



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019, 30 stp
Fakultet for biovitenskap

Fôropptak, fordøyelighet, tilvekst og generell helse hos smågris fôret med økende nivåer insektmel fra larver av svart soldatflue.

Feed intake, nutrient digestibility, growth performance and general health of piglets fed increasing levels of black soldier fly larvae meal.

Guro Holseth Grepperud
Husdyrvitenskap

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved institutt for Husdyr- og Akvakulturvitenskap (IHA), ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige universitet (NMBU) høsten 2019. Den er del av et større eksperiment knyttet til FeedMileage og Foods of Norway prosjektene. Oppgaven er en avsluttende del av mastergradstudie i Husdyrvitenskap.

Min deltagelse i dette prosjektet kom brått på og jeg rakk akkurat å få med meg starten på forsøket. Det har vært en krevende prosess, men utrolig interessant og lærerik, og jeg er veldig glad for å ha fått tatt del i prosjektet.

I forbindelse med oppgaven vil gjerne jeg gjerne takke veilederen min Dr. Liv Torunn Mydland, samt min biveileder Ingrid Marie Håkenåsen. Videre vil jeg takke alle som har bidratt med korrekturlesning og alle medstudenter for en morsom studietid her på Ås. Jeg vil spesielt takke Jostein M. Hårstad for fantastisk hjelp og moralsk støtte gjennom denne skriveprosessen.

Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, NMBU

Ås, 13.12.2019

Guro Holseth Grepperud

Sammendrag

I Norge er vi i dag avhengig av å importere proteinrike fôringredienser, grunnet våre krevende klimatiske forhold og begrensede dyrkbare arealer. Det jobbes med å finne alternative proteinkilder, som kan produseres uten å konkurrere om landarealer som kan benyttes til menneskelig matproduksjon, og insekter er et alternativ som utforskes. Hensikten med denne oppgaven var å undersøke effekten av økende mengde insektmel av “Svart soldat flue larve” (BSFL), *Hermetia illucens* L, i dietten til avvente smågris på tilvekst, fôreffektivitet, fordøyelighet og generell tarmhelse, de første 4 ukene etter avvenning. Totalt 80 smågris ble avvent ved 33 dagers alder ($10,6 \pm 0,81$ kg), og fordelt på fire ulike forsøksdietter; en kontroll-diett med 0 % insektmel og 3 dietter med økende doser insektmel på 4,76 % (Insekt 5), 9,52 % (Insekt 10) og 19,06 % (Insekt 20). Insektmelet erstattet henholdsvis 10, 20 og 39% av proteinet i kontrolldietten (erstattet soyamel, soyaproteinkonsentrat og fiskemel), og 19, 39 og 39% and fett (rapsolje) i dietten. Fôropptak og kroppsvekt ble registrert ukentlig. Det ble samlet gjødsel til bestemmelse av apparent totalfordøyelighet (ATTD) av næringsstoffer over en periode på 5 dager på slutten av forsøket. Tarminnhold fra ileum ble samlet avslutningsvis for å bestemme apparent ileal fordøyelighet (AID) av næringsstoffer. Økende innhold av BSFL i forsøksdiettene hadde ingen signifikant effekt på verken fôropptak, tilvekst, fôreffektivitet, tørrstoff i gjødsel eller gjødselscore, men fordøyeligheten av en del næringsstoffer ble påvirket. AID av næringsstoffene ble ikke signifikant påvirket av diett, men det ble funnet en signifikant effekt av diett for ATTD av råprotein, stivelse, fett, aske og total-P. ATTD av råprotein ble redusert med økende inklusjon av insektmel i fôret, mens ATTD av fett økte. Resultatene i forsøket viser at BSFL kan være en egnet protein- og fettkilde i fôr til avvente smågris.

