliot vaikuttavat hyönteisten ravintoainekoostumuksiin. Heidän tutkimuksissaan menetelmänä oli pitkän ajan

ruokavaliokontrolli, minkä vuoksi hyönteisten suolistossa oleva massa on voinut vaikuttaa tuloksiin. Osassa tutkimuksista (Ogilvy ym. 2012, Bawa ym. 2020, Liu ym. 2020) hyönteiset paastosivat ennen jatkotoimenpiteitä ja analysointia, mutta silläkään ei aina ollut merkittävää vaikutusta. Hyönteisten kasvattaminen orgaanisilla sivutuotteilla sai ristiriitaisia tuloksia: Oonincx ja muiden (2015) johtopäätöksenä oli, että hyönteisiä on mahdollista kasvattaa sivutuotteilla ja niiden ravintoainekoostumusta on mahdollista manipuloida rehulla, kun taas Van Broekhoven ja muut (2015) toteavat, että rasvahappokoostumuksen muokkaus orgaanisilla sivutuotteilla on vaikeaa. He ehdottavat, että tutkijat ottaisivat seuraavaksi huomion keskipisteeksi sen, kuinka samantyyppinen jatkuva ruokavalio yli useamman hyönteissukupolven vaikuttaa hyönteisiin. Alvesin ja muiden (2016) tutkimuksessa käytetty bocaiúva-hedelmä tuotti hyviä tuloksia proteiinin ja rasvan suhteen. Dreassin ja muiden (2017) tulos oli se, että jauhopukin (toukka) rasvahappokoostumusta on mahdollista muokata, mutta koostumus ei välttämättä seuraa samaa trendiä itse rehun kanssa, mikä voi johtua hyönteisen omasta lipidiaineenvaihdunnasta. Toukkamuoto on mahdollisesti myös parempi kuin kotelo sen paremman UFA/SFA-suhteen takia. Liun ja muiden (2020) tutkimuksessa keskityttiin pääasiassa jauhopukin kasvuun; rehulla (vehnälese, porkkana, appelsiini, punakaali) ei ollut merkitsevää vaikutusta jauhopukin ravintoainekoostumukseen.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Hyönteisravinto on vielä länsimaissa tuore aihe, ja siten myös tutkimustieto hyönteisten ravitsemuksellisen laadun parantamisesta on vähäistä. Tutkimukset eroavat niin rehujen, hyönteislajien kuin tutkimusmenetelmien suhteen. Monissa tutkimuksissa on yhtäläisyyksiä tuloksien suhteen erityisesti, kun samanlaisia rehuja on käytetty ja toisaalta myös, kun samaa hyönteislajia on kasvatettu. Hyönteisten ravintoainekoostumukseen vaikuttavat monet muutkin tekijät kuin pelkkä ruokavalio ja siksi onkin vielä vaikea tehdä suoria johtopäätöksiä parhaista rehuista hyönteisille. Lisäksi itse hyönteislajit eroavat toisistaan, joten ravintoainekoostumuksia tai sopivia rehuja ei voida suoraan verrata hyönteislajista toiseen. Kirjallisuuskatsauksessa läpikäydyt 13 tutkimusta Suomessa sallituista hyönteislajeista osoittivat kuitenkin sen, että mahdollisuus hyönteisten ravitsemuksellisen koostumuksen muokkaukseen on olemassa. Etenkin terveydelle haitallisten tyydyttyneiden rasvahappojen määrää on kyetty vähentämään. Katsaus osoitti myös sen, että hyönteiset ovat keskimäärin hyvin proteiinipitoisia, niissä on hyvä aminohappo- ja rasvahappokoostumus sekä sopivassa määrin kuitua. Vitamiinit tarvitsevat vielä lisähuomiota. Yhteenvetona voidaan todeta, että hyönteisissä on potentiaalia ihmis- sekä eläinravinnoksi, mutta lisätutkimusta tarvitaan vielä runsaasti.

LÄHTEET

Ahmad RS, Imran A, Hussain MB. Nutritional composition of meat. InTech 2018.

Alves AV, Sanjinez-Argandoña EJ, Linzmeier AM, Cardoso CAL, Macedo MLR. Food value of mealworm grown on *Acrocomia aculeata* pulp flour. PLOS ONE 2016;11:e0151275.

Arien Y, Dag A, Yona S, Tietel Z, Lapidot Cohen T, Shafir S. Effect of diet lipids and omega-6:3 ratio on honey bee brood development, adult survival and body composition. Journal of Insect Physiology 2020;124:104074.

Baiano A. Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. Trends in Food Science & Technology 2020;100:35–50.

Bawa M, Songsermpong S, Kaewtapee C, Chanput W. Effect of diet on the growth performance, feed conversion, and nutrient content of the house cricket. Journal of Insect Science (Online) 2020;20.

Bbosa T, Tamale Ndagire C, Muzira Mukisa I, Fiaboe KKM, Nakimbugwe D. Nutritional characteristics of selected insects in Uganda for use as alternative protein sources in food and feed. Journal of Insect Science (Tucson, Arizona) 2019;19:.

Bosch G, Zhang S, Oonincx DGAB, Hendriks WH. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. Journal of Nutritional Science (Cambridge) 2014;3:e29.

Churchward-Venne TA, Pinckaers PJM, van Loon JJA, van Loon LJC. Consideration of insects as a source of dietary protein for human consumption. Nutrition Reviews 2017;75:1035-1045.

Despins J, Axtell R. Feeding behavior and growth of broiler chicks fed larvae of the darkling beetle, *Alphitobius diaperinus*. Poultry Science 1995;74:331–336.

Dinev I. The darkling beetle (*Alphitobius Diaperinus*) – a health hazard for broiler chicken production. Trakia Journal of Sciences 2013;11.

