

Kanalle lähitoukkaa

Tiina Siimekselä²⁾, Henna Pitkänen²⁾, Maija Karhapää¹⁾, Miika Tapio¹⁾, Jouni Virta¹⁾, Susanne Heiska¹⁾, Jukka Markkanen¹⁾, Vesa Harjunmaa³⁾ ja Pertti Marnila¹⁾

¹⁾Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

²⁾Jyväskylän ammattikorkeakoulu Biotalousinstituutti, Tuumalantie 17, 43130 Tarvaala,

³⁾Kaistin Tila Oy, Uudenniityntie 147, 32700 Huitinen

e-mail: tiina.siimeksela@jamk.fi

Tarve eläinperäisen lisävalkuaisen saannille omalta tilalta tai lähialueelta on suuri siipikarjan ja sian rehuissa yleisesti käytettävien kalajauhon ja luomusojian kohonneiden hintojen, käyttörajoitusten sekä saantivaikkeuksien takia. Haasteet ovat erityisen suuret luomutuotannossa. Hyönteisiä ei tällä hetkellä voi sertifioida luomuksi, mutta sertifiointin mahdollistava lainsäädäntö on valmisteilla. Valkuaisomavaraisuuden lisäksi hyönteistuotannon avulla voidaan parantaa myös lannoiteomavaraisuutta, sillä tuotannon sivuvirtana syntyvä toukanpuru eli frassi on ensiluokkaista lannoitetta. Tutkimusten mukaan mustasotilaskärpäsien (*Hermetia illucens*) toukka sopii erinomaisen hyvin siipikarjan rehuksi. Esimerkiksi kananpoikien varhaisen vaiheen kasvua voidaan parantaa lisäämällä niiden rehuun 3–10% *Hermetiaa*. Munituskanoilla soija on voitu korvata kokonaan mustasotilaskärpäsien proteiinilla ja rasvalla ja broilerin rehusta on korvattu kalajauhoa mustasotilaskärpäsellä aina 15%:iin asti ilman syönnin ja kasvun heikkenemistä. Hyönteistä sisältävä rehu tuottaa eläimelle terveyshyötyjä. Mustasotilaskärpäsien rasvan runsas lauriinihappo vähentää suoliston enterobakteereja, kuten kolibakteereja. Kitiini ja sen pilkkoutumistuotteet parantavat suoliston mikrobistoa. Mustasotilaskärpäsien sisältää myös bakteereja tappavia peptidejä ja sen proteiinit ja kitiniin voimistavat eläinten luontaista immuunijärjestelmää. Kokeellisissa infektoissa 3–10%:n hyönteisissä on vähentänyt sairastavuutta ja kuolleisuutta. Hyönteisrehun immuniteettia voimistava ja sairastavuutta vähentävä vaikutus voi vähentää antibioottien tarvetta ja pienentää riskiä uusien antibioottiresistenssien bakteerikantojen kehittymiseen kotieläintuotannon yhteydessä. Luomutuotannossa, jossa eläimet ovat osan ajastaan ulkona eikä antibiootteja käytetä, taudinvastustuskyvyn vahvistaminen on erityisen tarpeen. Kanalle lähitoukkaa -hankkeen tavoitteena on parantaa siipikarja- ja sikatilojen valkuaisomavaraisuutta, huoltovarmuutta ja kriisinkestävyyttä korvaamalla tuontivalkuaista hyönteisproteiinilla. Hankkeessa tuotetaan ja pilotoidaan maatilamittakaavaan sopiva, skaalattava ja yleistettävä toimintamalli hyönteistoukan ja sen proteiinirikasteen tuotantoon. Toimintamalli kattaa tiedon laitteista ja menetelmistä mustasotilaskärpäsien proteiinin tuottamiseen sekä yleistettävissä olevat laskentatyökalut hyönteistuotannon tilakohtaisten kannattavuuslaskelmien laatimiseen. Hankkeessa hyödynnetään maatilalan omia kasviviljelyjä toukkien rehuina. Alustavien tulosten mukaan viljojen lajittelun sivuvirta sopii *Hermetian* toukkien rehuiksi. Hankkeessa testataan parasta tapaa koostaa kasvatusmassa, sillä kasvatusalustan rakenne on olennaisen tärkeä toukkien kasvun optimoinnin kannalta. Kanalle lähitoukkaa -hanke on Manner-Suomen maaseudun kehittämissuhteen 2014–2020 rahoittama maaseudun innovaatioryhmä (EIP) hanke. Sen toteuttavat Luonnonvarakeskus (Luke), Jyväskylän ammattikorkeakoulu Oy (Jamk) ja Kaistin tila Oy.

