



Utfodring med hela insektslarver till odlad fisk

- status och perspektiv

Ebba Lind

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Djur och hållbarhet (kandidat)
Uppsala 2024



Utfodring med hela insektslarver till odlad fisk - status och perspektiv

Feeding farmed fish with whole insect larvae - status and perspective

Ebba Lind

Handledare: Aleksandar Vidakovic, SLU, Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Hanna Carlberg, SLU, Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd

Examinator: Anders Kiessling, SLU, Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap, G2E
Kurskod: EX0865
Program/utbildning: Djur och hållbarhet (kandidat)
Kursansvarig inst.: Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2024

Nyckelord: akvakultur, nutrition, näringsinnehåll, cirkulärt fiskfoder, vanlig mjölbagge, amerikansk vapenflugor

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd

Sammanfattning

För att göra akvakulturen mer hållbar behövs ersättning till dagens kommersiella foder som består till största del av soja och fiskmjöl. Insektslarver är ett potentiellt hållbart alternativ. Larver möjliggör en cirkulär produktion eftersom de kan födas upp på substrat av organiskt avfall och omvandla det till ett högvärdigt foder innehållande proteiner, lipider, vitaminer och mineraler. Uppfödningen har en effektiv markanvändning och vattenbehovet är lågt. Insekter är även en del av de flesta odlade fiskarters naturliga diet. Syftet med denna litteraturstudie är att undersöka möjligheten att utfodra odlad fisk med hela insektslarver av olika arter och hur fisken påverkas av det. Arbetet kommer huvudsakligen att fokusera på två av de mest utforskade arterna amerikansk vapenfluga (*Hermetia illucens*) och vanlig mjölbagge (*Tenebrio molitor*), med avseende på deras potential som fodermedel för odlad fisk. Litteraturstudien diskuterar även uppfödningssubstratets påverkan på larvernas näringsinnehåll och hur lämpligt det är att tillämpa i fiskens diet för att täcka deras proteinbehov. Arbetet tar även upp potentialer så som att utfodring av hela insektslarver kan användas för att undvika stegen av resurskrävande processer som krävs för att göra insektsmjöl. Även andra utmaningar tas upp så som att hela insektslarver innehåller höga lipidhalter vilket kan påverka fisken. Sammantaget indikerar genomgången litteratur att en partiell inkludering av hela insektslarver i fiskens diet är möjlig utan att negativt påverka fiskens tillväxt och hälsa.

Nyckelord: akvakultur, nutrition, näringsinnehåll, cirkulärt fiskfoder, amerikansk vapenfluga, vanlig mjölbagge

Abstract

To make aquaculture more sustainable, substitutes for today's commercial feeds consisting mostly of soy and fish meal need to be found. Insect larvae are a potentially sustainable alternative. Larvae enable circular production as they can be reared on organic waste substrate and convert it into a high-value feed containing proteins, lipids, vitamins and minerals. The rearing is efficient in terms of land use and does not require much water. Insects are also part of the natural diet of many farmed fish. The aim of this literature review is to investigate the possibility of feeding farmed fish with whole insect larvae of different species and how the fish are affected by it. The primary focus will be on two of the most researched species, black soldier fly (*Hermetia illucens*) and yellow mealworm (*Tenebrio molitor*), regarding their potential as feed for farmed fish. The literature review also discusses the influence of the rearing substrate on the nutritional content of the larvae and how suitable it is to apply in the fish diet to cover their protein needs. The work also addresses potentials such as feeding whole insect larvae to avoid the steps of resource-intensive processes required to make insect meal. Other challenges are also addressed, such as the fact that whole insect larvae contain high lipid levels which can affect fish. Studies addressed in the work indicates that a partial inclusion of whole insect larvae in the fish diet is possible without negatively affecting fish growth and health.

Keywords: aquaculture, nutrition, nutritional content, circular fish feed, black soldier fly, yellow mealworm

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	5
1. Introduktion	6
2. Litteraturgenomgång	8
2.1 Insekter som djurfoder	8
2.1.1 Produktion av insekter	8
2.1.2 Potentiella insektsarter	9
2.1.3 Amerikansk vapenfluga	9
2.1.4 Vanlig mjölbagge	11
2.2 Odlad fisk	12
2.2.1 Fiskars näringsbehov.....	13
2.2.2 Fiskens föda.....	14
2.2.3 Hela insekter till odlad fisk	14
3. Diskussion	17
4. Slutsats	19
Referenser.....	20
Tack	25

Tabellförteckning

Tabell 1. Näringsinnehåll i larver av amerikansk vapenfluga.....	11
Tabell 2. Näringsinnehåll i larver av vanlig mjölbagge.....	12
Tabell 3. Näringsbehov och rekommendationer för atlantlax, regnbåge och tilapia.....	13
Tabell 4. Rekommenderad nivå av smältbart protein till atlantlax, regnbåge och tilapia..	13

1. Introduktion

Akvakulturen är den livsmedelsproduktion som har haft den snabbast årliga tillväxttakten de senaste decennierna (Edwards et al. 2019). År 2020 producerade akvakulturen 122,6 miljoner ton vattenlevande djur och alger, varav 57,5 miljoner ton fisk. Akvakulturen har en betydande roll för världens livsmedelsförsörjning. År 2050 förväntas världens befolkning nå 10 miljarder människor. Detta innebär ett ökat behov av livsmedel, och produktionens fortsatta utveckling är därför viktig (FAO 2022).

Vid mer storskalig odling av fisk sker utfodring med foder som delvis baseras på fiskmjöl och fiskolja från vildfångad fisk. Eftersom tillgången på vildfångad fisk inte är oändlig och denna råvara även skulle kunna ätas direkt av oss människor behövs det andra hållbara alternativ för att tillgodose framtida behov av foderresurser (Hardy 2010). Alternativa fodermedel som växtbaserade protein, exempelvis soja används även till viss del i fiskfoder, dock finns det miljömässiga nackdelar. Sojaodlingarna har orsakat förstörelse av ömtåliga ekosystem så som skog, savanner och gräsmarker. Odlingarna är dessutom resurskrävande på energi, vatten och kemikalier (Prudêncio Da Silva et al. 2010).