Abstract

In Norway, we are dependent on import of protein-rich feed ingredients, due to our demanding climatic conditions and limited agricultural areas. Efforts are underway to find alternative protein sources, which can be produced without competing for land areas that can be used for human food production, and insects are an alternative that is being explored. The aim of this thesis was to evaluate the effect of increasing dietary levels of insect meal of *Hermetia illucens* L, "Black soldier fly larva" (BSFL), on daily gain, performance, digestibility and general intestinal health, the first 4 weeks after weaning. A total of 80 piglets, weaned at 33 days of age (10.6 ± 0.81 kg), were distributed to four dietary treatments; a control feed (0 % insect meal) and three diets containing increasing amounts of BSFL meal corresponding to 4.76% (Insect 5), 9.52% (Insect 10) and 19.06% (Insect 20) of total crude protein in the diet. The insect meal replaced 10, 20 and 39% of the protein in the control diet (replacing soybean meal, soy protein concentrate, and fish meal) and 19, 39 and 39% of the fat (rapeseed oil) in the diet. Feed intake and body weight gain were registered weekly. Feces were collected in a period of five days at the end of the experiment for determination of apparent total tract digestibility (ATTD) of nutrients. Ileal content were collected at the termination day for determination of apparent ileal digestibility (AID) of nutrients. Adding BSFL meal to diets did not significantly affect feed intake, average daily gain, growth performance, fecal dry matter or fecal scores of the piglets, but the digestibility of some nutrients was affected. The AID of the nutrients was not significantly affected by diet. However, a significant effect of diet was found for the ATTD of crude protein, starch, fat, ash and total P. The ATTD of crude protein was reduced with increasing amounts of BSFL meal in the feed, while the ATTD of fat increased. In conclusion, the results of this study indicate that BSFL may be a suitable protein and fat source in feed for weanling pigs.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.....	1
2. Litteratur	2
2.1 Insekter.....	2
2.1.1 Generelt næringsinnhold i insekter	2
2.1.2 Svart soldat flue “Black soldier fly”	4
2.2 Fordøyelse hos enmagede	5
2.2.1 Metoder for måling av fordøyelighet	7
2.2.2 Protein fordøyelighet.....	8
2.2.3 Fordøyelighet av andre næringsstoffer.....	9
2.3 Utfordringer fra fødsel til avvenning	10
2.3.1 Avvenning	11
2.3.2 Utvikling og endring av fordøyelsen ved avvenning	12
2.4 Formål	13
3. Material og Metode.....	14
3.1 Forsøksdietter.....	14
3.2 Dyr	16
3.3 Husdyrmiljø	16
3.4 Fôr og fôringsrutiner	17
3.5 Gjødelscore.....	17
3.6 Gjødelsprøver til TS og total fordøyelighet	18
3.7 Avsluttende prøvetaking til ileal fordøyelighet og leverindeks	19
3.8 Kjemiske analyser	20
3.9 Beregninger.....	21
3.9.1 Fôreffektivitet.....	21
3.9.2 Fordøyelighet	21
3.9.3 Leverindeks.....	21
3.10 Statistiske analyser.....	22
3.10.1 Statistiske modeller:	22

4. Resultater	23
4.1 Fôr	23
4.2 Fôreffektivitet	26
4.3 Fordøyelighet	27
4.3.1 Apparent ilealfordøyelighet (AID) av næringsstoffer	27
4.3.2 Apparent totalfordøyelighet (ATTD) av næringsstoffer	27
4.4 TS i gjødsel og gjødselscore	28
4.4.1 TS% i gjødselprøver.....	28
4.4.2 Gjødselscore.....	29
4.5 Leverindeks	30
5. Diskusjon	31
5.1 Fôr og fôreffektivitet.....	31
5.2 Fordøyelighet	33
5.3 Helse	36
6. Konklusjon.....	38
7. Videre forskning.....	38
8. Litteraturliste	39

Forkortelser

AA= Aminosyrer

AID = Apparent ileal fordøyelighet

ATTD = Apparent totalfordøyelighet

BSF = Svart soldat flue

BSFL = Svart soldat flue larve

FS = Fettsyrer

MUFA = Mono-umettede fettsyrer

PUFA = Poly-umettede fettsyrer

RP = Råprotein

SID = Standardisert ileal fordøyelighet

TID = Sann ileal fordøyelighet

TS = Tørrstoff

VFA = flyktige fettsyrer

1. Innledning

Verdensbefolkningen forventes å vokse med 2,7% per år, og er beregnet å overstige 9 milliarder mennesker innen 2050 (FAO, 2017). Det antas at verden må produsere 70% mer mat de kommende årene, for å dekke det fremtidige behovet i takt med den økende befolkningsveksten (FAO, 2009-ed). Imidlertid er verdens dyrkbare områder en flaskehals for en økning i matproduksjonen, og ulike klimatiske forhold gjør at noen land har bedre forutsetninger for matproduksjon enn andre. Alternative og nye “ressurser” til bruk i fôrproduksjonen, som ikke konkurrerer om landarealer for menneskelig matproduksjon vil være en del av løsningen for å dekke matbehovet frem i tid (Elferink et al., 2008). Handel mellom land, samt å kunne utnytte lokale ressurser bedre, er også avgjørende for å forsyne verdens befolkning med mat frem i tid (FAO, 2017).