Dobermann D, Swift JA, Field LM. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. Nutrition Bulletin 2017;42:293–308.

Dreassi E, Cito A, Zanfini A, Materozzi L, Botta M, Francardi V. Dietary fatty acids influence the growth and fatty acid composition of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). Lipids 2017;52:285–294.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 2015/2283 uuselintarvikkeista.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 258/97 uuselintarvikkeista ja elintarvikkeiden uusista ainesosista.

Euroopan komission asetus (EU) N:o 2017/1017 rehuaineluettelossa annetun asetuksen (EU) N:o 68/2013 muuttamisesta.

Fineli®. Elintarvikkeiden koostumustietopankki. Helsinki: Kansanterveyslaitos, ravitsemusyksikkö. http://www.fineli.fi. Viitattu 27.7.2020.

Freese R, Voutilainen E. Vitamiinit ja kivennäisaineet sekä muut ravinnon yhdisteet. Kirjassa: Aro A, Mutanen M, Uusitupa M, toim. Ravitsemustiede. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2016, s. 88–167.

Friedman M. Nutritional value of proteins from different food sources. A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry 1996;44:6–29.

Haber M, Mishyna M, Itzhak Martinez JJ, Benjamin O. Edible larvae and pupae of honey bee (*Apis mellifera*): Odor and nutritional characterization as a function of diet. Food Chemistry 2019;292:197-203.

Huldén L. Minikarjaa – Hyönteiset ruokana. Helsinki: Like Kustannus Oy 2015.

Ibarra-Herrera CC, Acosta-Estrada B, Chuck-Hernández C, Serrano-Sandoval SN, Guardado-Félix D, Pérez-Carrillo E. Nutritional content of edible grasshopper (*Sphenarium purpurascens*) fed on alfalfa (*Medicago sativa*) and maize (*Zea mays*). CyTA – Journal of Food 2020;18:257–263.

Jantzen da Silva Lucas A, Menegon de Oliveira L, da Rocha M, Prentice C. Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. Food Chemistry 2020;311:126022.

Jongema Y. Worldwide list of recorded edible insects. The Department of Entomology of Wageningen University & Research, the Netherlands 2017.

Kouřimská L, Adámková A. Nutritional and sensory quality of edible insects. NFS Journal 2016;4:22-26.

Liu C, Masri J, Perez V, Maya C, Zhao J. Growth performance and nutrient composition of mealworms (*Tenebrio Molitor*) fed on fresh plant materials-supplemented diets. Foods 2020;9:151.

Manditsera FA, Luning PA, Fogliano V, Lakemond CMM. The contribution of wild harvested edible insects (*Eulepida mashona* and *Henicus whellani*) to nutrition security in Zimbabwe. Journal of Food Composition and Analysis 2019a;75:17–25.

Manditsera FA, Luning PA, Fogliano V, Lakemond CMM. Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects. Food Research International 2019b;121:404–411.

Mohamed E. Fatty acids contents of the edible migratory locust *Locusta migratoria*, Linnaeus, 1758 (Orthoptera: Acrididae). 2015.

Mwangi MN, Oonincx, DGAB, Stouten T, Veenenbos M, Melse-Boonstra A, Dicke M, van Loon JJA. Insects as sources of iron and zinc in human nutrition. Nutrition Research Reviews 2018;31:248–255.

Nowak V, Persijn D, Rittenschober D, Charrondiere UR. Review of food composition data for edible insects. Food chemistry 2016;193:39-46.

Ogilvy V, Fidgett AL, Preziosi RF. Differences in carotenoid accumulation among three feeder-cricket species: Implications for carotenoid delivery to captive insectivores. Zoo Biology 2012;31:470–478.

Oonincx DGAB, van Broekhoven S, van Huis A, van Loon JJA. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. PLOS ONE 2015;10:e0144601.

Oonincx, DGAB, Laurent S, Veenenbos ME, van Loon JJA. Dietary enrichment of edible insects with omega-3 fatty acids. Insect Science 2019;27:500–509.

Oonincx DGAB, van der Poel AFB. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). Zoo Biology 2011;30:9–16.

Payne CLR, Scarborough P, Rayner M, Nonaka K. A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. Trends in Food Science & Technology 2016;47:69–77.

Raheem D, Raposo A, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Carrascosa C. Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. Food Research International 2019;126:108672.

ResearchGate. Nutrition and Feed Terms. https://www.researchgate.net/profile/Ahmad_Solgi/post/Could_someone_send_me_any_information_about_nitrogen_content_protein_in_plant_fibers/attachment/59d6216379197b807797fc8b/AS%3A296383090315267%401447674643815/download/Nutrition+and+Feed+Terms.pdf. Viitattu 23.7.2020.

Roncolini A, Milanović V, Aquilanti L, Cardinali F, Garofalo C, Sabbatini R, Clementi F, Belleggia L, Pasquini M, Mozzon M, Foligni R, Federica Trombetta M, Haouet MN, Serena Altissimi M, Di Bella S, Piersanti A, Griffoni F, Reale A, Niro S, Osimani A. Lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) powder as a novel baking ingredient for manufacturing high-protein, mineral-dense snacks. Food Research International 2020;131:109031.

Ruokavirasto. Eläinperäisiä lisäaineita. https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/yhteiset-koostumusvaatimukset/elintarvikeparanteet/lisaaineet/elainperaiset-valmistus--ja-lisaaineet/elainperaisia-lisaaineita/. Päivitetty 12.10.2018.

Ruokavirasto. 2020a. Hyönteiset elintarvikkeena. Ohje 10588/3. Viitattu 6.6.2020.