En annan faktor som påverkar vattenbrukets framfart är att priset på fiskmjöl, fiskolja och soja har ökat. Detta på grund av den begränsade tillgången, samt att dessa råvaror även är livsmedel som människan kan konsumera direkt vilket har skapat konkurrens (van Huis et al. 2013; van Huis & Oonincx 2017).

För att akvakulturen ska kunna utvecklas och producera ännu mer behövs det hållbara foder. Insekter är ett lovande foderalternativ, de är näringsrika med ett högt proteininnehåll och är rika på lipider, vitaminer och mineraler (van Huis et al. 2013). Uppfödning av insekter har en låg klimatpåverkan då det inte krävs mycket vatten vid produktion och insekterna kan födas upp på restströmmar eller matavfall (Dragojlović et al. 2022; Ordoñez et al. 2022; Toviho & Bársony 2022).

Inom EU regleras användandet av insekter i djurfoder strikt (Toviho & Bársony 2022). Insekter får utfodras både levande och avlivade till de livsmedelsproducerande djuren fisk, gris och fjäderfä. Larverna ska dock endast utfodras med vegetabiliskt substrat, det finns undantag för mjölk och ägg som också är godkänt. Substrat av matavfall och animaliskt ursprung så som gödsel och slakteriavfall är inte godkänt. Utfodring av insekter till idisslare är för närvarande helt förbjudet. Användandet av insekter i foder till sällskapsdjur regleras inte lika

strikt. Fler insektsarter är tillåtna att användas förutsatt att de inte är sjukdomsalstrande eller klassificeras som skadliga främmande arter (Kommissionens förordning 2017/893).

De senaste åren har användandet av insekter i foder utvecklats genom att insekterna mals ner till mjöl som kan användas som foderingrediens. För att göra insektsmjöl krävs flera steg av bearbetning och en komplex infrastruktur. Ordoñez *et al.* (2022) anser att utfodring av hela insektslarver till odlad fisk kan undvika behovet av tillverkningsprocesser, vilket kan främja en mer miljövänlig och cirkulär produktion. Det skulle även kunna möjliggöra en större självförsörjningsgrad för fiskodlare om de kan utfodra sin fisk med egenproducerat cirkulärt foder (Ordoñez *et al.* 2022). Utfodring med hela insekter medför dock en rad utmaningar rörande bland annat näringsinnehåll, logistik och produktionen för odlaren.

Syftet med detta arbete är att genom en litteraturstudie undersöka möjligheten att utfodra odlad fisk med hela insektslarver av olika arter och hur fisken på olika sätt påverkas av det.

Frågeställningen för detta arbete är:

- Hur påverkas odlad fisk av utfodring med hela insektslarver, och vilka insektsarter av de som är godkända i EU är lämpliga för utfodring till odlad fisk utifrån ett nutritionellt perspektiv?

Det finns en begränsad mängd litteratur och forskning om utfodring av hela insektslarver till fisk och länderna i EU är även begränsade av rådande lagstiftningar. Därför kommer arbetet i huvudsak fokusera på de två mest utforskade arterna; amerikansk vapenfluga och vanlig mjölbagge gällande potential som fodermedel för odlad fisk.

2. Litteraturgenomgång

2.1 Insekter som djurfoder

År 2017 godkändes sju insektsarter i EU för användning som foder till fisk: amerikansk vapenfluga (*Hermetia illucens*), husfluga (*Musca domestica*), vanlig mjölbagge (*Tenebrio molitor*), mindre mjölbagge (*Alphitobius diaperinus*), hussyrsa (*Acheta domesticus*), bandsyrsa (*Gryllodes sigillatus*) och fältsyrsa (*Gryllus assimilis*) (Kommissionens förordning 2017/893). Under de senaste två decennierna har intresset för insekter som djurfoder ökat. Det finns flera anledningar till att intresset är stort, insekter utgör en naturlig föda för många fiskar (Henry et al. 2015; FAO u.å.), insekter är rika på protein, lipider, vitaminer och mineraler, de har en effektiv foderomvandlingsförmåga, snabb livscykel och kan födas på organiska avfall (van Huis et al. 2013).

2.1.1 Produktion av insekter

Insekter kan produceras i större eller mindre skala. Att producera fram insekter som djurfoder har många lovande potentialer så som att vara en hållbar produktion. Insektslarver kan födas upp i flervåningslådor vertikalt vilket optimerar markanvändningen. Uppfödning av insekter har ett litet vattenbehov jämfört med uppfödning av andra lantbruksdjur. Larverna behöver en hög luftfuktighet för att ha en optimal miljö vilket kan vara en utmaning eftersom det krävs bra utrustning och kan vara dyrt att upprätthålla. Det medför också krav på ventilationen så luften inte blir stillastående för det kan påverka både insekterna och personalen negativt (Cortes Ortiz et al. 2016).

Processning och bearbetning av insekter

Det finns olika sätt att avliva insekter på, vanligast är antingen genom uppvärmning eller frysning (Dossey et al. 2016; Hong et al. 2020). Efter avlivningen kan insekterna bearbetas för att förlänga hållbarheten. Metoderna kan innebära till exempel torkning av hela insektslarver, avfettning och malning ner till ett mjöl. Torkning gör att larven får en längre hållbarhet, är lättare att transportera och lagra. Det går också att frystorka insekterna som är ett bra alternativ för att bevara den

kemiska sammansättningen. Frystorkning är dock dyrt och tar lång tid (Dossey et al. 2016).

Att göra insektsmjöl har sin fördel i att fett från insekterna avlägsnas som gör att proteinkoncentrationen och hållbarheten ökar. Mjölet går även att blanda ihop med andra foderingsredienser till pellets (Dossey et al. 2016; Renna et al. 2017). Fördelen med att utvinna olja från insekterna är att det kan blandas ihop med andra foderingsredienser, förhöja smak och har ett bra näringsvärde (Dossey et al. 2016).

Insektsindustrin idag

Intresset för att utveckla storskaliga insektsuppfödningar har växt de senaste åren (van Huis et al. 2013). Företaget Enorm i Danmark startade Nordens största kommersiella storskaliga insektsproduktion år 2023 på 22 000 kvadratmeter. De föder upp amerikanska vapenfluglarver på biprodukter från bland annat tillverkning av öl, potatisstärkelse och ost och har som mål att producera 10 000 ton insektsmjöl per år (Vilofoss 2024; Enorm u.å.).