Avainsanat: mustasotilaskärpäsien, *Hermetia illucens*, proteiiniomavaraisuus, hyönteistuotanto

Johdanto

Sikojen ja siipikarjan ruokinnan kotimaisten valkuaislähteiden omavaraisuus ja siihen liittyvä huoltovarmuus ovat nousseet huolenaiheiksi jo vuosia ennen koronapandemian aiheuttamia maailmankaupan häiriöitä ja Ukrainan sodan alkamista, koska rehuissa käytetään valkuaislähteinä paljon soijaa ja kalajauhoa. Ruotsin maatalousyliopiston (SLU) v. 2021 julkaistun tutkimuksen (Karlsson 2021, Lehtonen 2021, Karlsson ym. 2020) mukaan EU:n sika- ja siipikarjamäärä pitäisi puolittaa, mikäli EU:ssa luovuttaisiin tuontisojian käytöstä, vaikka EU:lla on omaakin soija-tuotantoa. Tilanne on Suomessa kriittisempi kuin muualla EU:ssa, koska Suomessa soijan tuotanto on vähäistä ja luomulaatuista soijaa ei juurikaan ole tarjolla tai se on hyvin kallista. Kalajauhon käyttöä rehuissa rajoittavat korkea hinta, saatavuusongelmat sekä kanamunista löytyneet kohonneet PFAS-pitoisuudet, joiden epäillään olevan peräisin rehuissa käytetystä kalajauhasta (Rehnström 2023). Kalajauhoa tai soijaa käytetään munituskanojen rehuissa sen sisältämien, kanoille välttämättömien aminohappojen, erityisesti metioniinin takia, joita ei maatilalan omista kasviperäisistä raaka-aineista tehdystä rehusta saada riittävästi siipikarjan tarpeeseen nähden. Luomutuotannossa rehuun ei voida lisätä synteettisesti tuotettuja aminohappoja täydentämään rehun aminohappopitoisuutta, koska niitä tuotetaan geenimuunneltujen organismien avulla (Ruokavirasto 2022).

Rehun korkea hinta heikentää kotieläintuotannon kannattavuutta, erityisesti luomutuotannossa. Siipikarja- ja sikatiloilla tai kalaa tuottavilla yrityksillä on tarve löytää rehuihin kotimainen, tilakohtaisesti tuotettavissa oleva

proteiininlähde, jolla pystytään korvaamaan ulkomailta tuotava kalajauho ja soija joko osittain tai kokonaan. Hyönteisproteiinin käyttö EU:ssa sikojen ja siipikarjan rehuissa on ollut sallittua syksystä 2021 lähtien. Tällä hetkellä EU:ssa hyönteisille ei ole olemassa luomustatusta, mutta sellaisen luominen on paraikaa käynnissä.

Hyönteisproteiini on tunnistettu yhtenä lupaavana tuontiproteiinin korvaajana rehuissa ja syksystä 2021 alkaen sen käyttö on ollut EU:ssa sallittua siipikarjan ja sikojen ruokintaan. Tällä hetkellä EU:ssa hyönteisille ei ole olemassa luomustatusta, mutta sellaisen luominen on paraikaa käynnissä. Hyönteisten luomusäädösten kehittämiseksi on selvä tarve, koska siipikarjan ja kalan kasvatuksessa merkittävä osa luomurehujen valkuaisesta voitaisiin kattaa hyönteisproteiineilla.

Mustasotilaskärpäsen toukka rehuna

Mustasotilaskärpäsen (*Hermetia illucens*) toukan ja siitä valmistetun proteiinin sopivuudesta kanoille, kaloille ja sioille on kertynyt runsaasti tutkimustietoa viimeisten 10 vuoden aikana (Dabbou ym. 2018, Heuel ym. 2021, Weththasinghe ym. 2021, Tang ym. 2022). *Hermetia* soveltuu osaksi näiden eläinten rehua ja se sisältää myös metioniinia ja kysteiiniä, joita kasviperäisissä rehun raaka-aineissa on liian vähän siipikarjan tarpeeseen verrattuna. Hermetian toukka sisältää kaikki välttämättömät aminohapot ja sen proteiinipitoisuus on 35–44% kuiva-aineesta. Metioniinin pitoisuus on 6–7.1 g kg⁻¹ ja rasvan poiston jälkeen 8.6 g kg⁻¹, joka noin puolet kalajauhon pitoisuudesta. Kysteiiniä Hermetian toukka sisältää 25 g kg⁻¹, joka on n. puolet soijan pitoisuudesta (Lu ym. 2022).