Ruokavirasto. 2020b. Lista siirtymäaikana sallituista hyönteislajeista. https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/elintarvikkeiden-alkutuotanto/elaimista-saatavat-elintarvikkeet/hyonteiset/lista-siirtymaaikana-sallituista-hyonteislajeista/. Päivitetty 12.2.2020.

Rumpold BA, Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Molecular Nutrition & Food Research 2013;57:802-823.

Ruschioni S, Loreto N, Foligni R, Mannozzi C, Raffaelli N, Zamporlini F, Pasquini M, Roncolini A, Cardinali F, Osimani A, Aquilanti L, Isidoro N, Riolo P, Mozzon M. Addition of olive pomace

to feeding substrate affects growth performance and nutritional value of mealworm (*Tenebrio Molitor* L.) Larvae. Foods (Basel, Switzerland) 2020;9:317.

Siemianowska E, Kosewska A, Aljewicz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L, Jarocki A, Jędras M. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. Agricultural Sciences 2013;4:287-291.

Straub P, Tanga CM, Osuga I, Windisch W, Subramanian S. Experimental feeding studies with crickets and locusts on the use of feed mixtures composed of storable feed materials commonly used in livestock production. Animal Feed Science and Technology 2019;255:114215.

Truzzi C, Giorgini E, Annibaldi A, Antonucci M, Illuminati S, Scarponi G, Riolo P, Isidoro N, Conti C, Zarantoniello M, Cipriani R, Olivotto I. Fatty acids profile of black soldier fly (*Hermetia illucens*): Influence of feeding substrate based on coffee-waste silverskin enriched with microalgae. Animal Feed Science and Technology 2020;259:114309.

Valtion ravitsemusneuvottelukunta. Terveyttä ruoasta! Suomalaiset ravitsemussuositukset 2014. 5. korjattu painos. Helsinki: PunaMusta Oy 2018.

van Broekhoven S, Oonincx DGAB, van Huis A, van Loon JJA. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. Journal of Insect Physiology 2015;73:1–10.

van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. Edible insects: future prospects for food and feed security. [Rome], Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2013.

Walker T. 1999. Tropical House Cricket, *Gryllodes sigillatus* (F. Walker)1. Department of Entomology and Nematology. https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN22100.pdf. Viitattu 6.8.2020.

Yi L, van Boekel MAJS, Boeren S, Lakemond CMM. Protein identification and in vitro digestion of fractions from *Tenebrio molitor*. European Food Research and Technology 2016;242:1285–1297.

Yi L, Lakemond CMM, Sagis LMC, Eisner-Schadler V, van Huis A, van Boekel MAJS. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. Food Chemistry 2013;141:3341–3348.

Zhang X, Tang H, Chen G, Qiao L, Li J, Liu B, Liu Z, Li M, Liu X. Growth performance and nutritional profile of mealworms reared on corn stover, soybean meal, and distillers' grains. European Food Research and Technology 2019;245:2631-2640.

Zielińska E, Baraniak B, Karaś M, Rybczyńska K, Jakubczyk A. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. Food Research International 2015;77:460–466.

LIITE Rehun vaikutus kahdeksan syötäväksi kelpaavan hyönteislajin ravitsemukselliseen laatuun

Viite (maa)	Tutkimusaineisto	Tutkimusmenetelmät	Tärkeimmät tulokset
Oonincx ja van der Poel 2011 (Alankomaat)	Toiseksi viimeisen kehitysvaiheen (engl. *penultimate instar*) ja aikuisvaiheen idänkulkusirkat (*Locusta migratoria*)	Sirkat jaettiin satunnaisesti kolmelle eri ruokavaliolle heti kuoriutumisen jälkeen. Sirkat söivät *ad libitum* (= mielen mukaan, vapaasti). Koe päättyi, kun hyönteiset olivat luoneet nahkansa joko toiseksi viimeisen kehitysvaiheen tai aikuisvaiheen yksilöiksi. **Rehut:** 1. englanninraiheinä (*Lolium perenne*) (G, kontrolli), 2. englanninraiheinä ja vehnälese (GW) ja 3. englanninraiheinä, vehnälese ja porkkana (GWC) **Kasvuolosuhteet:** 12 häkkiä (vuorattu muovilla ja alumiinilla) ilmanvaihdolla, 25 °C päivällä ja 40 °C yöllä, valojakso 16 t	Rasvapitoisuudet olivat runsaammat ja proteiinipitoisuudet heikommat GW- ja GWC-ruokavalioilla verrattuna G-ruokavalioon. **Proteiinit:** Vehnäleseen ja/tai porkkanoiden lisäys englanninraiheinärehuun laski hyönteisten proteiini-rasvasuhdetta ($p = 0,005$). Vehnäleseessä rasvaa on 45 g ja porkkanoissa 20 g, kun taas proteiinia on vähemmän verrattuna englanninraiheinään. Heinän rasvapitoisuutta ei mainita artikkelissa. **Vitamiinit:** Vehnälese vähensi alfakaroteenipitoisuuksia merkitsevästi, mutta nosti retinolipitoisuuksia. Porkkanalisä nosti retinoli- ja beetakaroteenipitoisuuksia. Eniten beetakaroteenia oli toiseksi viimeisen kehitysvaiheen hyönteisissä, jotka söivät GWC-rehua. **Kivennäisaineet:** Vehnälese laski Ca-, K-, ja Na-pitoisuuksia, mutta nosti Mg-pitoisuuksia. Porkkana laski Mg- ja K-pitoisuuksia. Vaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä.
Ogilvy ym. 2012 (Englanti)	Kolmannen kehitysvaiheen trooppinen kotisirkka (*Gryllodes sigillatus*) ja kotisirkan aikuiset (*Acheta domesticus*, 11–13 mm)	Koe kesti 4–6 päivää; puolet hyönteisistä paastosivat 4 päivän kuluttua 48 t (empty-gut) ja puolet söivät vielä 2 päivää (full-gut). Hyönteiset söivät *ad libitum*. **Rehut:** 1. vehnälese, 2. kalarehu (Chester Zoo) ja 3. hedelmä- ja vihannessekoitus (porkkana, kurttukaali ja punainen paprika) **Kasvuolosuhteet:** Muovirasiat ilmanvaihdolla	**Vitamiinit:** Vehnälesettä syöneiden hyönteisten karotenoidipitoisuudet olivat hyvin matalat, kalarehua syöneillä pitoisuudet olivat keskinkertaiset ja hevirehua syöneillä korkeat. Siten hevirehu oli suotuisin rehu. Lajien ja karotenoidipitoisuuksien ($p = 0,025$), rehujen ja karotenoidipitoisuuksien ($p = 0,0034$) sekä lajien ja rehujen välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ($p = 0,017$). Paasto ei vaikuttanut