Befolkningsveksten i verden er forventet å føre til en eksponentiell vekst opp mot det dobbelte av dagens husdyrproduksjon (Schiavone et al., 2017b), og i likhet med mennesker krever husdyrene våre også store mengder fôr. Den norske griseproduksjonen er i dag avhengig av import av soya som proteinkilde i fôr. Soya har et høyt proteininnhold som passer ernæringsmessig god sammen med norsk korn. Soyaandelen i norsk kraftfôr utgjør omlag 10% i dag (Felleskjøpet, 2019). Makkar et al. (2014) skriver blant annet at insektbaserte fôrråvarer kommer til å være en del av løsningen, og er en potensiell erstatning for en andel av soyabaserte råvarer som brukes i dag. Et fortrinn er at flere insektarter sammenlignet med soya effektivt kan oppdrettes og leve på organiske biprodukter og rester fra matindustrien (Elferink et al., 2008; Huis & Tomberlin, 2017).

Det er derfor for tiden et høyt fokus på forskning for å få fram alternative fôringredienser som bl.a. gjær, sopp, bakterier, mikroalger, og insekter. Disse kan produseres fra såkalt “ikke-mat” biomasser, og vi kan dermed introdusere nye kilder i matkjeden som f.eks trevirke, tare og en rekke ulike restråstoff fra jordbruk, fiskeri, akvakultur m.m (Nasseri et al., 2011; Paoletti, 2005; Suman et al., 2015). Ved å bruke restråstoff fra én produksjonsprosess som en verdifull ressurs i ny produksjon, skapes mer lønnsomme verdikjeder og en mer bærekraftig utvikling.

2. Litteratur

2.1 Insekter

I flere kulturer benyttes insekter som næringskilde til mennesker og dyr, men dette er lite utbredt i den vestlige verden. For frittlevende gris og fjørfe er insekter en naturlig del av dietten. For eksempel plukker fjørfe insekter fra jord, og villsvin graver etter insekter i jorda (Huis et al., 2013). I dagens høyeffektive produksjonssystemer er det viktig å inkludere høykvalitetsingredienser som møter næringsbehovet til dyr i rask vekst og dermed ikke påvirker produksjonsresultater negativt. I følge Huis et al. (2013) kan oppdrett av insekter være en bærekraftig måte å forbedre mat- og førsikkerheten. Foreløpig er det ikke tillat å bruke insektmel i dietter til gris eller slaktekylling ifølge regelverk satt av den europeiske union (EU) (European Commission, 2017), fordi insekter regnes som animalsk protein og er kategorisert som produksjonsdyr. Produkter som kommer under denne kategorien er per dags dato ikke tillat å ha i dietter til gris eller slaktekylling. Det er lov til fisk, men med veldig strenge krav til hva insektene dyrkes på (Mattilsynet, 2017).

For fremtidig bruk av insekter som bærekraftige dyrefôringredienser, er det viktig å dyrke dem fra kilder som ikke kan inkluderes direkte i menneskemat, svin- eller fjørfefôr (Veldkamp & Bosch, 2015). Flere studier antyder at det er teknisk mulig å produsere insekter i stor skala, og oppdrette dem fra bioavfall og organisk materiale, som gjør at insekter har et stort potensiale for å bli en bærekraftig proteinkilde (Paoletti, 2005; Veldkamp et al., 2012; Veldkamp & Bosch, 2015), i fôr til fjørfe (Bovera et al., 2015) og svin (Makkar et al., 2014).

Insekter har en høyere føreffektivitet og raskere reproduksjonskapasitet enn andre produksjonsdyr, sannsynligvis fordi de er kaldblodige (Paoletti, 2005; Veldkamp et al., 2012), og har et vesentlig lavere utslipp av klimagasser (Oonincx et al., 2010). De kan omdanne bioavfall av lav kvalitet til høyverdig mat og fôrressurs (Veldkamp & Bosch, 2015), og én kg insektbiomasse kan produseres fra gjennomsnittlig 2 kg fôr biomasse (Paoletti, 2005).