Tutkimustulokset siitä, paljonko Hermetiaa voidaan käyttää siipikarjan rehussa, vaihtelevat paljon sen mukaan, millaisia muita rehuaineita on käytetty, onko verrokiproteiini soijaa vai kalajauhoa sekä tavasta, jolla Hermetian toukka on prosessoitu ja kuinka suuri on kitiinin ja rasvan osuus. Myös siipikarjan ikä sekä kasvua, tuotosta ja hyvinvointia mittaavat parametrit ovat vaihdelleet tutkimuksesta toiseen. Tutkimusten perusteella kokonaista Hermetiaa on voitu turvallisesti lisätä broilerien rehuun 10% ja proteiinirikastetta 15% ilman negatiivisia vaikutuksia kasvuun tai laatuun (Abd El-Hack ym. 2020). Broilereilla 2.6–10% Hermetiaa rehussa nopeutti varhaisen vaiheen kasvua (Dahiry 2016, Dabbou ym. 2018, Elahi ym. 2022). Suuri osuus Hermetiaa broilerin rehussa voi vähentää syömistä ja johtaa hitaampaan kasvuun (Dabbou ym. 2018). Kalajauhosta 15% voitiin korvata onnistuneesti Hermetialla (Manangkot ym. 2014). Munituskanoilla 100% soijasta voitiin onnistuneesti korvata Hermetian proteiinilla ja rasvalla (Bovera ym. 2018, Heuel ym. 2021). Soijan osittainenkin korvaaminen Hermetialla tummentaa keltuaista suuremman karotenoidipitoisuuden vuoksi (Abd El-Hack ym. 2020, Secci ym. 2020).

Hyönteistä sisältävä rehu hyödyttää eläintä muillakin tavoilla kuin valkuaisen lähteenä. Tutkimusten mukaan 3–10%:n hyönteisistä rehussa on kanoilla ja sioilla muuttanut suoliston mikrobiotaa edulliseen suuntaan ja vahvistanut eläinten immuniteettia ja vähentänyt sairastavuutta (Yu ym. 2019, 2020, Abd El-Hack ym. 2020, Lee ym. 2018, Abdel-Latif ym. 2021, Tang ym. 2022, Keser 2023). Sairastuvuusrisikin pienentyminen parantaa paitsi eläinten hyvinvointia, myös tuotannon varmuutta ja kilpailukykyä.

Kanalle lähitoukkaa -hanke

Rehuhyönteisten massakasvatukseen on kehitetty menetelmiä jo miltei kymmenen vuoden ajan ja alalla odotetaan nopeaa kasvua hyönteisrehujen käyttöönoton myötä. Suomessa ala on vasta lapsenkengissä eikä tuotanto vielä riitä rehuteollisuuden mittakaavaan. Hyönteisten massakasvatus tapahtuu useimmiten isoissa tuotantolaitoksissa erilaisia elintarviketeollisuuden sivuvirtoja ja hävikkiruokaa hyödyntäen. Hyönteisten tuotanto on kuitenkin mahdollista myös maatilamittakaavassa hyödyntämällä maatalon omia biomassoja ja olemassa oleva tuotantoinfrastruktuuria. Tuotantomenetelmien soveltaminen maatilamittakaavaan ja tuotannon liittäminen luomusiipikarjan ja kananmunan tuotantoon edellyttää olemassa olevan kasvatusteknologian tason ja saatavuuden selvitystä, rehuhyönteisen tuotantoprosessin suunnittelua täkäläisille biomassoille, erilaisten vaihtoehtojen taloudellista tarkastelua ja riskien arviointia, sekä pilotointia koemittakaavassa. Näiden tuloksena laadittuja toimintamallia ja laskentatyökaluja voidaan käyttää maatilamittakaavan hyönteisrehutuotannon aloittamiseen tarvittavien investointien suunnittelussa.

Kanalle lähitoukkaa -hankkeessa kehitetään toimintamalli hyönteisproteiinin tuottamiseen maatilalla. Toimintamalli sisältää tiedon menetelmistä ja tarvittavista laitteistoista *Hermetian* proteiinin tuottamiseen sekä yleistettävissä olevat laskentatyökalut tilakohtaisten kannattavuuslaskelmien laatimiseen. Toimintamalli on skaalattavissa kaikille sikojen, siipikarjan ja kalojen kasvattajille, jotka tarvitsevat kotimaista valkuaisäydennystä rehuihin. Hankkeessa kehitettävän kustannuslaskentatyökalun avulla tuottaja voi arvioida tuotannon taloudellista kannattavuutta

eri kokoluokissa nykytilanteessa ja sitä, miten kannattavuus muuttuu erilaisissa tilanteissa ja kustannustekijöiden muuttuessa. Selkeä toimintamalli ja kustannuslaskentatyökalu auttavat hyönteisten tuotannon suunnittelua, madaltavat aloittamiskynnystä ja helpottavat tuotannon kannattavuuden luotettavaa arviointia.