Viite (maa)	Tutkimusaineisto	Tutkimusmenetelmät	Tärkeimmät tulokset
		(*faunarium*)	merkitsevästi kotisirkkojen ja trooppisten kotisirkkojen karotenoidipitoisuuksiin. Karotenoidin retentio (= pidättyminen elimistöön) oli huono kaikilla lajeilla. Kaikkien kolmen rehun karotenoidipitoisuudet vaihtelivat merkitsevästi troppisella kotisirkalla ($p \leq 0{,}001$); karotenoidipitoisuudet olivat merkitsevästi suuremmat kalarehua (1,1-12,6 μg g^{-1}) kuin vehnälesettä (< 1 μg g^{-1}) syöneillä, hevirehua (0,9–38,2 μg g^{-1}) kuin vehnälesettä syöneillä sekä hevirehua kuin kalarehua syöneillä trooppisilla kotisirkoilla. Karotenoideista löytyi luteiinia, kantaksantiinia, beetakryptoksantiinia, beetakaroteenia sekä tunnistamatonta karotenoidia. Eniten löytyi beetakaroteenia; kotisirkoista 3,1–130,1 μg g^{-1} ja trooppisista kotisirkoita 0,9–38,2 μg g^{-1}.
van Broekhoven ym. 2015 (Alankomaat)	Jauhopukin (*Tenebrio molitor*) ja kanatunkkarin (*Alphitobius diaperinus*) toukat	Rehut sisälsivät eri suhteissa oluen valmistuksessa, leivonnassa, perunoiden prosessoinnissa ja bioetanolin tuotossa syntyviä sivutuotteita, ja erosivat toisistaan proteiini-, rasva- ja tärkkelyspitoisuuksissa. Sivutuotteet olivat maissi (engl. *maize DDGS*, etanolinvalmistuksen sivuvirta), oluthiiva (*Saccharomyces cerevisiae*), leivän valmistuksen sivutuotteet (engl. *bread remains*), mäski (engl. *spent grains*) ja höyrystetyt perunankuoret (engl. *potato steam peelings*). Hyönteislajeilla oli eri kontrollirehut. Porkkanoita lisättiin kaksi kertaa viikossa kosteuden säilyttämiseksi. Toukat söivät *ad libitum*. **Rehut:** 1. 40 % oluthiivaa ja höyrystettyjä perunankuoria sekä 10 % maissia ja leivän valmistuksen sivutuotteita (HPHS), 2. 40 % oluthiivaa, 30 % mäskiä, 20 % maissia ja 10 %	Rehu vaikutti kemialliseen koostumukseen sekä rehuhyötysuhteeseen ja kasvuun, ja siten näitä toukkalajeja voidaan kasvattaa luonnonmukaisilla sivutuotteilla ja vaikuttaa niiden ravitsemukselliseen koostumukseen. Rehulla ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta rasva- eikä proteiinipitoisuuksiin. **Rasvahapot:** Rehulla oli vaikutus toukkien rasvapitoisuuteen (engl. *fat content*) ja rasvahappoprofiiliin. Toukkien rasvahappoprofiili ei aina seurannut samaa trendiä rehujen rasvahappoprofiilien kanssa.