2.1.1 Generelt næringsinnhold i insekter

Gasco et al. (2018) skriver at insekter er en lovende fôringrediens i dyrefôr, da de ikke bare inneholder verdifulle næringsstoffer, men også spesielle forbindelser som ser ut til å være i stand til å modulere tarmmikrobiota og optimalisere dyrehelsen. Generelt ser det ut til at de fleste spiselige insekter er gode kilder til aminosyrer (AA), fettsyrer (FS), de fleste mineraler og de fleste B-vitaminer (Finke, 2002). Innholdet av råprotein (RP) varierer betydelig med insektarter, men også innenfor insektarter og livsfaser (Veldkamp & Bosch, 2015).

Insektslarver inneholder mellom 30-70 % protein på tørrstoff (TS) basis (Veldkamp et al., 2012) og ofte en stor andel fett, vist i tabell 1 (Schiavone et al., 2017a; Schiavone et al., 2017b; Veldkamp et al., 2012). Å avfette insekter vil resultere i en fôringrediens med høyere proteininnhold enn soyamel (Veldkamp & Bosch, 2015). I tillegg inneholder eksoskjelettet til insekter kitin, men mengden varierer med art og utviklingsstadiet (Sánchez-Muros et al., 2014). Kitin er et naturlig polysakkarid med en kjemisk struktur som ligner cellulose (Finke, 2013; Veldkamp et al., 2012). I likhet med cellulosefiber kan kitin fungere prebiotisk, som vil si at det i liten grad fordøyes av grisen selv, men kan utgjøre en næringskilde for de bakteriene vi ønsker å ha i tarmen (Huq et al., 2013). I følge Tonk og Vilcinskas (2017) er det største mangfoldet av antimikrobielle peptider i dag funnet hos insekter. Antimikrobielle peptider i insekter har effekt på forskjellige bakterier, og risikoen for bakteriell resistens er lav (Chernysh et al., 2015). Så langt har det vært lite arbeid med virkningen av insektforbindelsene i fôringsforsøk på dyr, men innledende undersøkelser viser lovende resultater rapporterer Gasco et al. (2018).

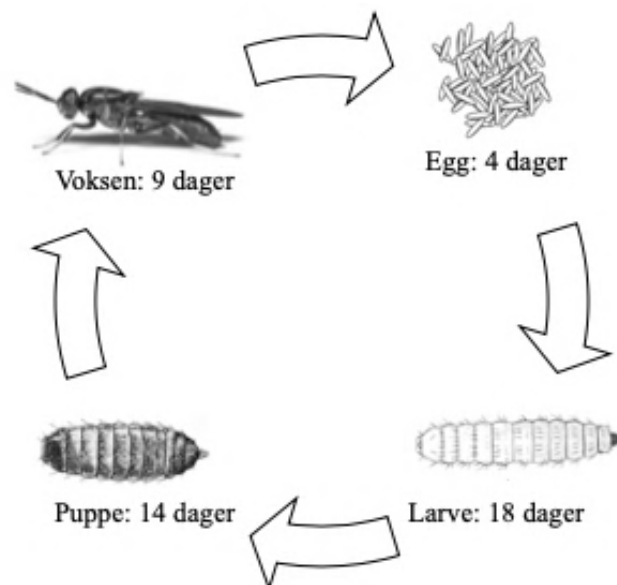
Tabell 1 viser råprotein- og fettinnholdet i de tre insektartene, “Svart soldat flue” (*Hermetia illucens*), “Vanlig husflue” (*Musca domestica*), og “Melorm” (*Tenebrio molitor*), som ser mest lovende ut for industriell produksjon til fôr i følge Ramos-Elorduy et al. (2002). I tillegg viser den soyamel, som i dag er den viktigste proteinkilden som brukes i svine- og fjørfefôr (CVB, 2007), og fiskemel. Soyamel og insekter har relativt likt innhold av protein noe som gjør det mulig å bytte ut noe soyamel med insektmel, med tanke på protein. Soyamel er biproduktet fra oljestraksjon, og soyamelet inneholder følgelig bare 3% råfett på TS-basis (CVB, 2007). Insektene inneholder derimot en del mer fett, som vil begrense hvor stor mengde insektmel som kan inkluderes i dietter til både kylling og gris. Et alternativ for å øke mengden insekt i fôr er ved avfettet insektmel, som er antatt å ha verdier lik soyamel (Veldkamp & Bosch, 2015). Det er i dag flere selskaper som har en kommersiell produksjon av avfettet insektmel, eksempelvis Protix (<https://protix.eu>) og Entofood (<https://entofood.com>).