Materiaalit ja menetelmät

Maatilamittakaavaan sopivaa mustasotilaskärpäsen toukan kasvatusprosessia pilotoitiin Jamk:n hyönteiskasvattamolla Saarijärvellä syksyn 2023 aikana. Olosuhteilla simuloitiin maatalaolosuhteita. Kasvatusmenetelmäksi valittiin perinteinen laatikkokasvatus sen toimintavarmuuden, kustannustehokkuuden ja yleistettävyyden vuoksi. Toukkien ruokintakokeissa simuloitiin Kaistin tilan tuotannosta tulevien viljelykasvien seulonnan sivuvirtojen käyttöä toukkien rehuina. Kokeissa käytetyt sivuvirrat olivat peräisin tavanomaisesta tuotannosta, mutta laadultaan vastaavia kuin luomutuotannosta peräisin olevat.

Toukkien kasvatuksen perusprosessi

Mustasotilaskärpäsen toukat kasvatettiin 60 cm × 40 cm × 19 cm kokoisissa, päällekkäin pinottavissa hyönteisten kasvatuslaatikoissa (Beekenkamp Group, Hollanti). Laatikoihin laitettiin pääasiassa kasviperäisistä sivuvirroista koostuvaa rehua ja vettä lisättiin n. 60% pitoisuuteen. Rehun päälle lisättiin viiden päivän ikäiset pikkutoukat. Kuhunkin kasvatuslaatikkoon laitettiin 0.3–1 g munamääristä kuoriutuneet toukat. Toukkamäärä riippui massan koostumuksesta, olosuhteista, käsittelyajasta sekä toukan tavoitekoosta. Toukat kasvoivat rehussa ja käsitelivät sen toukanpuruksi eli frassiksi noin viikossa, jonka jälkeen frassi ja toukat eroteltiin koneseulan avulla. Toukat lopetettiin ja inaktivoitiin vieraslajiasetuksen mukaisesti pakastamalla –18 °C:een min. 24 tunnin ajaksi. Toukkien kasvatusprosessi, menetelmät ja laitteet on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisuissa Flyktman ja Siimekselä (2023) ja Siimekselä (2023).

Olosuhteet, lämpötila ja kosteus

Hyönteiskasvattamon olosuhdehuoneessa lämpötila oli n. 27 °C ja ilman kosteus 60% silloin, kun olosuhdehallinta oli kytketty päälle. Kasvatusolosuhteita hallittiin ilman lämpötilan, ilmankosteuden, hiilidioksidipitoisuuden ja valaistuksen osalta. Toukkia kasvatettiin sekä hallituissa olosuhteissa että ilman olosuhdehallintaa, jolloin olosuhteet vaihtelivat mm. ulkoilman lämpötilan mukaan. Kun olosuhdehallinta oli kytketty pois, lämpötila oli enimmäkseen n. 19 °C (alimmillaan 13 °C) ja ilman kosteus 30%.

Esikokeet kasvintuotannon lajittelujäämillä ja niiden esikäsittelyillä

Rehuseoksissa käytettiin kauran, ohran, vehnän, herneen ja rypsin lajitteita, joita testattiin erilaisina seossuhteina perusprosessia käyttäen. Seoksia testattaessa pyrittiin siihen, että tilan kaikkia lajittelusivuvirtoja saadaan käytettyä toukkien rehuina. Verrokkina käytettiin Combi-Nasu rakeen ja vehnäleseeseen seosta, joka on aiemmissa tutkimuksissa toiminut erinomaisesti.

Ensimmäiseksi kokeiltiin yksinkertaisinta vaihtoehtoa, jossa käytettiin kaikkia lajitteita kokonaisina. Toukkien kasvatusalustan rakenteen optimoimiseksi viljoja myös esikäsiteltiin valssaamalla ja jauhamalla eri karkeusasteille, sillä kasvatusalustan rakenne on olennaisen tärkeä toukkien kasvun ja karkailun ehkäisemisen sekä lopputuloksen seulottavuuden kannalta. Rehuseoksien suunnittelussa otettiin huomioon myös kasvatusolosuhteet: lämpötila, kosteus, ilmanvaihto sekä kasvatustiheys.

Esikokeissa testattiin ja havainnoitiin prosessin toimivuutta, toukkien kasvua ja karkailua sekä lopputuloksena saatavan toukkamassan ja frassin seulottavuutta. Eri rehuaine- ja niiden esikäsittelyjen kombinaatioita oli paljon ja siksi esikokeissa keskityttiin löytämään hyvä varmatoiminen prosessi, jonka tuotokset mitattiin seuraavassa vaiheessa.