Viite (maa)	Tutkimusaineisto	Tutkimusmenetelmät	Tärkeimmät tulokset
		leivän valmistuksen sivutuotteita (HPLS), 3. 85 % höyrystettyjä perunankuoria, 10 % leivän valmistuksen sivutuotteita ja 5 % oluthiivaa (LPHS) ja 4. 50 % leivän valmistuksen sivutuotteita, 40 % mäskiä ja 10 % oluthiivaa (LPLS) sekä kontrollirehut **Kasvuolosuhteet:** Muovirasiat ilmanvaihdolla olosuhdekaapissa (28 °C, RH 65 %, valojakso 12 t)	
Oonincx ym. 2015 (Alankomaat)	Mustasotilaskärpäsen (*Hermetia illucens*) ja jauhopukin (*Tenebrio molitor*) toukat sekä kotisirkan (*Acheta domesticus*) nymfit ja aikuiset	Rehut sisälsivät eri suhteissa ruoanvalmistuksessa syntyviä sivutuotteita, ja erosivat toisistaan proteiini-, rasva- ja hiilihydraattipitoisuuksissa. Sivutuotteet olivat (sokeri)juurikkaan melassi (engl. *beet molasses*), oluthiiva, leivän valmistuksen sivutuotteet, mäski, höyrystetyt perunankuoret ja keksien valmistuksen sivutuotteet (engl. *cookie remains*). Toukat ja nymfit jaettiin kontrolli- ja koeryhmiin 24 t:n sisällä kuoriutumisesta. Jokaisella hyönteislajilla oli oma kontrollirehunsa. Porkkanoita lisättiin jauhopukin rasioihin kolme kertaa viikossa kosteuden säilyttämiseksi. Hyönteiset söivät *ad libitum*. Koe yhdessä rasiassa päättyi, kun ensimmäinen mustasotilaskärpäsen esikotelo, jauhopukin kotelo tai aikuinen havaittiin. **Rehut:** 1. 60 % mäskiä, 20 % oluthiivaa ja 20 % keksien valmistuksen sivutuotteita (HPHF), 2. 50 % oluthiivaa, 30 % höyrystettyjä perunankoria ja 20 % (sokeri)juurikasmelassia (HPLF), 3. 50 % keksien- ja leivän valmistuksen sivutuotteita (LPHF) ja 4. 50 % leivän valmistuksen sivutuotteita, 30 % höyrystettyjä perunankuoria ja 20 % (sokeri)juurikasmelassia (LPLF) sekä kontrollirehut **Kasvuolosuhteet:** Muovirasiat ja -häkit ilmanvaihdolla olosuhdekaapissa (28 °C, RH 70 %, valojakso 12 t)	Ruokien valmistuksessa syntyvillä rehuilla voidaan kasvattaa hyönteisiä ja vaikuttaa niiden proteiini-, rasva-, rasvahappo- ja fosforipitoisuuksiin. **Proteiinit:** Mustasotilaskärpästen proteiinipitoisuus oli matalin, jauhopukkien toiseksi matalin ja korkein kotisirkoilla ($p < 0,001$). Mustasotilaskärpästen proteiinipitoisuus oli suurin HPHF-ruokavaliolla ja tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) suurempi ($46,3 \pm 0,93$ vs. $38,6 \pm 1,9$ % DM) verrattuna LP-rehuihin. Myös jauhopukeilla suurin proteiinipitoisuus oli HPHF-rehulla, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Jauhopukeilla porkkanalisä ei vaikuttanut raakaproteiinipitoisuuksiin. **Rasvat:** Rehulla ei ollut vaikutusta mustasotilaskärpästen eikä kotisirkkojen rasvahappopitoisuuksiin, mutta rehulla oli vaikutus kaikkien hyönteislajien rasvahappoprofiileihin. Omega-6/omega-3-suhde oli kaikilla korkea. **Fosfori:** Rehulla oli vaikutus hyönteisten fosforipitoisuuksiin ($p < 0,05$).

Viite (maa)	Tutkimusaineisto	Tutkimusmenetelmät	Tärkeimmät tulokset
Alves ym. 2016 (Brasilia)	Jauhopukin (*Tenebrio molitor*) toukat	Kokeellisessa rehussa (2.) käytettiin bocaiúva eli macaúba *(Acrocomia aculeata)* -palmukasvilajin hedelmälihasta tehtyä jauhoa, jonka vaikutuksia hyönteisten ravitsemukselliseen laatuun verrattiin kontrollirehua syöneisiin hyönteisiin. **Rehut:** 1. 50 % vehnä- ja soijapapujauhoa (kontrolli) ja 2. 50 % kontrollirehua ja bocaiúva-jauhoa **Kasvuolosuhteet:** Polystyreenirasiat (25 °C, RH 80 %, valojakso 10 t) 90 päivän ajan	Jauhopukeissa oli runsaasti proteiinia (44,8 %), lipidejä (40,5 %) sekä tyydyttymättömiä rasvahappoja (65,9 %). Rehut, joissa oli < 29 % rasvaa, olivat suotuisampia hyönteisten kasvatuksen suhteen. **Rasvahapot:** Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä. Vallitsevat rasvahapot olivat palmitiini- (21 %) ja oleiinihappo (53 %). Vähiten oli kapryylihappoa sekä ALA:a ja EPA:a. SFA:a oli keskimäärin 33,5 %, MUFA:a 54,8 % ja PUFA:a 11,3 %. **Kuitu:** Rehu 1 nosti hyönteisten kuitupitoisuutta enemmän kuin rehu 2 (18,8 ± 1,0 vs. 13,4 ± 1,4 g/100 g DM, $p < 0,05$).
Dreassi ym. 2017 (Italia)	Jauhopukin (*Tenebrio molitor*) toukat (15–20 mm) ja kotelot	Kuusi eri rehuvaihtoehtoa, joissa rasvamäärä vaihteli 0,46–9,34 % DM. Porkkanoita lisättiin kaksi kertaa viikossa kosteuden säilyttämiseksi. Toukat söivät *ad libitum*, ja kerättiin, kunnes niiden pituus oli 25–30 mm. Osa toukista jatkoi koteloitumisvaiheeseen. **Rehut:** 1. vehnäjauhoa, 2. kaurajauhoa, 3. 25 % vehnä-, kaura-, maissi- ja kikhernejauhoa, 4. 50 % kaura- ja vehnäjauhoa, 5. 5 % oluthiivaa ja 47,5 % vehnä- ja kaurajauhoa ja 6. 0,5 % oluthiivaa ja 33,2 % vehnä-, kaura- ja maissijauhoa **Kasvuolosuhteet:** Muovirasiat ilmanvaihdolla olosuhdekaapissa (27 ± 1 °C; RH 40-50 %),	**Rasvat:** Rehulla ei ollut vaikutusta hyönteisten rasvapitoisuuteen. **Rasvahapot:** Vaihteli sekä toukilla että koteloilla, mutta rasvahappokoostumus ei seurannut samaa trendiä rehujen rh-pitoisuuksien kanssa. SFA, MUFA, PUFA sekä SFA/UFA-suhde erosivat tilastollisesti merkitsevästi toukilla eri rehujen välillä, mitä ei havaittu omega-6/omega-3-suhteissa. MUFA- ja PUFA-pitoisuudet erosivat tilastollisesti merkitsevästi koteloilla eri rehujen välillä, ja omega-6/omega-3-suhde oli merkitsevästi korkein kaurajauhorehua syöneillä koteloilla. EPA:a ja DHA:a ei ollut rehuissa eikä hyönteisissä. Suotuisimmat SFA-, PUFA- ja SFA/UFA-arvot ihmisen ruokavaliota ajatellen löytyivät hyönteisistä, jotka söivät vehnä- tai kaurajauhoa. Toukkien omega-6/omega-3-suhteet olivat optimaaliset riippumatta rehusta. Oluthiiva-

