



# Framtidens foder inom vattenbruket

– påverkan på fisk och miljö

---

*New feed sources in aquaculture- nutritional and environmental perspective*

Vilma Johansson

Agronomprogrammet – husdjur

Självständigt arbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för husdjurens utfodring och vård  
Agronomprogrammet – husdjur  
Uppsala 2021



# Framtidens foder inom vattenbruket – påverkan på fisk och miljö

New feed sources in aquaculture- nutritional and environmental perspective

Vilma Johansson

**Handledare:** Aleksandar Vidakovic, SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

**Examinator:** Albin Gräns, SLU, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i husdjursvetenskap, G2E

**Kurskod:** EX0865

**Program/utbildning:** Agronom- Husdjur

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för husdjurens utfodring och vård

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2021

**Omslagsbild:** Fish by Klaus Stiefel (CC BY-NC 2.0)

**Nyckelord:** andra generationens fodermedel, akvakultur, nutrition, produktion, ersättning, hållbarhet

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakultet för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

Institutionen för husdjurens utfodring och vård

## 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. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

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.

## Sammanfattning

Världens akvakulturproduktion har länge förlitat sig på stora mängder av fiskmjöl och fiskolja och på senare år sojamjöl i fiskens foder. Dessa traditionella fodermedel orsakar en stor belastning på marina ekosystem och land-, vatten- och fosforresurser. Nya mer miljövänliga alternativ som kallas för andra generationens fodermedel är under utveckling. I denna grupp finns olika typer av encelliga proteiner, insekter och svampar som oftast produceras genom att använda sig av organiskt avfall för tillväxt och kan produceras på icke brukbar mark vilket är positivt eftersom de inte konkurrerar med befintlig växtodling. Syftet med denna litteraturstudie är att sammanställa information om andra generationens foder till fisk och undersöka om de kan ersätta de traditionella, samt undersöka om dessa nya fodermedel kan uppfylla fiskens näringsbehov. Litteraturstudien ska även diskutera andra generationens fodermedel ur ett miljöperspektiv och vad detta kan innebära för framtidens matsäkerhet. Litteraturstudien visar att andra generationens fodermedel kan till viss del uppfylla olika fiskarters näringsbehov. Däremot kan de i nuläget inte ersätta de traditionella fodermedlen på en storskalig nivå då produktionskostnaderna är för höga. De har däremot potential att bidra till en mer hållbar produktion i framtiden eftersom de kan utnyttja rest- och biprodukter från olika industrier.

*Nyckelord:* andra generationens fodermedel, akvakultur, nutrition, produktion, ersättning, hållbarhet

## Abstract

The world's aquaculture production has long relied on large amounts of fishmeal and fish oil and more recently on soybean meal and other plant-based ingredients in the diets. These traditional feeds cause a great strain on marine ecosystems and land, water, and phosphorus resources. However, new, more environmentally friendly alternatives are under development. In this group are different types of single cell protein, insects and fungi that are often produced using non-arable land, utilizing different organic waste streams as a substrate which is beneficial because it does not compete with crop production. The purpose of this literature study is to compile information on so-called second-generation feed materials for fish and to investigate how and to what extent they can replace traditional ingredients. The literature study concludes that second-generation feed materials could meet the nutritional needs of different fish species. However, large scale production is currently limited to replace traditional feed materials due to high production costs. The literature study also discussed the new feed materials from an environmental perspective and the new feed materials have the potential to contribute to more sustainable production in the future as they can use byproducts from different industries.

*Keywords:* second-generation feed materials, aquaculture, nutrition, production, replacement, sustainability

# Innehållsförteckning

<b>Tabellförteckning .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Inledning.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Retrospektiv av de nuvarande/aktuella foderkällorna och deras roll i näringen 9</b>	
<b>3. Andra generationens fodermedel .....</b>	<b>10</b>
3.1. Insekter .....	10
3.1.1. Produktionsmöjligheter .....	12
3.2. Encelligt protein .....	12
3.2.1. Bakterier.....	13
3.2.2. Mikroalger .....	13
3.2.3. Svampar och jästsvamp .....	14
3.2.4. Produktionsmöjligheter för encelligt protein.....	15
<b>4. Diskussion.....</b>	<b>17</b>
<b>Referenser.....</b>	<b>19</b>
<b>Tack .....</b>	<b>22</b>

# Tabellförteckning

Tabell 1. Översikt över studierna som användes för att undersöka ersättningsnivå av insektsmjöl  
11

Tabell 2. Översikt över studierna som användes för att undersöka ersättningsnivå av olika  
encelliga protein 15

# 1. Inledning

Världens befolkning ökar och i och med det också behovet av mat (Hua *et al.*, 2019). Idag spelar akvakultur en betydande roll för global matsäkerhet. Akvakultur har varit den snabbaste växande matproduktionssektorn de senaste 30 åren och idag är det allmänt erkänt att akvakultur kommer ha en signifikant roll i att försörja världen med mat även i framtiden (Hua *et al.*, 2019;FAO 2020.) Enligt FN:s livsmedels- och jordbruksorganisation (2020) beräknas produktionen inom akvakultur öka med 32 % fram till 2030.

Akvakulturproduktionen stod för ungefär 46% av den totala produktionen av akvatiska djur 2018 (FAO 2020). Inom akvakultursektorn är utfodrad fisk dominerande och har sin största produktion i Asien (FAO 2020). De mest odlade arterna av fisk är olika arter av tilapia (*Cichlidae*) och karpfiskar (*Cyprinidae*) (FAO 2020). Olika typer av laxfiskar odlas också, framförallt i stor utsträckning i Norge. Idag är Norge världens andra största exportör av fisk och skaldjur efter Kina (FAO 2020). Deras produktion av atlantlax (*Salmo salar*) har potential att femdubblas till år 2050 med förutsättningen att traditionella fodermedel, till exempel fiskmjöl byts ut mot mer hållbara alternativ till exempel mikroalger och bakterier (Olafsen *et al.*, 2012).