Tuotos valitulla rehulla ja esikäsittelyllä

Esikokeiden perusteella valittiin tuotokokeeseen toimivaksi havaittu seos, jolla voidaan hyödyntää kaikki maatalan tuotannon lajittelusivuvirrat. Lajitteiden määränä käytettiin 4.5 kg / laatikko ja veden määrinä testattiin 5.5 kg sekä 6.5 kg. Seoksena käytettiin karkealla jauhettuja lajitteita seuraavasti: rypsinurmiseosta 1 kg, ohraa 2 kg, vehnää 1 kg, hennettä 0.5 kg ja vettä 5.5 kg. Seokseen ja lisättiin grammasta muna kuoriutuneet toukat. Toisessa rinnakkaisessa asetelmassa käytettiin 6.5 kg vettä. Toukat ja frassi eroteltiin sähkötoimisella tasoseulalla, 3 mm:n verkolla, jonka jälkeen ne punnittiin.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Eri kombinaatioiden ja esikäsitteilyjen toimivuus

Rehuseokset pyrittiin koostamaan jo alussa sellaiseksi, että niistä tulisi toukkakäsittelyn jälkeen hyvin seulottavia. Rehukoostumukseen tarvittiin oikeanlaisen sisällön lisäksi rakennetta, kuohkeutta ja sopiva kosteus rehun lämpenemisen käynnistymiseen sekä massan pysymiseksi toukkien läpäisevänä. Eri lajitteista tehtyjä rehu yhdistelmiä kokeiltiin kokonaisina, valssattuina sekä sauvasekoittimella hienommaksi rikottuina, mutta toukkien kasvatuksen jälkeen massoista (frassi) ei tullut optimaalisesti seulottavia. Massat jäivät vielä kosteiksi ja niiden seassa oli kokonaisia siemeniä ja rakenne saattoi jäädä paakkuiseksi. Joissakin kokeissa rehua oli liikaa toukkien määriin nähden. Tämän perusteella rehun koostamiskokeita jatkettiin rikkomalla lajitteet sauvasekoittimella ja käyttämällä pienempää rehumäärää. Niistä saatiin jo parempia tuloksia. Eri lajitteiden keskinäisillä osuuksilla ja määrillä sekä niiden karkeusasteilla oli ratkaiseva vaikutus toukkien kykyyn hyödyntää rehua.

Ensimmäisessä kokeessa, jossa oli kaikkia lajitteita kokonaisina, vesi imeytyi huonosti lajitteisiin. Rehuun imeytymätön vesi valui laatikon pohjalle eikä haitannut toukkia. Päällinen pysyi kuohkeana ja massa lämpeni toukkien aineenvaihdon seurauksena, joka kertoo, että toukat pystyivät hyödyntämään seosta. Toukat kasvoivat kuitenkin heikosti. Karkailua ei esiintynyt. Lopputuloksena syntyneen frassin seulottavuus oli huono ja kokonaisia jyviä jäi alustaan paljon.

Lopputuloksen seulottavuuden ja rehun hyötysuhteen parantamiseksi lajitteita esiprosessoitiin valssimyllyn avulla. Kauralajite oli kovaa, pientä ja kuorista eikä litistynyt optimaalisesti. Koska myös rypsilajite oli pientä ja täynnä nurmen siementä, sitä ei yritetty valssata. Ohra ja vehnä litistyivät hyvin. Herne ei niinkään litistynyt, mutta siitä tuli melko hyvää rouhetta.

Säädettävällä viljamylyllä, jossa ei ollut siivilää, saatiin vielä tasaisempaa laatua lajitteiden esiprosessointiin sekä kokeiltua eri karkeusasteita. Näistä kasvatusalustoista tuli hieman liian kosteita ja ne olivat kolmen vuorokauden kasvatuksen jälkeen vielä vetisiä ja kylmiä. Toukat yrittivät karata osasta kasvatuslaatikoita. Viiden vuorokauden jälkeen kuitenkin mm. vehnä-rypsi -sekoitus oli lämmennyt toukkien aineenvaihdon seurauksena, joka kertoi hyvästä kasvusta. Seitsemän kasvatuspäivän jälkeen frassi oli hyvin seulottavissa. Viljamylyn karkeimmalla jauhatuksella saatiin lajitteiden seoksilla lupaavat tulokset, joiden perusteella pystyttiin valitsemaan koostumukset tuotuskokeisiin.

Tuotos valitulla rehulla ja esikäsitteilyllä

Tuotuskokeisiin valitulla rehuseoksella (karkealla jauhetut lajittelusivuvirrat, rypsinurmiseos 1 kg, ohra 2 kg, vehnä 1 kg, herne 0.5 kg ja vesi 5.5 kg,) rehut olivat lämmenneet kasvatuslaatikoissa jo pikkutoukkien lisäystä seuraavana päivänä ja toukat voivat hyvin. Lämpeneminen oli hyvä merkki toukkien kasvusta. Veden osuuden optimoimiseksi testattiin myös 6.5 kg vesimäärää. Niissä laatikoissa rehut eivät ensimmäisen päivän jälkeen olleet lämmenneet kunnolla vaan jäivät haaleiksi.