Viite (maa)	Tutkimusaineisto	Tutkimusmenetelmät	Tärkeimmät tulokset
			vehnäjauho-kaurajauhorehu sisälsi suotuisimman rasvahappokoostumuksen ja lyhyen kasvunopeuden. Toukat ovat matalan omega-6/omega-3-suhteen takia suotuisampi ihmisen ruokavalioon kuin kotelot.
Oonincx ym. 2019 (Alankomaat ja Ranska)	Kotisirkan (*Acheta domesticus*) nymfit ja aikuiset, kanatunkkarin (*Alphitobius diaperinus*) toukat ja kotelot sekä mustasotilaskärpäsen (*Hermetia illucens*) toukat ja esikotelot	Hyönteiset satunnaistettiin neljälle eri ruokavaliolle (kanarehu, jossa 0, 1, 2 tai 4 % pellavansiemenöljyä). Hyönteiset söivät vapaasti omissa kontrolloiduissa (28 °C, RH 70 %, valojakso 12 t) rasioissa. Koe päättyi, kun ensimmäinen hyönteinen yhdessä rasiassa oli aikuinen tai kotelo- tai esikotelovaiheessa, minkä jälkeen kaikki hyönteiset kylmäkuivattiin ja jauhettiin.	**Rasvahapot:** Suurempi pellavansiemenöljyn määrä (≥ 1–2 %) paransi hyönteisten ALA- ja PUFA-pitoisuutta sekä laski omega-6/omega-3-suhdetta ja tyydyttyneiden rasvahappojen määrää ($p < 0,05$). Rasvahappokoostumus vaihteli kaikilla hyönteislajeilla kaikilla eri ruokavalioilla. Kotisirkoista löytyi pienet määrät EPA:a (0,2 % kokonaisrasvahappomäärästä) jokaisessa eri ruokavaliossa, mitä ei huomattu kahdessa muussa lajissa. DHA:a ei löytynyt hyönteisistä.
Straub ym. 2019 (Kenia ja Saksa)	Aavikkokulkusirkan (*Schistocerca gregaria*) nymfit	Rehut sisälsivät eri suhteissa maissijauhoa, soijauutetta, kuivattuja lehmäpavun lehtiä, maissin korjuujäännöstä (engl. *corn stover*), kuivattua porkkanaa. Hyönteiset korjattiin 29 päivän kuluttua kuoriutumisesta tai heti kun kaikki hyönteiset olivat esiaikuisia. **Rehut:** 1. 50 % maissijauhoa ja lehmäpavun lehtiä, 2. 40 % soijauutetta ja maissin korjuujäännöstä sekä 20 % porkkana-vitamiinijauhoa ja 3. 40 % soijauutetta ja lehmäpavun lehtiä sekä 20 % porkkana-vitamiinijauhoa **Kasvuolosuhteet:** Metallihäkit (30,0 ± 1,7 °C, RH 36,8 ± 6,6 %, valojakso 12 t)	Rehujen ja hyönteisten ravitsemuksellisen koostumuksen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Rehu 3 oli suotuisin sekä ravitsemuksellisen koostumuksen että hyönteisten kehityksen kannalta. **Proteiinit:** Rehuja 2 ja 3 syöneiden hyönteisten raakaproteiinipitoisuus oli suurempi verrattuna rehua 1 syöneisiin hyönteisiin ($p = 0,058$). **Rasvat:** Rehua 1 syöneissä hyönteisissä oli enemmän eetteriuutetta (ts. raakarasvaa) verrattuna rehuja 2 ja 3 syöneisiin hyönteisiin ($p = 0,408$).
Truzzi ym. 2020 (Italia)	Mustasotilaskärpäsen (*Hermetia illucens*) esikotelot	Kahdeksan eri rehua, jossa pohjana kahvin (Arabica ja Robusta) paahtamisen sivutuote, kahvipavun uloimmainen kuorikerros (engl. *coffee silverskin*, CS), rikastettuna mikrolevällä (*Microalgae*) *Schizochytrium* sp. tai *Isochrysis* sp. Koe päättyi, kun toukat	10 % *Schizochytrium* sp. sisältävä rehu (Bs) oli suotuisin rehu, sillä sitä suurempi määrä ei tuottanut lisähyötyjä hyönteisten ravitsemukselliseen laatuun. Lisäksi heterotrofisen *Schizochytrium* sp. -mikrolevän tuottaminen on halvempaa kuin autotrofisen