Akvakultur har historiskt sett förlitat sig på stora koncentrationer av fiskmjöl och fiskolja i sina foder (Fréon *et al.*, 2017). Tillverkning av dessa produkter görs på vildfångad fisk från världshaven, oftast små pelagiska fiskar som kallas för foderfisk (Hua *et al.*, 2019). Fiskmjöl och fiskolja har länge varit en dominerande ingrediens i foder till karnivorfisk såsom laxfiskar och öring, men på senare år har de vegetabiliska ingredienserna ökat i foderblandningarna och idag finns det i högre utsträckning en större andel av vegetabiliska foder ingredienser än fiskmjöl och fiskolja i fiskfodren (Fréon *et al.*, 2017; Couture *et al.*, 2019; FAO 2020). Även utfodring av herbivora fiskarter använder sig i mindre mängd av fiskmjöl och fiskolja då dessa ingredienser har en näringsammansättning som uppfyller fiskens näringsbehov väl, både för karnivora och herbivora fiskarter (Fréon *et al.*, 2017). Herbivora fiskarter är de mest odlade i världen (FAO 2020) och genom att fiskmjöl och fiskolja används i deras foder leder detta till en stor användning av fiskmjöl och fiskolja (Fréon *et al.*, 2017). Fish in: fish out förhållande (FIFO) visar mängden vildfångad fisk (kg) som behövs för att odla 1 kg fisk. Fish in: fish out visar tydligt trenden av minskad användning av fiskmjöl och fiskolja i foder. Lax och öring

har gått från 2,57 kg vildfisk 2000 till 0,82 kg 2015. Karpfiskar och tilapia har gått från 0,07 – 0,02 respektive 0,27 – 0,15 (IFFO 2017).

Fiskmjöl och fiskolja i foder inom akvakulturen har en betydande påverkan på miljön (Fréon *et al.*, 2017). Idag används ca 18 miljoner ton fisk från marint fiske till produktion av fiskmjöl och fiskolja (FAO 2020). En kontinuerlig ökning av akvakultur som använder sig av dessa ingredienser kommer vara ohållbar då tillgången av fisk för tillverkning av fiskmjöl och fiskolja är ändlig (Lock *et al.*, 2015). Tillgången på fisk i världshaven ser även ut att vara mer benägen att minska än att öka i framtiden. Med denna trend samt en ökad produktion av akvakultur, förväntas priserna på fiskmjöl och fiskolja stiga markant samt tillgångarna i världshaven minska (Hardy 2010).

Om en ökad produktion inom akvakulturen ska vara möjlig och om vi ska kunna behålla dagens matvanor behövs andra mer hållbara fodermedel som kan ersätta de marina proteinfodermedlen. De flesta ersättarna som finns på marknaden idag är vegetabiliska fodermedel såsom sojaprotein, majs glutenmjöl, ärtmjöl och veteglutenmjöl. Dessa fodermedel har varit framgångsrika i att ersätta en stor del av fiskmjölet (Lock *et al.*, 2015) och kommer även i framtiden vara en viktig komponent i foder inom akvakulturen (Hua *et al.*, 2019). Däremot har dessa fodermedel vissa begränsningar på grund av obalanserade aminosyra profiler, höga fiberkoncentrationer och högt innehåll av antinutritionella substanser (Lock *et al.*, 2015). Även foderindustrin som tillverkar dessa foder har en viss begränsad potential att expandera sin produktion utan att tillföra ytterligare belastning på land-, vatten- och fosforresurser (Hua *et al.*, 2019). De vegetabiliska fodermedlen kan också användas till humankonsumtion vilket leder till ökad konkurrens om resurserna (Lock *et al.*, 2015).

Andra generationens fodermedel är under utveckling för att kunna ersätta dessa traditionella animaliska och vegetabiliska fodermedlen. Fokus de senaste åren har till stor del varit på insekter och mikrobiell biomassa till exempel mikroalger, svamp och bakterier (Hua *et al.*, 2019). Bland de utmaningar som framtida vattenbruket står inför är att utveckla dessa fodermedel tills de effektivt kan ersätta de traditionella, både från ett miljöperspektiv och på ett sätt som når fiskens näringsbehov utan att de äventyrar fiskens hälsa, tillväxt och reproduktion. Samtidigt bör dessa fodermedel kunna produceras på storskalig nivå till ett förmånligt marknadspris.

Syftet med denna litteraturstudie är att sammanställa information om andra generationens fodermedel till fisk och undersöka hur de kan ersätta de traditionella. Litteraturstudien kommer även diskutera andra generationens fodermedel ur ett miljöperspektiv och vad detta kan innebära för framtidens matsäkerhet. Frågeställningen lyder som följande: Kan de nya fodermedlen uppfylla fiskens näringsbehov samt minska den globala användningen av soja och vildfisk?