Neljä päivää pikkutoukkien lisäyksestä rehuun 5.5 kg vettä sisältävät kasvatuslaatikot olivat edelleen lämpimät ja toukat olivat prosessoineet rehua hyvin. Pohjalla oli aavistuksen verran kovettunutta rehua, jonka muodostumisen esim. suurempi määrä rypsinurmiseosta tai karkeaksi jauhettu kaura olisi mahdollisesti estänyt. Toukat painoivat noin 100 mg/kpl. Frassi ja toukat seulottiin kuuden päivän kuluttua pikkutoukkien lisäyksestä. Toukkien paino oli 110 ± 7 mg/kpl. Yhdestä laatikosta toukkaa saatiin 3.38 ± 0.044 kg ja frassia 2.41 ± 0.37 kg. Toukat käyttivät kaiken rehun lukuun ottamatta pientä pohjalle kovettunutta osuutta. Suuremmalla rehumäärällä toukat olisivat mahdollisesti kasvaneet suuremmiksi ja näin saatu enemmän toukkamassaa.

6.5 kg vettä sisältävien laatikoiden rehut olivat neljän päivän jälkeen edelleen viileitä ja märkiä. Toukat yrittivät karata laatikoista, mutta huoneen alhaisen lämpötilan vuoksi eivät onnistuneet. Nämä kasvatuslaatikot siirrettiin olosuhdehuoneeseen, 28 °C lämpötilaan ja 55%:n ilmakehän kosteuteen kahdeksi päiväksi, jonka jälkeen toukat olivat jälleen aktiivisia ja rehu lämmennyt. Frassi ja toukat seulottiin 11 päivän kuluttua pikkutoukkien lisäyksestä. Yhdestä laatikosta tuli 2.72 ± 0.13 kg toukkaa ja 2.59 ± 0.8 kg frassia. Toukkien paino oli 85.8 ± 5.9 mg/kpl.

Havainnot olosuhteista, lämpötilasta, kosteudesta ja toukkien karkailusta

Kun toukkia kasvatettiin ilman olosuhteidenhallintaa, lämpöä oli keskimäärin 19 °C ja alimmillaan vain 13 °C. Toukkakasvatukseen on oletettu tarvitsevan huomattavasti korkeamman lämpötilan, kuten 25–32 °C (Tomberlin ja Sheppard 2002, Tomberlin ym. 2009). Vaihtolämpöiset toukat tarvitsevat lämpimän massan ympärilleen. Tämä toteutuu oikeanlaisen rehukoostumuksen ansiosta, kun toukkien kasvun ja aineenvaihdunnan myötä massa lämpenee, jolloin huoneen lämpötilan merkitys pienenee.

Toukat saivat kaiken rehun kerralla, joten massan kosteuden tuli olla riittävä koko kasvatuksen ajan. Veden määrän optimointi oli tärkeää rehun hyödynnettävyyden onnistumiseksi ja lopputuloksen seulottavaksi saamiseksi. Epäonnistunut rehun koostumus, veden määrä, liian pieni toukkien määrä rehun määrään nähden tai riittämätön ilmanvaihto aiheuttavat pahan hajuista tiivistä massaa tai pinnalle muodostuvaa kuorta, jota toukka ei pysty hyödyntämään. Toukkaa voi myös olla rehun määrään nähden liikaa, jolloin toukka jää pieneksi.

Havaintojemme mukaan liian märkä ja kylmä rehu saa toukat karkaamaan massasta, kun puolestaan onnistunut rehun koostumus ja lämpenevä massa saa toukat pysymään kasvatuslaatikossa. Kasvatuskokeiden aikana viileässä huoneilmassa karkailua ei tapahtunut, vaikka joissakin kasvatuslaatikoissa rehun optimointi ei täysin onnistunut.

Toukkien optimaalinen seulonnan aikaikkuna on vain 1–2 päivän mittainen. Päivää ennen optimaalista seulomisajankohtaa massa on vielä liian kostea ja päivä jälkeen optimaalisen seulonnan ajankohdan toukka alkaa kutistumaan. Viikonlopun sattuessa seulomisajankohtaan, toukka on maanantaina kutistunut jo merkittävästi. Prosessi tapahtuu eri kasvatuslaatikoissa hieman eri tahdissa riippuen monien eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Siksi joidenkin laatikoiden kohdalla seulomisajankohta ei ole optimaalisin, jos seulonta ajoitetaan samanaikaiseksi koko kasvatuserälle.