Ett annat exempel på insektsproduktioner är Ynsect från Frankrike som startades år 2011 och är en av världens största produktion idag. De föder upp larver av vanliga mjölbaggas som sedan görs till mjöl eller olja för att säljas antingen som djurfoder eller till mänsklig konsumtion (Ynsect u.å.).

2.1.2 Potentiella insektsarter

Larver av arterna amerikansk vapenfluga och vanlig mjölbagge har visat sig ha en stor potential för användning i djurfoder med tanke på proteininnehållet och den balanserade aminosyraprofilen. Detta gör att larver av arterna amerikansk vapenfluga och vanlig mjölbagge kan vara jämförbara med fiskmjöl och sojamjöl beroende på vilken miljö larverna fötts upp i och på vad för substrat som använts (Barroso et al. 2014; Hua et al. 2019; Hua 2021). Uppfödningssubstraten som larverna får påverkar deras näringsinnehåll, produktionens hållbarhet och effektivitet (Tschirner & Simon 2015; Bosch et al. 2019).

2.1.3 Amerikansk vapenfluga

Den amerikanska vapenflugan förekommer i odlingar över hela världen och kommer ursprungligen från de tropiska och subtropiska delarna av Amerika (Makkar et al. 2014; Seyedalmoosavi et al. 2022). Livscykeln består av fyra huvudstadier: ägg som varar i fyra dagar, larvstadiet som varar i två veckor, puppa som varar i två veckor och vuxen fluga. Larverna är det livsstadium som är mest intressant som foderråvara och de kan bli upp till 27 mm långa och väger upp mot 200 mg (E. Kaufman & W. Diclaro II 2009). Larverna kan livnära sig på många olika foderkällor så som matavfall, gödsel, slaktavfall, vegetabiliskt avfall, biprodukter från alkoholtillverkning och omvandla det till protein (Lalander et al.

2019). De kan även minska mängden patogena bakterier i mikrofloran i gödsel (Erickson et al. 2004; Liu et al. 2008). Larverna är bra på att klara av krävande miljöförhållanden så som matbrist, syrebrist och torka. Däremot behöver larverna värme för att överleva, runt 30°C och en luftfuktighet på ungefär 50–70%, vilket kan resultera i en energikrävande process i vissa miljöer (Makkar et al. 2014).

Näringsinnehåll

Liland *et al.* (2017) undersökte näringsinnehållet på amerikanska vapenfluglarver. Larverna föddes upp på brunalger (*Ascophyllum nodosum*) med olika inblandningsnivåer. Ett foder innehöll endast bearbetat vete och brunalger blandades gradvis in i vetet i steg om 10% upp till 100% brunalger, vilket gav 11 olika fodergrupper. Efter 8 dagar separerades larverna från substratet. Resultatet visade att desto mer inblandning av brunalger det var i substratet, desto mindre blev larverna i storlek, detta kan bero på det minskade proteininnehållet i alger menar Liland *et al.* (2017). Lipidhalten minskade från 34% torrsubstans (TS) när de åt endast bearbetat vete till 8% TS när de åt endast alger. Råproteinhalten var högst i de larver som åt 70% alger. Författarna drog slutsatsen att amerikanska vapenfluglarver kan effektivt födas upp på alger med en inblandningsnivå med vete upp till 50% utan att påverka tillväxt, överlevnad samt näringsutnyttjande negativt (Liland et al. 2017). Resultatet redovisas i ett spann för de olika fodergrupperna i tabell 1.

Tschirner och Simon (2015) gjorde ett 15 dagar långt försök på amerikanska vapenfluglarver med tre olika uppfödningssubstrat, alla med vegetabiliskt ursprung. Som kontroldiet användes en blandning av spannmålsrester. Det andra fodret innehöll mest protein och bestod av biprodukter från alkoholtillverkning från korn, majs, vete och socker. Det tredje fodret innehöll mest fibrer och bestod av torkat sockerbetsfiber.

Tschirner och Simon (2015) kom fram till att näringssammansättningen i fodret har en stor inverkan på produktionsfaktorer som totalt larvutbyte, individuell larvkroppsvikt och näringsinnehåll. Lipidnivån var signifikant lägre i larver som fått fodret med mycket fibrer. Larver som fick fodren med högre andel av protein och fibrer hade signifikant högre innehåll av råprotein men mycket sämre resultat på total larvproduktion, individuell larvvikt, substratkonsumtion per kg larvproduktion och larvöverlevnad. Med tanke på detta drog författarna slutsatsen att larver som fick kontroldieten skulle kunna användas som ett proteinrikt och energirikt djurfoder (Tschirner & Simon 2015). Resultatet redovisas i ett spann för de olika fodergrupperna i tabell 1. Metionin- och lysinhalten i larverna redovisas endast för de som fodrats med kontroldieten.

Tabell 1. Näringsinnehåll i larver av amerikansk vapenfluga. Studierna använde sig av omräkningsfaktor 6,25 för beräkning av råprotein

	Liland <i>et al.</i> (2017)	Tschirner och Simon (2015)
Torrsubstans (TS) (%)	23–36	17–30
Råprotein (RP) (% TS)	33–42	37–52
Lipid (% TS)	8–33	3–38
Aska (% TS)	5–15	4–22
Metionin (% TS)	0,5–0,7	0,6
Lysin (% TS)	2,2–2,5	2,2

2.1.4 Vanlig mjölbagge

Vanlig mjölbagge, larven kallas mjölmask, finns över hela världen och är ett skadedjur som kan finnas där spannmål förvaras, exempelvis i skafferier. Längden på deras livscykel kan variera mellan 280–630 dagar beroende på miljöfaktorer och föda. Livscykeln består av fyra delar: ägg, larv, puppa och vuxen skalbagge (Makkar *et al.* 2014). Honan lägger 250–1000 ägg och de kläcks efter ungefär två veckor om temperaturen är 20–25°C. Larvstadiet varar i fyra månader under optimala förhållanden. Larverna blir 20–32 mm långa. Larverna föredrar ruttnande spannmål men kan också livnära sig på mjöl, bröd, köttrester, fjädrar och döda insekter som de sedan omvandlar till högkvalitativt protein och fett. Puppstadiet varar i 6–28 dagar beroende på temperaturen. Den vuxna skalbaggen är brunsvart i färgen och en cm lång. Deras livslängd varierar från 37–96 dagar (Ghaly & Alkoaik 2009; Makkar *et al.* 2014).