## 2. Retrospektiv av de nuvarande/aktuella foderkällorna och deras roll i näringen

Protein är den viktigaste (He *et al.*, 2019) och dyraste komponenten i ett foder, speciellt om fodret ska ges till karnivora fiskarter (National Research Council 2011; Couture *et al.*, 2019). Aminosyrorna från proteinet hos olika foderingredienser används till många olika processer i fiskens kropp. Antingen för att bygga upp nya proteiner för tillväxt, reproduktion, eller för att ersätta befintliga proteiner för underhåll (Wilson 2003; National Research Council 2011). Metionin och lysin är de första begränsade aminosyror hos alla fiskar då fiskar inte kan syntetisera dessa aminosyror själv (Wilson 2003; National Research Council 2011). Otillräcklig tillgång på protein och aminosyror i fodret resulterar i en minskad eller helt upphörd tillväxt samt viktminskning hos fisk (Wilson 2003). Fiskolja är samtidigt den viktigaste källan av fleromättade fettsyror, särskilt EPA och DHA till odlad fisk. Fettsyrorna är nödvändiga för korrekt tillväxt och utveckling eftersom fisken, precis som andra ryggradsdjur, inte kan syntetisera dem på egen hand. Dessa fettsyror kommer från marina fytoplankton, vilka kan syntetisera fleromättade fettsyror, som sedan fisken äter och på så sätt innehåller fiskolja dessa fettsyror (National Research Council 2011; Ameixa *et al.*, 2019; NOAA 2019). Eftersom fiskmjöl och fiskolja har ett högt innehåll av dessa näringsämnen betraktas det fortfarande som den bästa protein- och fett-källan till fisk (FAO 2020). Växtbaserade ingredienser såsom soja, vete, majs och raps används också i foder till fisk (Couture *et al.*, 2019). Soja, med sitt höga innehåll av protein och fett samt andra essentiella näringsämnen är ett bra substitut för fiskmjöl, och används mest vid ersättning av fiskmjöl (Couture *et al.*, 2019). Det finns även nackdelar med inblandning av växtbaserade ingredienser i fiskfoder. Studier visar att intensiv växtodling, framförallt odling av soja bidrar till ökad markomvandling till odlingsmark (Couture *et al.*, 2019). Växtbaserade ingredienser som soja innehåller antinutritionella substanser som kan leda till tarmsjukdomen enterit hos fiskar (National Research Council 2011; Couture *et al.*, 2019). Det innebär att soja och andra växtbaserade ingredienser måste bearbetas innan de kan användas i fiskfoder (National Research Council 2011). Växtbaserade fodermedel har även ett lågt innehåll av de essentiella aminosyrorna (Wilson 2003; National Research Council 2011; He *et al.*, 2019) som är viktiga för tillväxten hos fisk. Genom att använda vegetabiliska produkter till fisk minskas tillgängligheten av dessa produkter till direkt humankonsumtion, vilket framförallt påverkar människor i utvecklingsländer där största delen av deras kost består av växtbaserade råvaror (Couture *et al.*, 2019).

## 3. Andra generationens fodermedel

### 3.1. Insekter

Insekter är en naturlig del av fiskens föda men fortfarande underskattad i de flesta delarna av världen enligt van Huis *et al.*, (2013). Intresset för insekter i foder till fisk, speciellt i västvärlden, har däremot växt de senaste åren (van Huis *et al.*, 2013; Ameixa *et al.*, 2019). På grund av det nya intresset är kunskapen om insekternas näringskomposition begränsad och ofullständig (Ameixa *et al.*, 2019). Näringskomposition varierar beroende på art, stadie i livet, uppfödningförhållande och vilket substrat insekterna konsumerar och det är därför viktigt att ha kunskap om insekten för att kunna producera ett foder av bra kvalitet (Ameixa *et al.*, 2019). Insekter har ett lågt innehåll av fleromättade fettsyror, (Henry *et al.*, 2015; Ameixa *et al.*, 2019) vilket kan vara en begränsande faktor inom akvakulturproduktionen då brist på dessa i fodret kan påverka fiskens hälsa och tillväxt negativt (Henry *et al.*, 2015). För att få upp nivåerna av fleromättade fettsyror hos insekterna kan substrat rika på dessa fettsyror, till exempel alger, ges till insekterna (van Huis *et al.*, 2013; Ameixa *et al.*, 2019). Insektsarter som testats som potentiella ersättare i fiskfoder är fortfarande få, där några av de vanligaste arterna som används är svart soldatfluga (*Hermetia illucens*), hussyrsa (*Acheta domesticus*) och mjölmask (*Tenebrio molitor*) (van Huis *et al.*, 2013; Ameixa *et al.*, 2019).

#### *Insekter i foder*

I en studie av Lock *et al.*, (2015) ersattes fiskmjöl med två olika insektsmjöl för att se om dessa hade någon påverkan på atlantlax (*Salmo salar*). Insektsmjölen som användes i försöket var gjorda på svart soldatfluga larver uppfödd på matrester. De två olika insektsmjölen (typ A eller B) skiljde sig från varandra i energivärde, fett och proteininnehåll. Studien visade att insektsmjöl typ A kunde ersätta fiskmjöl upp till 50% utan att påverka fiskens tillväxt eller hälsa medan typ B inte kunde ersätta fiskmjöl. Resultatet från försöket visade även att insektsmjöl A och B hade ett högre fettinnehåll än fiskmjöl. Detta medförde potential för en minskad användning av fisk- och rapsolja i fodret. En minskad mängd av omega-3 fettsyror EPA och DHA skedde med en högre inblandning av insektsmjöl, trots det hade insektsmjölen fortfarande en tillräcklig hög nivå av fettsyror för att täcka fiskens näringsbehov. I ett liknade försök av Belghit *et al.*, (2018) undersöktes också om fiskmjöl kunde ersättas av svart soldatfluga larvmjöl. Larverna var uppfödda på ett substrat av en blandning av sjögräs (*Ascophyllum nodosum*) och växtrester. Försöket visade att ersättning av insektsmjölet på 66% inte uppvisade några negativa effekter på laxens tillväxt, slutvikt eller foderintag. Liknade försök har även utförts på Regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) där fluglarverna var odlade på

foderklassat substrat. Högsta inblandningen av insektsmjölet var 26,4% och resultatet efter försöket visade att inblandningen av insektsmjölet i alla nivåer inte hade någon påverkan på fiskarnas tillväxt eller slutvikt (Dumas *et al.*, 2018). St-Hilaire *et al.*, (2007) testade husflugelarver (*Musca domestica*) och svart soldatfluga larver i foder till regnbåge. Soldatflugelarverna odlades på gödsel från gris, husflugelarverna odlades på gödsel från nötkreatur. Resultatet visade att det inte fanns någon påverkan på fiskens tillväxt vid 25% ersättning av soldatflugelarverna. Husfluga kunde inte ersätta fiskmjöl utan att påverka fiskens tillväxt och slutvikt negativt. Försök har också gjorts på tilapia (*Oreochromis niloticus*) som utfodrades med husflugelarver (*Musca domestica*)(Ajani *et al.*, 2004). Larverna var uppfödda på höngödsel och resultatet från studien visade att en ersättningsnivå av fiskmjöl på 100% var möjlig utan att påverka fiskarnas tillväxt. Däremot visade resultatet att fiskarna hade bäst tillväxt och foderutnyttjande vid en ersättningsnivå på 50% (Ajani *et al.*, 2004). Sojamjöl har också prövats att ersättas med insektsmjöl. Lu *et al.*, (2020) undersökte i sin studie om sojamjöl gick att ersätta med svart soldatfluga i foder till gräskarp (*Ctenopharyngodon idellus*). I detta försök påverkade ingen av de fyra dieterna fiskarnas tillväxt, foderomvandlingsförmåga eller slutliga vikt jämfört med fiskarna som utfodrades med kontrollfodret som inte innehöll insektsmjöl.