Johtopäätökset

Tulosten mukaan viljelykasvien lajittelun sivuvirta sopii Hermetian toukkien rehuksi. Toukat kasvoivat kaikilla testatuilla rehuseoksilla. Lajitteiden esikäsittelyllä oli suurempi merkitys toukkien kasvuun kuin rehuseoksen lajitteilla. Toukat eivät pystyneet käsittelemään liian karkearakenteisia seoksia ja toisaalta liian hienojakoiset seokset kovetuivat kasvatuslaatikon pohjaan. Rehuseoksen rakenteella oli merkittävä vaikutus paitsi toukkien kykyyn hyödyntää rehua, myös toukkien ja frassin seulottavuuteen.

Pilottikokeiden alustavien tulosten perusteella vaikutti siltä, että ulkopuolisilla olosuhteilla, kuten ilman lämpötilalla tai ilmankosteudella, ei ollut toukkien kasvuun niin suurta vaikutusta kuin tähän asti on ajateltu. Toukat pystyivät pärjäämään jopa 13 °C: en, lämpötilassa kasvun merkittävästi hidastumatta tai karkailun lisääntymättä. Havainto voi olla merkittävä toukkatuotannon kannattavuuden näkökulmasta, sillä lämmitys on Suomen olosuhteissa yksi suurimmista kustannuseristä hyönteistuotannossa.

Kanalle lähitoukkaa-hankkeessa tehtyjen pilottikokeiden alustavat tulokset ovat lupaavia. Pilottikokeiden tulosten perusteella mustasotilaskärpäsen toukkien kasvattaminen maatilamittakaavassa ja olosuhteissa onnistuu, ja maatilankasvisivuvirrat sopivat toukkien ravinnoksi. Tuotannon käynnistäminen vaatii paikallista optimointia sekä olosuhteisiin että kasvatusalustan reseptiikkaan, mutta kasvatusprosessi on yleistettävissä maataloille.

Kiitokset

Kiitämme Kanalle lähitoukkaa EIP-hankkeen rahoittajaa Maaseudun kehittämissä rahastoa sekä Hämeen ELY-keskusta hankkeen mahdollistamisesta.

Kirjallisuusviitteet

Abd El-Hack, M.E., Shafi, M.E., Alghamdi, W.Y., Abdelnour, S.A., Shehata, A.M., Noreldin, A.E., Ashour, E.A., eSwelum, A.A., Al-Sagan, A.A., Alkhateeb, M. et al. 2020. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Meal as a Promising Feed Ingredient for Poultry: A Comprehensive Review. *Agriculture* 10: 339. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080339>

Abdel-Latif, H.M., Abdel-Tawwab, M., Khalil, R.H., Metwally, A.A., Shakweer, M.S., Ghetas, H.A. & Khallaf, M.A. 2021. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets of European seabass: Effects on antioxidative capacity, non-specific immunity, transcriptomic responses, and resistance to the challenge with *Vibrio alginolyticus*. *Fish & Shellfish Immunology* 111: 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.01.013>