Tabell 1. Råprotein- og råfettinnhold (tørrstoffbasis) av tre vanlige insekts larver sammenlignet med fiskemel og avfettet soyamel (Modifisert etter Veldkamp et al., 2012).

Proteinkilde	Råprotein (%)	Råfett (%)
<i>Hermetia illucens</i> (Svart soldat flue)	35-57	35
<i>Musca domestica</i> (Vanlig husflue)	43-68	4-32
<i>Tenebrio molitor</i> (Melorm)	44-69	23-47
Fiskemel	61-77	11-17
Soyamel (avfettet)	49-56	3

2.1.2 Svart soldat flue “Black soldier fly”

En av de mest lovende insektartene egnet for industriell produksjon, er “Svart soldat flue” (BSF), *Hermetia illucens*. (Nguyen et al., 2015; Ramos-Elorduy et al., 2002; Spranghers et al., 2017). BSF kan ha en kort livssyklus på rundt 45 dager ved optimale forhold. Livssyklusen kan deles inn i fire faser; egg, larve, puppe og voksenstadium (Li et al., 2011), illustrert i figur 1. I tillegg regner mange stadiget mellom larve og puppe som en egen fase, kalt prepupae. Larvestadiet er det lengste og eneste fôringsstadiet (Banks, 2014; Makkar et al., 2014; Sheppard et al., 2002). En voksen BSF overlever på fettreservene fra larvestadiet, og det eneste næringsstoffet de får i seg er vann (Banks, 2014; Paulk & Gilbert, 2006), noe som begrenser risikoen for smitteoverføring (Banks, 2014; Makkar et al., 2014; Sheppard et al., 2002). BSF er normalt oppdrettet på materialer som er uegnet for menneskeernæring. De kan livnære seg av organisk materiale som biprodukter fra mat industrien, for eksempel; vegetabilsk avfall (kaffebønnemasse, frukt- og grønnsaksrester), fiskeavfall og i tillegg husdyrgjødsel. Larvene kan innta store mengder fôr, fra 25 til 500 mg ferskt materiale per larve per dag (Banks, 2014; Nguyen et al., 2015; Ramos-Elorduy et al., 2002; Spranghers et al., 2017).



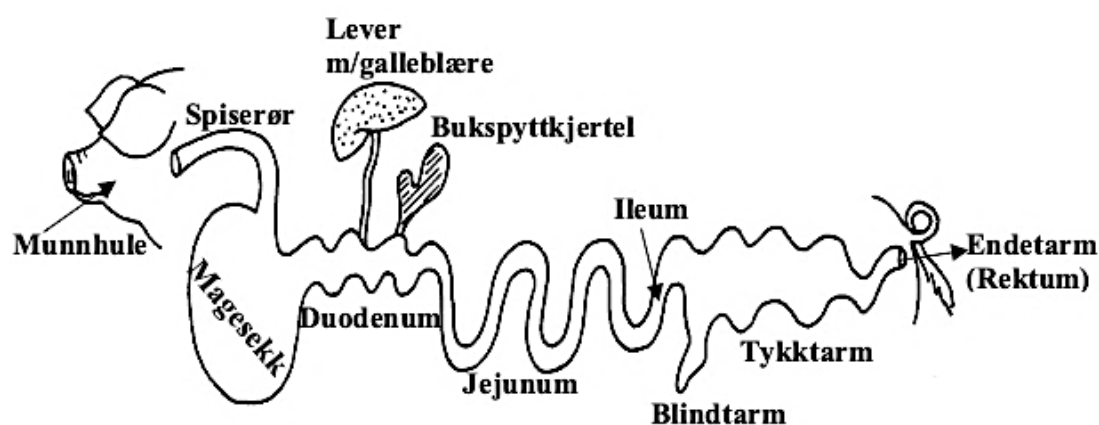
Figur 1. Livssyklusen til Svart soldat flue. Figuren er modifisert etter (Ferrarezi et al., 2016) og bilder er hentet fra (Brits, 2018; Patrick, 2015).