Näringsinnehåll

Khanal *et al.* (2023) gjorde ett försök på mjölmask som föddes upp på två olika substrat, havrebiprodukter respektive vetebiprodukter. Larverna växte fram till 10 veckors ålder innan de skördades. Resultatet visade att larver som fått vetebiprodukterna innehöll en högre andel lipider och aska. Inga signifikanta skillnader fanns mellan larverna med anseende på deras innehåll av råprotein (Khanal *et al.* 2023). Resultatet redovisas i ett spann för de olika fodergrupperna i tabell 2. Metionin- och lysinhalten redovisades endast för de larver som fodrats med vetebiprodukter.

Montalbán *et al.* (2022) gjorde också ett försök med tre foderblandningar. Det första fodret hade ett högt stärkelseinnehåll och låg proteinhalt som var baserat på brödrester samt biprodukter från alkoholtillverkning. De andra två fodren innehöll

båda zucchini, tigernötsmassa, biprodukter från alkoholtillverkning och rishalm, men med olika inblandningsnivåer. Detta gjorde att det ena fodret hade en måttlig nivå av stärkelse och protein, medan det andra fodret en låg nivå av stärkelse men hög nivå av protein.

Resultatet visade att larver som fått foder med hög proteinhalt hade den största viktökningen och högst innehåll av råprotein. Råproteinhalten var lägst för larverna som ätit fodret med låg proteinhalt. Lipidhalten i larverna påverkades inte av kosten. Det fanns inga signifikanta skillnader gällande aminosyraprofilen mellan de olika larverna som fötts upp på olika foder i denna studie.

Slutsatser som drogs av författarna var att vilket uppfödningssubstrat som larverna får påverkar deras näringsinnehåll och tillväxt. Författarna menar att det finns potential att fodra larver på biprodukter vilket är avgörande för att möjliggöra en cirkulär ekonomi i uppfödningen (Montalbán et al. 2022). Resultatet redovisas i ett spann för de olika fodergrupperna i tabell 2.

Tabell 2. Näringsinnehåll i larver av vanlig mjölbagge. Khanal et al. (2023) använde omräkningsfaktor 4,76 för beräkning av råprotein. Montalbán et al. (2022) använde 6,25.

	Khanal et al. (2023)	Montalbán et al. (2022)
Torrsubstans (TS) (%)	-	34–44
Råprotein (RP) (% TS)	40–42	45–52
Lipider (% TS)	27–32	27–33
Aska (% TS)	5–5,4	3
Metionin (% TS)	0,5	1–1,5
Lysin (% TS)	2,7	2–3

2.2 Odlad fisk

Atlantlax (*Salmo salar*), regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) och niltilapia (*Oreochromis niloticus*) är några av världens mest odlade fiskarter (FAO 2022). När det kommer till odlad fisk som konsumeras i Sverige är det främst norskodlad lax (Borthwick et al. 2019). Det svenska vattenbruket är en relativt liten industri och produktionen domineras av regnbåge (Jordbruksverket 2023). Odling i recirkulerande system av varmvattensarter såsom tilapia och clarias (ålmal) (*Clarias gariepinus*) har dock ökat något under senare år (Svenskt vattenbruk 2019, 2022).

2.2.1 Fiskars näringsbehov

En av de viktigaste aspekterna inom akvakulturen är att fiskarnas näringsbehov uppfylls. Dels för att uppnå en effektiv produktion dels för fiskens välfärd (Wilson 2003).

Protein

Hur god kvalitet ett protein har beror på dess sammansättning av de essentiella aminosyrorerna och hur det matchar med djurets behov. Essentiella aminosyror kan inte syntetiseras i fiskens kropp och måste därför tillkomma med fodret för att maximal tillväxt ska underhållas. Metionin och lysin är de första begränsade essentiella aminosyrorerna (National Research Council 2011).

Proteinbehovet varierar både mellan och inom arter och påverkas av en rad olika faktorer. Behovet kan påverkas av levnadsmiljö som kall- eller varmvatten och söt- eller saltvatten. Födottillgång och ålder har också betydelse (Wilson 2003; Molina-Poveda 2016). Fiskars proteinbehov minskar i takt med att fiskarna växer (tabell 4) (Lovell 1998; National Research Council 2011).

Tabell 3. Näringsbehov och rekommendationer för atlantlax, regnbåge och tilapia (% TS) (National Research Council 2011)

% TS	Atlantlax	Regnbåge	Tilapia
Smältbart protein	36	38	29
Metionin	0,7	0,7	0,7
Lysin	2,4	2,4	1,6
Lipider	<35	<35	<10

Tabell 4. Rekommenderad nivå av smältbart protein till atlantlax, regnbåge och tilapia (% färskviktbasis) (National Research Council 2011)

Storlek	<20g	20-200g	200-600g	600-1500g	>1500g
Atlantlax	48	44	40	38	34
Regnbåge	48	40	38	38	36
Niltilapia	40	34	30	28	26

Lipider

Lipider är huvudsakligen en energikälla för fisken, och behovet kan inte definieras specifikt eftersom det påverkas av en mängd olika näringsfaktorer. Mängden lipider som en fisk behöver påverkas bland annat av fodrets innehåll av protein och kolhydrater som också kan fungera som energikälla (National Research Council 2011; IAFFD 2024a).

Eftersom protein är den mest kostsamma ingrediensen i foder är målet att minimera proteinmängden som används som energikälla. Med en lämplig mängd lipider går det att reducera mängden protein i fodret och samtidigt tillgodose energibehovet. I sin tur kan nivån av lipider som krävs för att energibehovet ska tillgodoses minskas genom att tillhandahålla kolhydratkällor till omnivorer och herbivorer som effektivare kan utnyttja kolhydratkällor. Karnivorer så som laxfiskar kan ha svårare att smälta kolhydrater och då blir det inte en effektiv energikälla.