- Bovera, F., Iannaccone, F., Piccolo, G., Di Meo, C., Russo, F., Piscitelli, D., Attia, Y., Hassan, S. & Nizza, A. 2014. Effect of group size on performance and egg quality of laying hens during 20 to 36 weeks of age. *Italian Journal of Animal Science* 13: 3148. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3148>
- Dabbou, S., Gai, F., Biasato, I., Capucchio, M.T., Biasibetti, E., Dezzutto, D., Meneguz, M., Plachà, I., Gasco, L. & Schiavone, A. 2018. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 9: 49. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>
- Dahiru, S., Azhar, B., Anjas, A.B. 2016. Performance of Spring chicken fed different inclusion levels of black soldier fly larvae meal. *Entomol Ornithol Herpetol* 5:185.
- Elahi, U., Xu C., Wang J., Lin J., Wu S., Zhang H. & Qi G. 2022. Insect meal as a feed ingredient for poultry. *Animal Bioscience*. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0435>
- Flyktman, T. & Siimekselä, T. 2023. Kärpäs-kasvatustammon perustaminen. Teoksessa Kärpäsiä ja toukkia - Mustasotilaskärpästen kasvatustaminen pilottikasvatustamossa (toim. Siimekselä, T.). Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 328: 25–35. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/805590/JAMKJULKAISUJA3282023_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Heuel, M., Sandrock, C., Leiber, F., Mathys, A., Gold, M., Zurbrugg, C., Gangnat, I., Kreuzer, M. & Terranova, M. 2021. Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. *Poultry science* 100: 101034. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101034>
- Kalsson, J.O. 2021. Mindre gris- och fågelkött för att bli kvitt EU:s stora sojaimport. *SLU-Nyhet*, 4.1.2021. <https://www.slu.se/ew-nyheter/2021/1/mindre-gris--och-fagelkott-for-att-bli-kvitt-eus-stora-sojaimport/>
- Karlsson, J.O., Parodi, A., van Zanten, H.H.E., Hansson, P.-A. & Röö, E. 2020. Halting European Union soybean feed imports favours ruminants over pigs and poultry. *Nature Food* 2: 38–46. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00203-7>
- Keser, O. 2023. The use of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in poultry nutrition. *International Academic Research and Reviews in Health Sciences* 21: 21–63.
- Lee, J., Kim, Y.M., Park, Y.K., Yang, Y.C., Jung, B.G. & Lee, B.J. 2018. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae enhances immune activities and increases survivability of broiler chicks against experimental infection of *Salmonella gallinarum*. *The Journal of Veterinary Medical Science* 80: 736–740. <https://doi.org/10.1292/jvms.17-0236>
- Lehtonen, S. 2021. Tutkimus: Jos EU luopuisi soijan tuonnista, sika- ja kanamäärä pitäisi puolittaa. *Maaseudun tulevaisuus* 7.1.2021. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/4b75842e-9153-5202-b5ec-979f6bffb4a8>
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R.A.P., et al. 2022. Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review. *Insects* 13: 831. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>
- Manangkot, H.J., Rondonuwu, S.J., Pinontoan, O.R., Najoan, M. & Rumokoy, J.M. 2014. Black soldier fly larvae manure degradation as fish meal replacer in native chicken ration. *Lucrări Ştiinţifice - Seria Zootehnie* 62: 139–142.
- Rehnström, K. 2023. Kalajauho todennäköinen syy luomumunista löytyneille PFAS-yhdisteille. *Luomulehti* 2/2023. Luomuliitto. Julkaistu 6.4.2023. Viitattu 28.2.2024. <https://www.luomuliitto.fi/kalajauho-todennakoinen-syy-luomumunista-loytyneille-pfas-yhdisteille/>
- Ruokavirasto 2022. Eläintuotannon ehdot. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/opaat/luomuelain/elaintuotannon-ehdot/>
- Secchi, G., Bovera, F., Parisi, G. & Moniello, G. 2020. Quality of Eggs and Albumen Technological Properties as Affected by *Hermetia illucens* Larvae Meal in Hens' Diet and Hen Age. *Animals* 10: 81. <https://doi.org/10.3390/ani10010081>
- Siimekselä, T. 2023. Biomassojen käsittely mustasotilaskärpäsen toukkien avulla. Teoksessa: Kärpäsiä ja toukkia - Mustasotilaskärpästen kasvatustaminen pilottikasvatustamossa (toim. Siimekselä, T.). Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 328: 36–40. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/805590/JAMKJULKAISUJA3282023_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Tang, Q., Xu, E., Wang, Z., Xiao, M., Cao, S., Hu, S., Wu, Q., Xiong, Y., Jiang, Z., Wang, F., Yang, G., Wang, L. & Yi, H. 2022. Dietary *Hermetia illucens* Larvae Meal Improves Growth Performance and Intestinal Barrier Function of Weaned Pigs Under the Environment of Enterotoxigenic *Escherichia coli* K88. *Frontiers in Nutrition* 8: 812011. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.812011>
- Tomberlin, J.K. & Sheppard, D.C. 2002. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (*Diptera: Stratiomyidae*) in a colony. *Journal of Entomological Science* 37: 345–352. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-37.4.345>
- Tomberlin, J.K., Adler, P.H. & Myers, H.M. 2009. Development of the black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) in relation to temperature. *Environmental Entomology* 38: 930–934. <https://doi.org/10.1603/022.038.0347>
- Weththasinghe, P., Lagos, L., Cortés, M., Hansen, J. Ø. & Øverland, M. 2021. Dietary Inclusion of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal and Paste Improved Gut Health but Had Minor Effects on Skin Mucus Proteome and Immune Response in Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Frontiers in Immunology* 12: 599530. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.599530>
- Yu, M., Li, Z., Chen, W., Rong, T., Wang, G. & Ma, X. 2019. *Hermetia illucens* larvae as a potential dietary protein source altered the microbiota and modulated mucosal immune status in the colon of finishing pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 10: 50. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0358-1>
- Yu, M., Li, Z., Chen, W., Wang, G., Rong, T., Liu, Z., Wang, F. & Ma, X. 2020. *Hermetia illucens* larvae as a Fishmeal replacement alters intestinal specific bacterial populations and immune homeostasis in weanling piglets. *Journal of Animal Science* 98: skz395. <https://doi.org/10.1093/jas/skz395>