Ut i fra tabell 1 over vises det at “svarte soldatfluelarver” (BSFL) har et gjennomsnittlig lavere proteininnhold sammenlignet med vanlig husflue og gul melorm. Hvor vanlig husfluelarve hadde høyeste gjennomsnittlige innhold av råprotein på 62,5% (tørrestoffbasis) og BSFL hadde det laveste på 42,3% (tørrestoffbasis). Aminosyresammensetningen hos BSFL er ganske lik den i soyamel med tanke på metionin + cystein, som vanligvis er de mest begrensende essensielle aminosyrene i svin- og slaktekylling produksjon (Veldkamp & Bosch, 2015). De inneholder

også endel lysin (6-8% av TS) i følge Newton et al. (2008). BSFL er rike på fett, men mengden fett er varierende og avhenger dietten til insektene. Makkar et al. (2014) refererer til flere studier i sin artikkel hvor fettinnholdet varierer mellom 15 og 49% (på tørrstoffbasis) ved bruk av grise- og kugjødse og oljerikt matavfall. I en annen studie av Veldkamp og Bosch (2015) har de funnet at BSFL har en median for råfettinnhold på 27,1% og for rå aske 11-28% på tørrstoffbasis. BSFL inneholder også kitin som Finke (2013) har estimert til å være 5,4% på tørrstoffbasis. En rekke studier viser at BSFL også er rike på Ca (5–8%) og P (0,6–1,5%) på tørrstoffbasis (Arango Gutiérrez et al., 2004; Newton et al., 1977; St-Hilaire et al., 2007). TS-innholdet i friske larver er ganske høyt, i området 35–45%, noe som gjør dem enklere og rimeligere å dehydrere enn andre ferske biprodukter (Newton et al., 2008).

2.2 Fordøyelse hos enmagede

Griser er et monogastrisk dyr, enmaget, hvor fordøyelsessystemet ligner veldig på menneskets. McDonald et al. (2011) beskriver fordøyelsessystemet hos enmagede dyr som et rør eller kanal som strekker seg fra munn til rektum, illustrert i figur 2. Kanalen er dekket med slimhinner og utposninger, og har ulike funksjoner; fordøyelse og absorpsjon av fôr, og eliminering av uønskede elementer.



Figur 2. En skematisk visning av fordøyelseskanaalen hos gris (Modifisert etter Gjefsen, 1998)

Fordøyelsen starter i munn med mekanisk nedbryting (tygging), spyttet inneholder enzymet amylase (*gjelder ikke for hund, katt og hest*) som starter karbohydrat fordøyelsen. Videre i magesekken starter proteinnedbrytingen, ved hjelp enzymer i den sure magesaften. Det er ingen nedbryting av stivelse og fett i magesekken. Størsteparten av fordøyelsen skjer i tynntarmen, som omfatter duodenum, jejunum og ileum. I tolvfingertarmen (duodeum), nøytraliseres den sure blandingen fra magesekken med basiske fordøyelsesvæsker fra bukspyttkjertelen,

galleblæren og tynntarmens mange små kjertler (viktig for enzymfunksjon). Fordøyelsesvæskene inneholder en rekke fordøyelsesenzymmer (eks. trypsin, kymotrypsin, pankreas-amylase og -lipase), som bryter ned næringsstoffene til; aminosyrer, di- og tripeptider, monosakkarider og monoglyserider og frie fettsyrer (miceller). Peristaltiske bevegelser, ufrivillige sammentrekninger av tarmveggenes muskulatur, blander tarminnholdet sammen med utskilte fordøyelsesvæsker, samtidig som tarminnholdets kontakt med tarmveggen øker, og forbedrer dermed nedbrytning og absorpsjon av næringsstoffer. Aminosyrer tas bare opp i tynntarmen. Næringsstoffene tas opp over tarmepitelet og transporteres via blodet eller lymfen (McDonald et al., 2011).

I tykktarmen absorberes vann, og en del av det ufordøyde tarminnholdet (fiber) kan fermenteres av mikrober som produserer flyktige fettsyrer (VFA). VFA absorberes over tarmveggen og brukes som energikilde for dyret. Uløselig fiber krever lengre oppholdstid sammenlignet med løselig fiber (Montagne et al., 2003). I tillegg syntetiserer mikrobene store mengder protein, og noen vitaminer, men mangel på proteolytiske enzymer hindrer imidlertid absorpsjon av disse næringsstoffene (McDonald et al., 2011). Grisens egne enzymer, endogene enzymer, kan ikke bryte β -bindinger i eksempelvis cellulose i grovfôr, men enzymer fra mikrobene i tykktarmen er i stand til dette (Bedford, 2000; Montagne et al., 2003; Svihus, 2010).