Tilapia klarar inte av lika mycket lipider som laxfiskar. Naturligt innehåller deras diet inte lika mycket lipider utan mer kolhydrater som naturligt är deras energikälla (National Research Council 2011).

2.2.2 Fiskens föda

Insekter utgör en naturlig del av kosten för många fiskar i det vilda. Dieten för unga laxfiskar som lever i vattendrag och mindre sjöar består till stor del av insekter och annat som driver med vattenströmmen (SLU Artdatabanken 2024). Trots det är det inte vanligt att odlade fiskar i västvärlden utfodras med insekter men intresset har växt de senaste åren (van Huis et al. 2013).

Fiskfoder i kommersiell odling balanseras noga för att uppfylla fiskens näringsbehov. De innehåller flertalet ingredienser och några av de vanligaste ingredienserna i dagens kommersiella fiskfoder är soja, fiskmjöl, fiskolja, spannmål till exempel vete, korn eller raps. Beroende på vad det är för fiskart varierar inblandningsnivåerna. Foder till niltilapia innehåller mycket sojamjöl, vete och rapsmjöl. För atlantlax och regnbåge är det vanligt med fiskmjöl, vete, korn, soja, fiskolja (IAFFD 2024b).

2.2.3 Hela insekter till odlad fisk

En utmaning med att utfodra fisk med hela insektslarver är att larverna ofta innehåller mycket fett vilket kan påverka fisken (Ng et al. 2001; Turek et al. 2020; Ordoñez et al. 2022). Det är därför vanligare att ge insektsmjöl som inte innehåller en stor mängd fett och det är inte heller önskvärt ur ett tekniskt perspektiv för fodertillverkning. För att undvika de resurskrävande och kostsamma tillverkningsprocesserna som behövs för att göra insektsmjöl kan utfodring av hela insektslarver vara ett alternativ. Det ger även en möjlighet för småskaliga fiskodlare att kunna producera sitt eget foder till sina fiskar. Att kunna föda upp insekter på avfall och utfodra fisk med innebär även en ökad livsmedelssäkerhet för utvecklingsländer (Ordoñez et al. 2022). Forskare på SLU tycker detta ämne är intressant och ser potential i att denna utfodringspraxis kan vara fördelaktig i cirkulära livsmedelsproduktionssystem så som småskaliga fiskodlingar och

akvaponianläggningar som dels kan tillämpas i utvecklingsländer men också i svenska förhållanden (SLU 2024).

Ordoñez *et al.* (2022) gjorde ett utfodringsförsök under 120 dagar med amerikanska vapenfluglarver på tambaqui (*Colossoma macropomum*) i recirkulerande system. Fiskarna utfodrades med tre olika foder, ett kommersiellt foder, ett foder bestående endast av hela frysta larver och ett foder med hälften kommersiellt foder och hälften frysta larver.

Fiskarna som utfodrats med endast kommersiellt foder och fodret med hälften larver och hälften kommersiellt foder visade liknande resultat gällande daglig viktökning, tillväxthastighet och foderomvandlingsförmåga. Fisk som utfodrats med endast larver uppvisade sämre resultat för alla parametrar förutom foderomvandlingsförmågan som var effektivast. Inga signifikanta skillnader upptäcktes för filéutbyte eller hepatosomatiskt index.

Det totala foderintaget var lägst hos fiskar som fick endast larver. Troliga förklaringar till detta är för att larverna har en högre vattenhalt, tar upp mer volym i magen och för att larverna har höga lipidnivåer som är känt för att orsaka tidig mättnad hos fisk.

Försöket innefattade även tester på fiskfiléernas smak, färg, textur, lukt och utseende test på fiskfileerna. Testpanelen kom fram till att fiskarna som fått hälften kommersiellt foder och hälften larver fick bäst resultat, och sämst resultat fick de fiskar som utfodrats med endast kommersiellt foder.

Ordoñez *et al.* (2022) kom fram till att amerikanska vapenfluglarver kan utgöra hälften av fodermängden till tambaqui utan att påverka tillväxten.

Bondari och Sheppard (1981) gjorde ett 10 veckor långt utfodringsförsök med hackade amerikanska vapenfluglarver till prickig dvärgmal (*Ictalurus punctatus*) och blå tilapia (*Tilapia aurea*). Larverna var uppfödda på hönsgödsel. Testet hade med två kommersiella foder att jämföra larverna med, dels att ge bara det kommersiella fodret, dels att blanda med larver. Forskarna kom fram till att inga av foderblandningarna gav upphov till signifikanta skillnader med avseende på kroppsvikten eller den totala längden på fiskarna och att det skulle vara möjligt att helt eller delvis utfodra prickig dvärgmal och blå tilapia med amerikanska vapenfluglarver. Studien visar även att det är möjligt att ha gödsel som uppfödningssubstrat till amerikanska vapenfluglarver och att dessa i sin tur fungerar att ge som foder till prickig dvärgmal och tilapia. Forskarna poängterade att vidare forskning behövs för larver uppfödda på gödsel samt att utfodra det till fisk (Bondari & Sheppard 1981).

Ng *et al.* (2001) gjorde ett 7 veckor långt försök på clarias (ålmal) (*Clarias gariepinus*) med levande mjölmaskar som skars i små bitar före utfodring. Tre foderblandningar användes: kommersiellt foder, en blandning av larver och kommersiellt foder och enbart larver.

Fiskar som utfodrats med en blandning av larver och kommersiellt foder hade den högsta slutliga medelvikten, procentuella viktökningen, dagliga tillväxthastighet och den effektivaste foderomvandlingsförmågan. Fisk som enbart utfodrats med larver hade lägst viktökning vilket tyder på att det är lämpligt att använda en alternering av pellets och hela insekter. Fiskarna som utfodrats med kombinationsfodret och enbart larver hade signifikant högre lipidhalt i kroppen jämfört med fiskar som matades med det kommersiella fodret. Ng *et al.* (2001) kom fram till att fodra clarias med mjölmask levande eller hackade är ett möjligt alternativ, särskilt i utvecklingsländer där det tillgängliga fodret kan vara av dålig kvalitet (Ng *et al.* 2001).