Tabell 1. Översikt över studierna som användes för att undersöka ersättningsnivå av insektsmjöl

Författare	Art	Fiskens vikt vid försökets början (g)	Ingrediens	Insekternas substrat	Accepterad ersättningsnivå	Ersatte
<b>Lock <i>et al.</i>, (2015)</b>	Atlantlax	~250 g	Svart soldatfluga typ A	Matrester	50%	Fiskmjöl
<b>Lock <i>et al.</i>, (2015)</b>	Atlantlax	~250 g	Svart soldatfluga typ B	Matrester	0%	Fiskmjöl
<b>(Belghit <i>et al.</i>, 2018)</b>	Atlantlax	1398 g	Svart soldatfluga	Sjögräs och växtrester	66%	Fiskmjöl
<b>(Dumas <i>et al.</i>, 2018)</b>	Regnbåge	45,7 ± 1,4 g	Svart soldatfluga	Foderklassat substrat	26,4%	Fiskmjöl
<b>(St-Hilaire <i>et al.</i>, 2007)</b>	Regnbåge	~ 339,4 g	Svart soldatfluga	Grisgödsel	25%	Fiskmjöl
<b>(St-Hilaire <i>et al.</i>, 2007)</b>	Regnbåge	~ 339,4 g	Husfluga	Nötkreatur gödsel	0%	Fiskmjöl

(Lu <i>et al.</i> , 2020)	Gräskarp	10,10 ± 0,28 g	Svart soldatfluga	Inga uppgifter	100%	Sojamjöl
(Ajani <i>et al.</i> , 2004)	Tilapia	~ 5,8 g	Husfluga	Höns gödsel	100%	Fiskmjöl

### 3.1.1. Produktionsmöjligheter

Insekter har en hög foderomvandlingsförmåga och produktivitet (van Huis *et al.*, 2013; Hua *et al.*, 2019). De kan också odlas på olika typer av substrat till exempel biprodukter från slakterier (van Huis *et al.*, 2013), växtrester (Spiegel *et al.*, 2013) och matrester (Lock *et al.*, 2015). Detta gör att produktion av insektsmjöl inte konkurrerar om foder som annars skulle gå till humankonsumtion (Hua *et al.*, 2019). Framställning av insektsmjöl är fortfarande dyrt och majoriteten av dagens produktion är småskalig (van Huis *et al.*, 2013; Ameixa *et al.*, 2019). Två exempel på företag som däremot har lyckats producera insekter storskaligt är AgriProtein och Enviroflight (van Huis *et al.*, 2013). AgriProtein, som har sin produktion i Sydafrika, odlar svart soldatfluga larver på biprodukter från livsmedelsindustrin samt matrester och överblivna livsmedel från matbutiker och restauranger som annars skulle slängas. Larverna bearbetas sedan och blir till insektsmjöl och/eller insektsolja (AgriProtein u.å.). Enviroflight, med sin produktion i USA, använder sig också av svart soldatfluga och deras larver produceras på ett substrat av biprodukter från bryggerier och etanoltillverkning (van Huis *et al.*, 2013).

Europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet har godkänt användning av insektsmjöl i foder inom akvakulturindustrin. Däremot måste insekterna vara odlade på matrester från icke försäljningsbara vegetabiliska livsmedel till exempel frukt och grönsaker som blir skadade vid transport (Ameixa *et al.*, 2019; Hua *et al.*, 2019). För att insekter ska kunna bli en användbar och lönsam proteinråvara i foder inom akvakulturindustrin menar van Huis *et al.*, (2013) att en storskalig, kvalitativ och kontinuerlig produktion måste etableras. Detta kräver att en bättre lagstiftning på vilka substrat som får användas i produktion införs men också regler och riktlinjer för producenterna, gällande produktion, välfärd och biosäkerhet. Slutprodukten måste också ha en bra hållbarhet och vara lätt att förvara och transportera om den ska kunna användas på en storskalig nivå (van Huis *et al.*, 2013). Produktionskostnaderna behöver också minska för att insektsmjöl ska kunna konkurrera på marknaden (van Huis *et al.*, 2013; Ameixa *et al.*, 2019).

## 3.2. Encelligt protein

Encelligt protein produceras av olika mikrobiella arter vilka innefattar alger, bakterier, svampar och jästsvampar. Av dessa är svampar och bakterier de bäst lämpade producenterna av protein till akvakulturindustrin, då de har en hög tillväxt och högt proteininnehåll (Sharif *et al.*, 2021). Encelligt protein innehåller förutom ett högt proteininnehåll (Couture *et al.*, 2019; Sharif *et al.*, 2021) även kolhydrater, nukleinsyror, fetter, mineraler och vitaminer och har även ett högt

innehåll av de essentiella aminosyrorna metionin och lysin (Sharif *et al.*, 2021). Encelligt proteins aminosyraprofiler är generellt jämförbara med fiskmjöl (Hua *et al.*, 2019).