Viite (maa)	Tutkimusaineisto	Tutkimusmenetelmät	Tärkeimmät tulokset
		olivat muuttuneet esikoteloiksi. **Rehut:** 1. 5 % *Schizochytrium* sp. (rehu As), 2. 10 % *Schizochytrium* sp. (Bs), 3. 20 % *Schizochytrium* sp. (Cs), 4. 25 % *Schizochytrium* sp. (Ds), 5. 100 % CS (E, kontrolli), 6. 5 % *Isochrysis* sp. (Ai), 7. 10 % *Isochrysis* sp. (Bi), 8. 20 % *Isochrysis* sp. (Ci) ja 9. 25 % *Isochrysis* sp. (Di) **Kasvuolosuhteet:** Muovirasiat ilmanvaihdolla olosuhdekaapissa (27 ± 1 °C; RH 65 ± 5 %, valojakso 0 t)	*Isochrysis* sp. -mikrolevän. Mikrolevät voidaan ajatella luontoystävälliseksi rehuksi hyönteisille. **Proteiinit:** Mikrolevälisät nostivat suhteellista proteiinimäärää sekä rehuissa että hyönteisissä verrattuna CS:ään (E). **Lipidit:** Rehun lipidipitoisuus vaikutti hyönteisten lipidipitoisuuksiin. Mikrolevälisä, etenkin *Schizochytrium* sp., nosti suhteellista lipidimäärää sekä rehuissa että hyönteisissä verrattuna CS:ään (E). *Isochrysis* sp. sai aikaan saman vaikutuksen, mutta vain 20 % (Ci) ja 25 % (Di) -rehuissa. **Rasvahapot:** 10 (Bs), 20 (Cs) tai 25 % (Ds) *Schizochytrium* sp. mikrolevää sisältävä rehu nosti tyydyttymättömien rasvahappojen, erityisesti omega-3-rasvahappojen, määrää.
Bawa ym. 2020 (Thaimaa)	Kotisirkan (*Acheta domesticus*) nymfit	Kuoriutuneet nymfit jaettiin satunnaisesti viidelle eri ruokavaliolle. Koe suoritettiin kolmessa erässä (à 3 kk) ja kesti yhteensä 9 kk. Kaikki hyönteiset kerättiin 49. päivänä. Ennen keräystä hyönteiset paastosivat 8 t. Rehut sisälsivät eri suhteissa Pure pride crickets feed -rehua (PPF), Betagro chicken feed -rehua (BF) sekä jättikurpitsaa (*Cucurbita maxima*), joka oli joko tuoretta hedelmälihaa (engl. *fresh pumpkin pulp*, FP) tai kuivattua ja jauhettua hedelmälihaa (engl. *dried pulp pumpkin powder*, DP). PPF-rehu koostui kala-, soijapapu- ja maissijauhosta, jauhetuista akaasian lehdistä, riisileseestä, kasviöljystä, kalsiumvetyfosfaatista, suolasta, vitamiineista, mineraaleista ja aminohapoista. BF-rehu koostui lihasta, kala-, luu-, sekä	**Proteiinit:** Hyönteiset, jotka söivät rehua, jossa oli 22 % proteiinia, sisälsivät eniten proteiinia, kun taas ne, jotka söivät 22 %:sta rehua tuoreella kurpitsalisällä, sisälsivät vähiten (48 %) proteiinia. **Rasvat:** Rehulla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus hyönteisten raakarasvapitoisuuksiin. Vähiten raakarasvaa oli PPF-hyönteisissä ja eniten PPFP-hyönteisissä. **Hiilihydraatit ja kuitu:** Rehulla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus hyönteisten hiilihydraatti- ja raakakuitupitoisuuksiin. Kuitu- (4–8 g) ja hiilihydraattipitoisuudet (5–10 g/100 g DM) vaihtelivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,001$) hyönteisten välillä.

Viite (maa)	Tutkimusaineisto	Tutkimusmenetelmät	Tärkeimmät tulokset
		soijapapu- ja/tai auringonkukansiemenjauhosta sekä maissijauhosta ja/tai hirssistä ja/tai rikotusta riisistä (engl. *broken rice*) ja/tai kassavasta, riisileseestä ja/tai rasvattomasta riisileseestä, melassista, kasviöljystä, kalsiumkarbonaatista ja/tai kalsiumvetyfosfaatista, suolasta, vitamiineista, mineraaleista ja aminohapoista. **Rehut:** 1. PPF-rehu (22 % proteiinia), 2. BP-rehu (PPF + BF, 19 %), 3. BF-rehu (16 %), 4. PPFP-rehu (PPF + FP, 18 %) ja 5. PPDP-rehu (PPF + DP, 20 %) **Kasvuolosuhteet:** Kasvatustalo (engl. *breeding house*) puisella kehyksellä/rungolla ja ilmanvaihdolla (28,92 ± 1,01 °C, RH 67,50 ± 2,89 %)	**Vitamiinit:** Rehu vaikutti tilastollisesti merkitsevästi hyönteisten B-vitamiinipitoisuuksiin ($p < 0,001$). B12-vitamiinia oli eniten PPDP-hyönteisissä (6,7 mg) ja vähiten PB-hyönteisissä (0,01 mg). PPFP-hyönteisissä oli kaikkia B-vitamiineja. **Kivennäisaineet:** Rehu vaikutti tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,001$) hyönteisten kivennäisainepitoisuuksiin. PPF-hyönteiset sisälsivät eniten fosforia, kaliumia, kalsiumia sekä natriumia. BF-hyönteisissä oli eniten rautaa ja PB-hyönteisissä oli eniten sinkkiä. PPFP-hyönteiset sisälsivät kaikkia kuutta kivennäisainetta vähiten.
Liu ym. 2020 (Yhdysvallat)	Jauhopukin (*Tenebrio molitor*) toukat	Koe kesti 4 viikkoa, minkä jälkeen hyönteiset paastosivat 24 t ennen keräystä. Hyönteiset söivät *ad libitum*. **Rehut:** 1. vehnälese (kontrolli), 2. vehnälese ja porkkana, 3. vehnälese ja appelsiini ja 4. vehnälese ja punakaali	Kontrollirehua syöneet hyönteiset sisälsivät 38,3 % lipidejä, 49,1 % proteiinia ja 8,5 % hiilihydraatteja kuiva-aineessa. Kokeellisilla rehuilla ei ollut huomattavaa vaikutusta ravintoainekoostumukseen.
Ruschioni ym. 2020 (Italia)	Jauhopukin (*Tenebrio molitor*) toukat	Porkkanaa lisättiin rehuihin kaksi kertaa viikossa kosteuden säilyttämiseksi. Koe päättyi, kun kaikki hyönteiset olivat toukkavaiheen viimeisessä kehitysvaiheessa. **Rehut:** 1. vehnäjauhoa (kontrolli 1), 2. vehnäjauhon valmistuksen sivutuotetta (engl. *wheat middlings*) (kontrolli 2), 3. 75 % vehnäjauhon valmistuksen sivutuotetta ja 25 % oliivin puristemassaöjyä (engl. *olive pomace*), 4. 50 % vehnäjauhon valmistuksen sivutuotetta ja oliivin puristemassaöljyä ja 5.	Hyönteisten ravintoainekoostumukset (proteiini-, rasva- ja kuitupitoisuus sekä amino- ja rasvahappokoostumus) erosivat toisistaan, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. **Proteiinit:** Rehu 3 oli suotuisin ja siinä oli suurin proteiinipitoisuus (47,6 % DM) sekä EAA/NEAA-suhde (1,2:1). **Rasvat:** Rasvahapoista oleiini- (45,1–58,0 % DM) ja linolihappo (17,8–25,4 % DM) olivat