Ebenso och Udo (2003) testade att utfodra unga tilapia med en diet av endast vetekli och en diet med 20% levande husfluglarver även kallade maggots och resten vetekli. Fiskarna som fick dieten med inblandning av maggots hade signifikant bättre daglig tillväxt, slutlig vikt och foderomvandlingsförmåga.

Turek *et al.* (2020) gjorde ett 60 dagar långt försök på 140 unga regnbågsfiskar med levande hussysror (*Acheta domestica*) och supermask (*Zophobas morio*). Fem foderblandningar testades med olika inblandningsnivåer av de två insekterna samt kommersiellt foder.

Resultatet visade att det inte fanns några signifikanta skillnader i genomsnittlig fiskvikt vid försökets slut. Hussysra och supermask kan delvis eller helt ersätta kommersiellt foder utan negativa effekter på tillväxt, överlevnad eller foderomvandlingsförmåga. En kombination av råa syrsor och supermasklarver visade sig vara näringsmässigt tillräcklig för tillväxt i jämförelse med ett kommersiellt foder med liknande energivärde. Turek *et al.* (2020) menar att detta resultat inte är överraskande, med tanke på att insekter utgör en viktig del av naturliga byten för laxfiskar, inklusive regnbåge. Däremot så bör ett längre försök än 60 dagar göras för att dra slutsatsen att fiskarna inte kommer få en negativ näringsbalans. Fiskarna som fått insekter i sitt foder hade en minskad nivå av omega-3-fettsyror.

Smaktest av slutprodukten gjordes även i denna studie. Inblandning av hussysra gav lägre sensoriska poäng för lukt, smak och eftersmak hos majoriteten av paneldeltagarna. Detta kan begränsa inblandningen av syrsor i foder till laxfiskar. Fiskar som utfodrats med hälften hussysror och hälften supermask var ljusare i färgen. Eftersom färgen på fiskfilén är en viktig egenskap för konsumenter kan det bli ett hinder.

Slutsatsen som drogs i studien var att hussysror och supermask kan utfodras utan att negativt påverka tillväxten eller hälsan på regnbåge. Däremot kan det lägre innehållet av omega-3 samt skillnad i färg och textur påverka acceptansen hos konsumenterna (Turek *et al.* 2020).

3. Diskussion

Det finns ett intresse i att hitta ersättare för fiskmjöl och soja som proteinkällor i fiskfoder för att göra akvakulturen mer hållbar. Det finns en potential för insekter som ett alternativ. Larver av arterna amerikansk vapenfluga och vanlig mjölbagge kan födas upp på biprodukter och organiska avfall för att omvandla det till näringsrika ämnen, bland annat högvärdigt protein vilket Tschirner och Simon (2015), Liland *et al.* (2017), Montalbán *et al.* (2022) och Khanal *et al.* (2023) visar i sina studier. Genom att använda insektslarver som foder till odlad fisk minskar behovet av att importera foder, vilket minskar miljöpåverkan från transporter samt möjliggör en inhemsk och cirkulär produktion.

Flertalet studier visar att vilket substrat larver föds upp på kommer att påverka deras näringsinnehåll (Tschirner & Simon 2015; Liland *et al.* 2017; Montalbán *et al.* 2022; Khanal *et al.* 2023). Detta gör att det finns svårigheter i att redogöra för ett generellt näringsinnehåll av en viss insektsarts larv. Tschirner och Simon (2015) föreslår att fler systematiska studier behövs för att fastställa larvers näringsbehov som kan vara till fördel om larverna ska födas upp på storskalig nivå för att användas som djurfoder.

Det finns potential i att utfodra odlad fisk med insektslarver helt eller partiellt. Amerikanska vapenfluglarver som utfodrats med bearbetat vete i Liland *et al.* (2017) studie innehöll halter för att kunna täcka behovet av metionin, lysin och protein för lax och regnbåge som väger över 200 gram och tilapia. Alla studerade foderblandningar för mjölmask i Montalbán *et al.* (2022) studie hade troligt täckt metionin-, lysin- och proteinbehovet för tilapia. För utfodring till lax och regnbåge hade larver som fått substratet med hög proteinhalt troligt tillgodosett deras metionin-, lysin- och proteinbehov.

De andra larver som undersökts i de olika studierna (se Tschirner och Simon (2015) och Khanal *et al.* (2023)) lämpar sig troligtvis mindre bra för att helt täcka metionin-, lysin- och proteinbehovet. Dessa antaganden måste tolkas med försiktighet eftersom larverna kan ha en relativt låg smältbarhet av protein i fisken beroende på dess kvalitet som inte har tagits upp i detta arbete. Till exempel har kitin, en polysackarid som förekommer i insekter (Rathore & Gupta 2015) som kan påverka smältbarheten hos larver när de används i fiskens diet, inte behandlats i detta arbete (Eggink *et al.* 2022). Till skillnad från de andra tre studierna som använde omräkningsfaktor 6,25 för beräkning av larvernas råprotein använde

Khanal *et al.* (2023) omräkningsfaktor 4,76. Denna variation gör att råproteinhalten i larverna bör jämföras med försiktighet. Vilken faktor som bör användas vid beräkning av insekters råproteininnehåll är inte fastställt, det kan leda till överskattning och variation av proteinhalten i olika studier.

Fler studier behövs för att jämföra och undersöka fler parametrar än bara metionin-, lysin- och proteinhalten för att säkerställa om det är möjligt att utfodra atlantlax, regnbåge eller niltilapia med hela larver av arterna amerikansk vapenfluga och vanlig mjölbagge.

Utfodringsförsök med olika insektsarter till olika fiskarter visar att det skulle vara möjligt för åtminstone en partiell inblandning av hela insektslarver i fiskfoder utan att påverka olika produktionsparametrar (Bondari & Sheppard 1981; Ng *et al.* 2001; Ebenso & Udo 2003; Turek *et al.* 2020; Ordoñez *et al.* 2022).

En utmaning med utfodring av hela insektslarver är att fiskarna kan uppleva tidig mättnad dels för att larverna har en högre fukthalt, tar upp mer volym i magen och har höga lipidnivåer (Ordoñez *et al.* 2022). På grund av detta finns det en potentiell risk att fiskarna inte får i sig tillräckligt med protein för att uppnå maximal tillväxt.