### 3.2.1. Bakterier

Bakterier har en hög proteinhalt (Hua *et al.*, 2019) och en kort generationstid vilket gör bakterier till en bra ersättare till fisk- och sojamjöl (Sharif *et al.*, 2021). Bakterier kan växa och ta tillvara på många olika substrat till exempel växtrester, olika typer av kolkällor (metanol, metan) och restprodukter från olika industrier (Sharif *et al.*, 2021). Bakteriers näringsprofil kan också manipuleras eller förbättras genom att använda sig av olika odlingsmedier, tillväxtförhållanden och behandlingar efter skörd (Hua *et al.*, 2019; Sharif *et al.*, 2021). Alla dessa faktorer gör bakterier har en hög potential att vara ett framtida hållbart alternativ till protein i foder inom akvakulturen (Hua *et al.*, 2019; Sharif *et al.*, 2021).

#### *Bakterier i foder*

Purpurbakterier har använts i en studie av Delamare-Deboutteville *et al.*, (2019). Studien utfördes på fiskarten barramundi (*Lates calcarifer*) och försöket visade att en ersättning av purpurbakterier inte hade någon signifikant effekt på fiskarnas foderintag eller smaklighet på fodret. Däremot fanns det en negativ korrelation mellan en högre ersättningsnivå av purpurbakterier och fiskarnas vikt och längd.

En studie av Aas *et al.*, (2006) använde sig också av bakterier. I detta försök användes däremot av bakterieproteinmjölet BioProtein av företaget Norferm AS och försöket utfördes på atlantlax (*Salmo salar*). BioProtein producerades från bakterierna *Methylococcus capsulatus*, *Alcaligenes acidovorans*, *Bacillus brevis* och *B. firmus* i en aerob jäsningsprocess. Resultaten efter avslutat försök visade att fiskarna som utfodrades med en högre ersättning av bakteriemjöl (28% och 55%) hade en högre tillväxthastighet jämfört mot dieterna med lägre ersättning av bakteriemjöl (kontroll 0% och 7%). Studien visade också att en ökad inblandning av bakteriemjöl i foder till atlantlax ger förbättrade tillväxtegenskaper och minskad energianvändning för underhåll. Författarna till studien menar därmed att tiden för uppfödning minskat och därmed används mindre energi per kg tillväxt.

Hardy *et al.*, (2018) har utvärderat om bakteriemjöl även kan ersätta soja i fiskfoder. I detta försök användes regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*). Bakterien som användes var *Methylobacterium extorquens* viken använder en kolkälla (till exempel etanol eller glykol) för att växa. Studien visade att 10% ersättning med bakterieproteinmjöl inte hade någon påverkan på fiskens tillväxt.

### 3.2.2. Mikroalger

Mer än 40 olika arter av mikroalger används i foder inom akvakulturen (Raja *et al.*, 2008). Vissa arter av mikroalger har en hög proteinhalt (upp till 70%) och är även en källa till omega-3 fettsyror, mineraler och vitaminer (Sharif *et al.*, 2021). Enligt Hua *et al.*, (2019) har

mikroalger som fiskmjölsersättning eller som tillskott i mindre mängder används framgångsrik hos olika arter inom akvakulturen. Mikroalger kan också användas som ett pigment i foder för till exempel karp, lax och räkor (Christaki *et al.*, 2011). Vanliga arter av mikroalger är till exempel *Spirulina*, *Chlorella salina* och *Caulepa rocemosa* (Sharif *et al.*, 2021).

#### *Mikroalger i foder*

Kiron *et al.*, (2012) använde två olika mikroalger (kisel- och grönalger *Nanofrustulum*, *Tetraselmis*) som foderingsrediens i foder till atlantlax (*Salmo salar*), karp (*Cyprinus carpio*) och vanaameiräka (*Litopenaeus vannamei*) i tre separata försök. Laxarnas och karparnas tillväxt påverkades inte av en ersättningsnivå på 10% respektive 40% mikroalgmjöl. I ett annat försök av (Sørensen *et al.*, 2016) användes mikroalgen *Phaeodactylum tricornutum* i foder till atlantlax. Denna gång på en ersättningsnivå på 3% och 6%. Även här visade resultatet att inblandningen av mikroalgen på båda nivåerna inte hade någon negativ påverkan på laxens tillväxt.

### 3.2.3. Svampar och jästsvamp

Svampar kan växa snabbt och har en relativ låg produktionskostnad i slutna och kontrollerade förhållanden (Couture *et al.*, 2019). Jästsvampar har ett proteininnehåll på cirka 45-55% (Hua *et al.*, 2019) medan resterande svamparter har ett proteininnehåll mellan 30 till 50% (Sharif *et al.*, 2021). Precis som bakterier kan svamparnas näringsprofil också manipuleras eller förbättras genom att använda sig av olika behandlingsmetoder under och efter produktion (Hua *et al.*, 2019). Svamparnas aminosyraprofiler matchar dem i fiskmjöl (Hua *et al.*, 2019) med undantag för brist på aminosyror cystein och metionin (Sharif *et al.*, 2021). Trots det kan jästsvampar fortfarande användas för framställning av encelligt protein till fiskfoder om metionin tillsätts som ett supplement i fodret (Hua *et al.*, 2019). Encelligt protein från svampar kan även tillföra andra näringsämnen till exempel olika typer av vitaminer såsom riboflavin, niacin och biotin (Sharif *et al.*, 2021).

#### *Svamp och jästsvamp i foder*

I ett försök utfört på niltilapia (*Oreochromis niloticus*) ersattes fiskmjöl delvis med bryggerijäst (*Saccharomyces cerevisiae*) (Ozório *et al.*, 2012). Resultatet visade att en inblandning av *S. cerevisiae* över 15% hade en negativ effekt på fiskarnas tillväxt. Ozório *et al.*, (2012) såg att desto högre andel inblandning av *S. cerevisiae* desto sämre tillväxt hade fiskarna. Däremot hade inblandning av 10% *S. cerevisiae* ingen påverkan på tillväxten. Ett senare och liknande försök av Nhi *et al.*, (2018) visade andra resultat. Resultatet från detta försök visade att *S. cerevisiae* kunde ersätta fiskmjöl till 100% hos niltilapia utan någon negativ effekt på tillväxt eller slutvikt. *S. cerevisiae* har även prövats i foder hos andra fiskarter. I ett försök av Vidakovic *et al.*, (2020) prövades *S. cerevisiae* i foder till regnbåge (*Oncoerhynchus mykiss*). Även jästsvampen *Wickerhamomyces anomalus* användes i detta försök. Två olika typer av dieter, en med enbart *S. cerevisiae* och den andra med en blandning av *W. anomalus* och *S. cerevisiae* (70:30 ratio). Resultatet visade att 40% ersättning av fiskmjöl med de två olika dieterna inte hade någon

negativ påverkan på tillväxt eller vikt hos regnbåge. Däremot fanns det tendenser till lägre slutvikt hos fiskar utfodrade med 60% iblandning av de båda dieterna.