Viite (maa)	Tutkimusaineisto	Tutkimusmenetelmät	Tärkeimmät tulokset
		25 % vehnäjauhon valmistuksen sivutuotetta ja 75 % oliivin puristemassaöljyä **Kasvuolosuhteet:** Muovirasiat olosuhdekaapissa (28 ± 1 °C, RH 60 ± 5 %, valojakso 0 t)	runsaimmat, ja tyydyttymättömiä rasvahappoja oli enemmän kuin tyydyttyneitä. Tyydyttyneistä rasvahapoista runsaimmin oli palmitiinihappoa (14,9–18,2 % DM).
Arien ym. 2020 (Israel)	Italialaisen mehiläisen (*Apis mellifera ligustica*) poikue (engl. *bee brood*; munat, toukat ja esikotelot)	Rehut (20 % proteiinia) koostuivat 42 % rasvattomasta soijajauhosta, 49,5–56,5 % hunajasta ja 1–8 % pellava- ja maissiöljystä. Koe kesti 7 päivää. **Lipidirehut (omega-6/omega-3-suhde 1:1):** 1. 1 % lipidejä, 2. 2 %, 3. 4 % ja 4. 8 % **Omega-6/omega-3-rehut (lipidipitoisuus 4 %):** 1. 0,3:1, 2. 1:1 ja 3. 5:1 **Kasvuolosuhteet:** Inkubaattori	**Lipidit ja rasvahapot:** Rehun lipidipitoisuudella ja omega-6/omega-3-suhteella oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,0001$) vaikutus hyönteisten lipidipitoisuuksiin, rasvahappokoostumuksiin ja omega-6/omega-3-suhteisiin. Rehun lipidipitoisuus vaikutti välttämättömien rasvahappojen (engl. *essential fatty acids*, EFA) pitoisuuksiin ($p < 0,0001$), jotka olivat korkeimmat 4 %-lipidirehua syöneillä hyönteisillä, sekä omega-6/omega-3-suhteisiin, joka oli matalin 2 %-hyönteisillä. Myös itse omega-6/omega-3-suhde vaikutti EFA-pitoisuuksiin ($p < 0,0001$), jossa 1:1-hyönteisillä oli korkein EFA-pitoisuus, sekä omega-6/omega-3-suhteisiin, joka oli korkein 5:1-hyönteisillä.

ALA, alpha-linolenic acid, alfalinoleenihappo; BF, Betagro chicken feed, Betagro kanarehu; CS, coffee silverskin, kahvipavun uloimmainen kuorikerros; DHA, docosahexaenoic acid, dokosaheksaeenihappo; DM, dry matter, kuiva-aine; DP, dried pulp pumpkin powder, kurpitsan kuivattu ja jauhettu hedelmäliha; EAA, essential amino acids, välttämättömät aminohapot; EFA, essential fatty acids, välttämättömät rasvahapot; EPA, eicosapentaenoic acid, eikosapentaeenihappo; FP, fresh pumpkin pulp, kurpitsan tuore hedelmäliha; G, grass, ruoho; GW, grass+wheat bran, ruoho+vehnälese; GWC, grass+wheat bran+carrots, ruoho+vehnälese+porkkana; HPHF, high protein/high fat, proteiini- ja rasvapitoinen; HPLF, high protein/low fat, proteiinipitoinen ja vähärasvainen; LPHF, low protein/high fat, vähäproteiininen ja rasvapitoinen; LPLF, low protein/low fat, vähäproteiininen ja -rasvainen; HPHS, high protein/high starch, proteiini- ja tärkkelyspitoinen; HPLS, high protein/low starch, proteiinipitoinen ja vähätärkkelyksinen; LPHS, low protein/high starch, vähäproteiininen ja tärkkelyspitoinen; LPLS, low protein/low starch, vähäproteiininen ja -tärkkelyksinen; MUFA, monounsaturated fatty acids, kertatyydyttymättömät rasvahapot; NEAA, nonessential amino acids, ei-välttämättömät aminohapot; PB, PPF + BF; PPDP, PPF + DP; PPF, Pure pride crickets feed, Pure pride rehu sirkoille; PPFP, PPFP + FP; PUFA, polyunsaturated fatty acid, monityydyttymätön rasvahappo; RH, relative humidity, suhteellinen kosteus; SFA, saturated fatty acids, tyydyttyneet rasvahapot; UFA, unsaturated fatty acids