En annan utmaning är risken för en minskad nivå av omega-3-fettsyror i fiskfiléerna när källor till omega-3 såsom fiskolja minskar i fiskens diet. Ur mänsklig närings synpunkt är fisk en bra källa till omega-3, därför är det viktigt att upprätthålla nivåer av detta i fisk (Turek *et al.* 2020). Att använda omega-3 rika substrat såsom alger vid uppfödning av insekter har visat sig öka halterna av omega-3 i larverna (Liland *et al.* 2017). Ytterligare studier föreslås för att undersöka om fisk utfodrade med dessa larver får en ökad omega-3 halt.

En potentiell lösning för dessa två utmaningar bör kunna vara att låta insektslarver partiellt täcka det totala innehållet i fiskens diet. Detta innebär att andra viktiga ingredienser, så som fiskmjöl och fiskolja fortfarande kan användas i fodret. Alternativt tillämpa en utfodringsstrategi där ett slutfoder innehåller fiskolja och fiskmjöl för att upprätthålla omega-3-fettsyror i fiskfiléerna som Turek *et al.* (2020) föreslog i sin studie.

De varierande resultaten från smaktesterna av fiskfiléerna indikerar att smaken kan påverkas av vilken insektsart som används och vilken fiskart som utfodras. Fiskens metaboliska processer, såsom tillväxt, påverkas av insekternas näringsinnehåll. Detta kan i sin tur leda till skillnader i både köttets smak och textur.

Det finns en begränsad mängd studier där utfodring av hela insektslarver till odlad fisk har testats och i framtiden rekommenderas därför ytterligare och mer omfattande studier i detta ämne för att säkerställa och dra slutsatser hur fisken påverkas nutritionellt.

4. Slutsats

Det finns en potential i att utfodra fisk med hela insektslarver vilka är en intressant foderråvara baserat på deras potentiellt höga miljömässiga hållbarhet. Baserat på de studier som tagits upp i arbetet kan larver av arterna amerikansk vapenfluga och vanlig mjölbagge vara lämpliga ur ett nutritionellt perspektiv för åtminstone partiell inkludering i odlade fiskars diet utan att påverka fiskens tillväxt och hälsa.

Hela insektslarver innehåller relativt höga proteinhalter och kan täcka fiskens proteinbehov, men det beror också på insektens uppfödningssubstrat och vilken fisk som odlas. Det finns även ytterligare utmaningar och kunskapsluckor rörande andra parametrar som påverkar fisken utifrån ett nutritionellt perspektiv som inte tagits upp i detta arbete som gör att det krävs mer forskning om utfodring av hela insektslarver till fisk.

Referenser

- Bondari, K. & Sheppard, D.C. (1981). Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture*, 24, 103–109. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(81\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(81)90047-8)
- Borthwick, L., Bergman, K. & Ziegler, F. (2019). *Svensk konsumtion av sjömat*. RISE. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1305161/FULLTEXT01.pdf> [2024-05-16]
- Cortes Ortiz, J.A., Ruiz, A.T., Morales-Ramos, J.A., Thomas, M., Rojas, M.G., Tomberlin, J.K., Yi, L., Han, R., Giroud, L. & Jullien, R.L. (2016). Chapter 6 - Insect Mass Production Technologies. I: Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.A., & Rojas, M.G. (red.) *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Academic Press. 153–201. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5>
- Dossey, A.T., Tatum, J.T. & McGill, W.L. (2016). Chapter 5 - Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. I: Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.A., & Rojas, M.G. (red.) *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Academic Press. 113–152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3>
- Dragojlović, D., Đuragić, O., Pezo, L., Popović, L., Rakita, S., Tomičić, Z. & Spasevski, N. (2022). Comparison of Nutritional Profiles of Super Worm (*Zophobas morio*) and Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) as Alternative Feeds Used in Animal Husbandry: Is Super Worm Superior? *Animals*, 12 (10), 1277. <https://doi.org/10.3390/ani12101277>
- E. Kaufman, P. & W. Diclaro II, J. (2009). Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). *EDIS*, 2009. <https://doi.org/10.32473/edis-in830-2009>
- Ebenso, I.E. & Udo, M.T. (2003). Effect of live maggot on growth of the Nile perch, *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) in south eastern Nigeria. *Global Journal of Agricultural Sciences*, 2 (2), 72–73. <https://doi.org/10.4314/gjass.v2i2.2208>
- Edwards, P., Zhang, W., Belton, B. & Little, D.C. (2019). Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: Its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Marine Policy*, 106, 103547. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103547>
- Eggink, K.M., Pedersen, P.B., Lund, I. & Dalsgaard, J. (2022). Chitin digestibility and intestinal exochitinase activity in Nile tilapia and rainbow trout fed different black soldier fly larvae meal size fractions. *Aquaculture Research*, 53 (16), 5536–5546. <https://doi.org/10.1111/are.16035>
- Enorm (u.å.). *Enorm*. <https://enormbiofactory.com/> [2024-04-24]

- Erickson, M.C., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J. & Doyle, M.P. (2004). Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis in Chicken Manure by Larvae of the Black Soldier Fly. *Journal of Food Protection*, 67 (4), 685–690. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.4.685>
- FAO (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FAO (u.å.). *10 fish and feeding*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709e/x6709e10.htm#MR059 [2024-05-16]
- Ghaly, A.E. & Alkoaik, F.N. (2009). The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4 (4), 319–331. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.319.331>
- Hardy, R.W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, 41 (5), 770–776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x>
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G. & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- Hong, J., Han, T. & Kim, Y.Y. (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review. *Animals*, 10 (11), 2068. <https://doi.org/10.3390/ani10112068>
- van Huis, A. & Oonincx, D.G.A.B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37 (5), 43. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO forestry paper; 171)
- IAFFD (2024a). *Nutrition Specification Database (ASNS)*. <https://app.iaffd.com/asns> [2024-05-07]
- IAFFD (2024b). *Practical Aquaculture Feed Formulation Database (PAFF)*. <https://app.iaffd.com/paff> [2024-05-08]
- Jordbruksverket (2023). *Vattenbruk 2022*. [text]. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2023-08-31-vattenbruk-2022> [2024-05-16]
- Khanal, P., Pandey, D., Næss, G., Cabrita, A.R.J., Fonseca, A.J.M., Maia, M.R.G., Timilsina, B., Veldkamp, T., Sapkota, R. & Overrein, H. (2023). Yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) as an alternative animal feed source: A comprehensive characterization of nutritional values and the larval gut microbiome. *Journal of Cleaner Production*, 389, 136104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136104>
- Kommissionens förordning (EU) 2017/893 av den 24 maj 2017 om ändring av bilagorna I och IV till Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 999/2001 och av bilagorna X, XIV och XV till kommissionens förordning (EU) nr 142/2011 vad