Tabell 2. Översikt över studierna som användes för att undersöka ersättningsnivå av olika encelliga protein

Författare	Art	Fiskens vikt vid försökets början (g)	Ingrediens	Accepterad ersättningsnivå	Ersatte
<b>Bakterier</b>					
(Delamare-Deboutteville <i>et al.</i> , 2019)	Barramundi	~4,8 ± 1,3g	Purpurbakterier	0%	Fiskmjöl
(Aas <i>et al.</i> , 2006)	Atlantlax	170 g	BioProtein	55%	Fiskmjöl
(Hardy <i>et al.</i> , 2018)	Regnbåge	15–16 g	<i>M. extorquens</i>	10%	Sojamjöl
<b>Mikroalger</b>					
(Kiron <i>et al.</i> , 2012)	Atlantlax	62 g	Kiselalg eller grönalg	10%	Fiskmjöl
(Kiron <i>et al.</i> , 2012)	Karp	10,92 g	Kiselalg eller grönalg	40%	Fiskmjöl
(Sørensen <i>et al.</i> , 2016)	Atlantlax	452 g	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	6%	Fiskmjöl
<b>Svamp &amp; Jästsvamp</b>					
(Ozório <i>et al.</i> , 2012)	Niltilapia	7.6 ± 0.3 g	<i>S. cerevisiae</i>	10%	Fiskmjöl
(Nhi <i>et al.</i> , 2018)	Niltilapia	29 ± 3.2 g	<i>S. cerevisiae</i>	100%	Fiskmjöl
(Vidakovic <i>et al.</i> , 2020)	Regnbåge	~144.7 ± 25.1 g	<i>S. cerevisiae</i>	40%	Fiskmjöl
(Vidakovic <i>et al.</i> , 2020)	Regnbåge	~144.7 ± 25.1 g	<i>S. cerevisiae</i> och <i>W. anomalus</i>	40%	Fiskmjöl

### 3.2.4. Produktionsmöjligheter för encelligt protein

Encelligt protein producerande mikroorganismer har en god förmåga att växa på många olika substrat till exempel avfall från organiskt material och kemikalier såsom etanol, metanol och kväve (Sharif *et al.*, 2021). Att introducera mikroorganismer som en foder ingrediens inom akvakulturerna kan enligt Ameixa *et al.*, (2019) vara en av de bästa strategierna för att förbättra akvakulturens hållbarhet. Däremot är de accepterade inblandningsnivåerna fortfarande låga vilket gör encelligt protein till ett lovande men inte det bästa alternativet för ersättning av

traditionella fodermedel just nu (Ameixa *et al.*, 2019). Det finns även vissa begränsningar inom produktionen och idag sker produktionen på en småskalig nivå (Hua *et al.*, 2019). Enligt Gamboa-Delgado & Márquez-Reyes (2018) är flaskhalsen i produktionen av encelligt protein att konsekvent kunna producera en näringsmässig slutprodukt av bra kvalitet. Författarna menar att en förbättrad produktionsteknik och utveckling av metoder för att förbättra näringsvärdet i slutprodukten kommer vara de två faktorerna som avgöra hur snabbt encelligt protein kommer finnas tillgängligt för kommersiellt bruk inom akvakulturen i framtiden. Produktionskostnaderna för encelligt protein behöver också minska innan bakterier, svampar och mikroalger kan vara aktuella att producera på en stor skala menar Ameixa *et al.*, (2019), då dagens produktionskostnader är höga.



## 4. Diskussion

### *Näringsbehov*

Studier visar att andra generationens fodermedel kan till viss del uppfylla olika fiskarters näringsbehov. I tabell 1 och 2 presenteras data från olika studier som visar på att olika fiskarters näringsbehov kan uppfyllas genom ersättning av antingen insekter eller encelligt protein producerande mikroorganismer till en viss grad. Litteraturstudien visar även att olika resultat på tillväxt kan observeras inom samma fiskart som har utfodrats med samma fodermedel. En djupare jämförelse mellan försöken behövs för att fastställa vad de varierande resultaten kan bero på. Däremot kan tänkbara orsaker till variationer i resultaten vara fiskens vikt vid start av de olika studierna, skillnader i tillväxtsubstrat för insekterna och mikroorganismerna samt skillnader i produktionen och behandling av fodret som användes i de olika studierna. Denna litteraturstudie fokuserade på om de nya fodermedlen kunde ersätta de traditionella utan att påverka tillväxten hos fisken. Ett förslag till en framtida litteraturstudie är att även analysera andra hälsomått, vid ersättning av nya fodermedel, som kan tänkas vara viktiga för en hållbar och lönsam akvakulturproduktion. Sådana mått skulle till exempel vara olika välfärdsindikatorer såsom sjukdomsresistens, stress och beteendemönster.