- gäller bestämmelserna om bearbetat animaliskt protein (EUT L 138, 25.5.2017, 92–116) <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/893/oj?uri=CELEX:32017R0893>
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrugg, C. & Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>
- Liland, N.S., Biancarosa, I., Araujo, P., Biemans, D., Bruckner, C.G., Waagbø, R., Torstensen, B.E. & Lock, E.-J. (2017). Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media. *PLOS ONE*, 12 (8), e0183188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183188>
- Liu, Q., Tomberlin, J.K., Brady, J.A., Sanford, M.R. & Yu, Z. (2008). Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Reduce Escherichia coli in Dairy Manure. *Environmental Entomology*, 37 (6), 1525–1530. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-37.6.1525>
- Lovell, T. (1998). *Nutrition and Feeding of Fish*. Boston, Mass. : Kluwer Academic. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4757-1174-5> [2024-05-02]
- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, V. & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Molina-Poveda, C. (2016). 4 - Nutrient requirements. I: *Aquafeed Formulation*. Elsevier Inc. 75–216. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800873-7.00004-X>
- Montalbán, A., Sánchez, C.J., Hernández, F., Schiavone, A., Madrid, J. & Martínez-Miró, S. (2022). Effects of Agro-Industrial Byproduct-Based Diets on the Growth Performance, Digestibility, Nutritional and Microbiota Composition of Mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 13 (4), 323. <https://doi.org/10.3390/insects13040323>
- National Research Council (2011). *Nutrient requirements of fish and shrimp*. National Academies Press.
- Ng, W.-K., Liew, F.-L., Ang, L.-P. & Wong, K.-W. (2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32 (s1), 273–280. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x>
- Ordoñez, B.M., Santana, T.M., Carneiro, D.P., dos Santos, D.K.M., Parra, G.A.P., Moreno, L.C.C., Teixeira Filho, N.P., Aguilar, F.A.A., Yamamoto, F.Y. & Gonçalves, L.U. (2022). Whole Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) as Dietary Replacement of Extruded Feed for Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Juveniles. *Aquaculture Journal*, 2 (4), 246–256. <https://doi.org/10.3390/aquacj2040014>
- Prudêncio Da Silva, V., Van Der Werf, H.M.G., Spies, A. & Soares, S.R. (2010). Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management*, 91 (9), 1831–1839. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.001>

- Rathore, A.S. & Gupta, R.D. (2015). Chitinases from Bacteria to Human: Properties, Applications, and Future Perspectives. *Enzyme Research*, 2015, e791907. <https://doi.org/10.1155/2015/791907>
- Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Prearo, M., Capucchio, M.T., Biasato, I., Biasibetti, E., De Marco, M., Brugiapaglia, A., Zoccarato, I. & Gasco, L. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8 (1), 57. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3>
- Seyedalmoosavi, M.M., Mielenz, M., Veldkamp, T., Daş, G. & Metges, C.C. (2022). Growth efficiency, intestinal biology, and nutrient utilization and requirements of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae compared to monogastric livestock species: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13 (1), 31. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00682-7>
- SLU (2024). *LIVEFLY2fish - whole live black soldier fly in rainbow trout diets*. <https://www.slu.se/en/faculties/vh/research/forskningsprojekt/vilt-och-fisk/livefly2fish-whole-live-black-soldier-fly-in-rainbow-trout-diets/> [2024-05-07]
- SLU Artdatabanken (2024). *Artfakta: Salmo salar*. <https://artfakta.se/taxa/100126> [2024-04-27]
- Svenskt vattenbruk (2019). *Tilapia*. [text]. <https://www.svensktvattenbruk.se/46/att-driva-vattenbruk/exempel-pa-arter-inom-vattenbruk/tilapia.html> [2024-05-16]
- Svenskt vattenbruk (2022). *Arter som är lämpliga för vattenbruk. Arter som är lämpliga för vattenbruk*. [text]. <https://www.svensktvattenbruk.se/46/att-driva-vattenbruk/exempel-pa-arter-inom-vattenbruk.html> [2024-05-16]
- Toviho, O.A. & Bársony, P. (2022). Nutrient Composition and Growth of Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) at Different Ages and Stages of the Life Cycle. *Agriculture*, 12 (11), 1924. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111924>
- Tschirner, M. & Simon, A. (2015). Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1 (4), 249–259. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>
- Turek, J., Sampels, S., Tilami, S.K., Červený, D., Kolářová, J., Randák, T., Mráz, J., Másílko, J., Steinbach, C., Burkina, V., Kozák, P. & Žlábek, V. (2020). Insects in the Feed of Rainbow Trout, *Oncorhynchus Mykiss* (actinopterygii, Salmonidae): Effect on Growth, Fatty Acid Composition, and Sensory Attributes. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 50 (2), 171–181. <https://doi.org/10.3750/AIEP/02785>
- Vilofoss (2024). *Opening of the Largest Insect Factory in Northern Europe*. <https://www.vilofoss.com/News/Opening-of-the-Largest-Insect-Factory-in-Northern-Europe> [2024-05-22]
- Wilson, R.P. (2003). 3 - Amino Acids and Proteins. I: Halver, J.E. & Hardy, R.W. (red.) *Fish Nutrition (Third Edition)*. Academic Press. 143–179. <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50004-5>

Ÿnsect (u.å.). *Ÿnsect*. <https://www.ynsect.com/> [2024-05-16]

Tack

Stort tack till mina handledare Aleksandar Vidakovic och Hanna Carlberg för vägledning och support under arbetets gång.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.