### *Produktions- och ersättningsmöjligheter*

Produktionen av insekter som fodermedel har ökat de senaste åren. Några företag har även lyckats med storskalig produktion. Eftersom EU:s lagstiftning idag är väldigt hård gällande vad som får användas som foder till insekterna kan produktionsmöjligheterna inom EU ses som minimala. Produktionen av insekter som foder skulle däremot kunna ske på storskalig nivå i länder utanför EU som inte har samma stränga lagkrav. Däremot precis som van Huis *et al.*, (2013) och Ameixa *et al.*, (2019) beskriver finns fortfarande utmaningar inom produktionen, vilka behöver lösas innan insekter kan vara tillgängliga för kommersiellt bruk. Den nuvarande situationen med höga produktionskostnader, svårigheter att etablera en storskalig produktion och otillräcklig kunskap om insekternas näringskomposition är begränsande faktorer för en kommersiell användning av insekter. Det är därför inte möjligt att ersätta de traditionella fodermedlen med fodermedel från insekter i dagsläget. Samma utmaningar finns hos encelliga protein. Enligt Ameixa *et al.*, (2019) är de accepterade inblandningsnivåerna fortfarande låga för encelligt protein, vilket vi också kan se i många av de presenterade försöken i litteraturstudien. Denna faktor men också som Gamboa-Delgado & Márquez-Reyes (2018) nämner att det är svårt att konsekvent kunna producera en näringsmässig slutprodukt av bra kvalitet, plus dagens höga produktionskostnader gör att encelligt protein inte kan ersätta de traditionella fodermedlen i dagsläget.

### *Miljöpåverkan*

Både insekter, svampar, bakterier och mikroalger kan växa upp på restprodukter från olika industrier. Att utnyttja restprodukter som annars skulle förstöras är en bra strategi för att öka hållbarheten och minska miljöpåverkan vilket även Ameixa *et al.*, (2019) och Hua *et al.*, (2019) argumenterar för. Om det i framtiden är möjligt att ersätta fisk- och sojamjöl med insekter och encelligt protein skulle detta troligtvis minska eller helt utesluta behovet av fisk- och sojamjöl till odlad fisk. Denna omställning skulle möjligen också leda till en minskad konkurrens om resurserna och matsäkerheten i världen skulle öka. Utfiskningen av småfisk i världshaven skulle också minska då behovet av foderfisk inte skulle vara lika stort. Foderfisken skulle istället kunna gå till direkt humankonsumtion vilket också skulle öka matsäkerheten i världen. Majoriteten av studierna som har presenterats har ersatt fiskmjöl. Detta kan bero på att bestånden av foderfisk är ändliga samt marknaden för foderfisk har blivit mer instabil de senaste åren. Samtidigt är fiskmjöl på grund av sin kvalitet den bästa proteinkällan i fiskfoder, vilket gör att positiva resultat av dess ersättning med olika nya ingredienser bekräftar de nya ingrediensernas höga kvalitet och i och med det även kan appliceras på andra traditionella ingredienser, till exempel soja. Detta kan då ha varit en motivering hos forskare och industrin att titta på lämpliga ersättningsprodukter till fiskmjöl före sojamjöl eftersom sojamjölproduktionen inte är lika utsatt för instabil produktion och ökande marknadspriser. En förutsättning att fisk- och sojamjöl ska kunna ersättas med andra generationens fodermedel, på en storskalig nivå, är att det även behövs djupare kunskap om dessa nya fodermedel påverkar miljön utifrån livscykelanalyser. Livscykelanalyser tar hänsyn till hela produktion från start till slutprodukt och är därför intressant ur ett hållbarhets- och miljöperspektiv. Om andra generationens fodermedel ska betraktas som hållbara måste alla faktorer räknas in, vilket görs i livscykelanalyser. Ett förslag på en sådan analys, som redan finns tillgänglig, är en studie av Couture *et al.*, (2019) där de undersökte om proteinrika bakterier och jästsvampar hade möjligheten att minska miljöpåverkan i storskalig produktion av atlantlax.

### *Slutsats*

De olika fiskarternas näringsbehov kan till viss del uppfyllas när de traditionella fodermedlen (fisk- och sojamjöl) byttes ut mot olika insektsmjöl eller sorter av encelliga proteiner. Studier som har utförts på respektive fiskart (atlantlax, regnbåge, tilapia, karp och barramundi) och ersättningsingrediens är fortfarande få och mer studier behövs för att mäta andra generationens fodermedels fulla potential inom akvakulturindustrin. Produktionsmöjligheterna för insekter och encelligt protein är fortfarande begränsade. Insekter har däremot en större potential än encelligt protein för en storskalig produktion, till ett marknadsmässigt pris, då de redan finns företag som bedriver storskalig insektproduktion. Däremot är fortfarande produktionskostnaden för höga för att insekter och encelligt protein ska kunna inkluderas i konventionellt foder till odlad fisk på storskalig nivå. Potentialen av en miljövänlig produktion av insekter och encelligt protein kan vara möjligt då de kan ta vara på restprodukter från olika industrier.

## Referenser

- Aas, T.S., Grisdale-Helland, B., Terjesen, B.F. & Helland, S.J. (2006). Improved growth and nutrient utilisation in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing a bacterial protein meal. *Aquaculture*, 259 (1), 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.032>
- AgriProtein *Our Technology*. AgriProtein. <https://www.agriprotein.com/our-technology/> [2021-05-05]
- Ajani, E., Nwanna, L.C. & Musa, B. (2004). Replacement of fishmeal with maggot meal in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *World Aquaculture*, 35, 52–54
- Ameixa, O.M.C.C., Duarte, P.M. & Rodrigues, D.P. (2019). Insects, Food Security and Sustainable Aquaculture. I: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., & Wall, T. (red.) *Zero Hunger*. Cham: Springer International Publishing, 1–11. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69626-3\\_111-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69626-3_111-1)
- Belghit, I., Liland, N., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., Waagbø, R., Krogdahl, A. & Lock, E.-J. (2018). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 503. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.032>
- Christaki, E., Florou-Paneri, P. & Bonos, E. (2011). Microalgae: a novel ingredient in nutrition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62 (8), 794–799. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.582460>
- Couture, J.L., Geyer, R., Hansen, J.Ø., Kuczynski, B., Øverland, M., Palazzo, J., Sahlmann, C. & Lenihan, H. (2019). Environmental Benefits of Novel Nonhuman Food Inputs to Salmon Feeds. *Environmental Science & Technology*, 53 (4), 1967–1975. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03832>
- Delamare-Deboutteville, J., Batstone, D.J., Kawasaki, M., Stegman, S., Salini, M., Tabrett, S., Smullen, R., Barnes, A.C. & Hülsen, T. (2019). Mixed culture purple phototrophic bacteria is an effective fishmeal replacement in aquaculture. *Water Research X*, 4, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100031>
- Dumas, A., Raggi, T., Barkhouse, J., Lewis, E. & Weltzien, E. (2018). The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 492, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038>
- FAO (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Fréon, P., Durand, H., Avadí, A., Huaranca, S. & Orozco Moreyra, R. (2017). Life cycle assessment of three Peruvian fishmeal plants: Toward a cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 145, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.036>
- Gamboa-Delgado, J. & Márquez-Reyes, J.M. (2018). Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Reviews in Aquaculture*, 10 (1), 224–246. <https://doi.org/10.1111/raq.12157>
- 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>
- Hardy, R.W., Patro, B., Pujol-Baxley, C., Marx, C.J. & Feinberg, L. (2018). Partial replacement of soybean meal with *Methylobacterium extorquens* single-cell protein in feeds for

- rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Aquaculture Research*, 49 (6), 2218–2224. <https://doi.org/10.1111/are.13678>
- He, Y., Chi, S., Tan, B., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Zhang, S., Han, F. & Liu, D. (2019). dl-Methionine supplementation in a low-fishmeal diet affects the TOR/S6K pathway by stimulating ASCT2 amino acid transporter and insulin-like growth factor-I in the dorsal muscle of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *British Journal of Nutrition*, 122 (7), 734–744. <https://doi.org/10.1017/S0007114519001648>
- 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>
- Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K. & Strugnell, J.M. (2019). The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets. *One Earth*, 1 (3), 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>
- 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.
- IFFO (2017). *Fish in: Fish Out (FIFO)*. *Fish in: Fish Out (FIFO) ratios for the conversion of wild feed to farmed fish, including salmon*. <https://www.iffco.com/fish-fish-out-fifo-ratios-conversion-wild-feed> [2021-04-22]
- Kiron, V., Phromkunthong, W., Huntley, M., Archibald, I. & Scheemaker, G.D. (2012). Marine microalgae from biorefinery as a potential feed protein source for Atlantic salmon, common carp and whiteleg shrimp. *Aquaculture Nutrition*, 18 (5), 521–531. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00923.x>
- Lock, E.-J., Arsiwalla, T. & Waagbø, R. (2015). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition*, 22. <https://doi.org/10.1111/anu.12343>
- Lu, R., Chen, Y., Yu, W., Lin, M., Yang, G., Qin, C., Meng, X., Zhang, Y., Ji, H. & Nie, G. (2020). Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can replace soybean meal in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) diets. *Aquaculture Reports*, 18, 100520. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100520>
- National Research Council (2011). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. Washington, D.C: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13039>
- Nhi, N.H.Y., Da, C.T., Lundh, T., Lan, T.T. & Kiessling, A. (2018). Comparative evaluation of Brewer's yeast as a replacement for fishmeal in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*), reared in clear water or biofloc environments. *Aquaculture*, 495, 654–660. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.035>
- NOAA (2019-12-30). *Feeds for Aquaculture | NOAA Fisheries*. NOAA. <https://www.fisheries.noaa.gov/insight/feeds-aquaculture> [2021-06-26]
- Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y. & Skjermo, J. (2012). *Verdiskaping basert på produktive hav i 2050*. Norge. <https://www.sintef.com/siste-nytt/2012/verdiskaping-basert-pa-produktive-hav-i-2050/> [2021-06-20]
- Ozório, R.O.A., Portz, L., Borghesi, R. & Cyrino, J.E.P. (2012). Effects of Dietary Yeast (*Saccharomyces cerevisia*) Supplementation in Practical Diets of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals: an open access journal from MDPI*, 2 (1), 16–24. <https://doi.org/10.3390/ani2010016>
- Raja, R., Hemaiswarya, S., Kumar, N.A., Sridhar, S. & Rengasamy, R. (2008). A Perspective on the Biotechnological Potential of Microalgae. *Critical Reviews in Microbiology*, 34 (2), 77–88. <https://doi.org/10.1080/10408410802086783>
- Sharif, M., Zafar, M.H., Aqib, A.I., Saeed, M., Farag, M.R. & Alagawany, M. (2021). Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition. *Aquaculture*, 531, 735885. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735885>
- Spiegel, M. van der, Noordam, M.Y. & Fels-Klerx, H.J. van der (2013). Safety of Novel Protein Sources (Insects, Microalgae, Seaweed, Duckweed, and Rapeseed) and Legislative Aspects for Their Application in Food and Feed Production. *Comprehensive Reviews in*

- Food Science and Food Safety*, 12 (6), 662–678. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12032>
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J.K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Hardy, R.W. & Sealey, W. (2007). Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38 (1), 59–67. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x>
- Sørensen, M., Berge, G.M., Reitan, K.I. & Ruyter, B. (2016). Microalga *Phaeodactylum tricornutum* in feed for Atlantic salmon (*Salmo salar*) —Effect on nutrient digestibility, growth and utilization of feed. *Aquaculture*, 460, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.04.010>
- Vidakovic, A., Huyben, D., Sundh, H., Nyman, A., Vielma, J., Passoth, V., Kiessling, A. & Lundh, T. (2020). Growth performance, nutrient digestibility and intestinal morphology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed graded levels of the yeasts *Saccharomyces cerevisiae* and *Wickerhamomyces anomalus*. *Aquaculture Nutrition*, 26 (2), 275–286. <https://doi.org/10.1111/anu.12988>
- Wilson, R.P. (2003). 3 - Amino Acids and Proteins. I: Halver, J.E. & Hardy, R.W. (red.) *Fish Nutrition (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, 143–179. <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50004-5>

# Tack

Stort tack till min handledare Alexandar Vidakovic för kontinuerlig och kvalitativ handledning under hela projektets gång. Tack för ditt förtroende i mig som student att producera en bra uppsats, alla borde ha en handledare som du.