Fordøyeligheten av en diett avhenger av den kjemiske sammensetning, men også behandlingen under fôrproduksjonen og blandingen av ulike fôringredienser i dietten (McDonald et al., 2011). Fôrprosesseringsmetoder og enzympreparater kan dermed øke tilgjengeligheten av næringsstoffer (Li et al., 1996; McDonald et al., 2011; Simons et al., 1990). Eksogene enzymer kan tilsettes fôret under produksjonen for å bedre fordøyelighet (Bedford, 2000; Svihus, 2010). Eksempelvis kan også proteaser og fytaser benyttes for å øke tilgjengeligheten av protein og fosfor i ulike fôrmidler (Barletta, 2010). Slike enzymer skilles ikke ut i fordøyelseskanalen (Bedford & Schulze, 1998). Dessuten kan ernæringsmessige faktorer i forskjellige ingredienser binde seg til proteiner og AA, noe som kan redusere fordøyeligheten deres (McDonald et al., 2011).

Grisefôr i Norge er vanligvis pelletert, noe som er en energikrevende prosess med mål for å sikre et homogent fôropptak. Under kondisjonerings- og pelleteringsprosessen påvirker varmebehandlingen næringsstoffene i fôret. Proteiner denatureres, noe som kan forbedre næringsverdien, men prosessen kan også ødelegge noen vitaminer (Svihus & Zimonja, 2011).

2.2.1 Metoder for måling av fordøyelighet

Fordøyelighet kan måles på flere forskjellige steder og ved bruk av ulike metoder, eksempelvis ved bruk av kanyler i tarm eller samling av gjødsel. Ved prøvetaking av tarminnhold i ileum bestemmes ileal fordøyelighet. Dette kan enten gjøres ved hjelp av ilealkanyler eller ved å ta en prøve av ilealinnholdet fra dyr som slaktes. Ved bruk av kanyler innebærer denne metoden kirurgisk implantasjon av en eller flere kanyler (McDonald et al., 2011). I en studie av Pedersen et al. (2010) ble det ikke funnet noen forskjeller i mellom slaktemetoder og T-kanyleringsmetoder på ileal fordøyelighet av tørrstoff, organisk materiale, aske eller råprotein. Det brukes som oftest en markør for begge metodene. Ved prøvetaking og analyse av gjødsel kan total fordøyelighet i fordøyelseskanalen bestemmes. Det kan enten gjøres ved hjelp av total oppsamling av gjødsel over flere dager eller ved “spot-prøver”, men da må det brukes markør.

I følge McDonald et al. (2011) er det mest hensiktsmessig å bruke kanylerte dyr for å måle fordøyeligheten av fôr i ulike deler av fordøyelseskanalen. Ved sammenligning av ileal fordøyelighet og total fordøyelighet er det funnet forskjeller i fordøyelighet av enkelte aminosyrer, noe som tyder på at fermenteringen i baktarmen kan endre aminosyresammensetningen, i følge Ahlstrøm og Skrede (1998) og Vhile et al. (2005).

Fordøyelighetsmarkører

For å estimere fordøyeligheten av næringsstoffer i dietter kreves total oppsamling av tarminnhold eller gjødsel, et annet alternativ er å tilsette en inert markør med kjent konsentrasjon i diettene.

Den mest brukte metoden for måle apparent ilealfordøyelighet (AID) av næringsstoffer i fôr er indirekte via av markører i fôret (Austreng et al., 2000). Fordøyelighetsmarkører bør ideelt sett oppfylle 4 krav ifølge Austreng et al. (2000); (Modifisert etter Maynard et al., 1979): 1) Markøren skal homogent innarbeides/integreres i fôret og være enkel å analysere og nøyaktig selv i lave konsentrasjoner; 2) Den må være ufordøyelig og ikke påvirke metabolismen til dyret; 3) Markøren skal passere gjennom mage-tarmkanalen i samme takt som næringsstoffene i dietten; og 4) Den må være hygienisk og ufarlig for mennesker og miljø.

Tidligere var kromoksyd (Cr_2O_3) en av de mest brukte markøren i fordøyelighetsstudier, men det diskuteres hvor pålitelige resultater den gir og om den kan være giftig (Austreng et al., 2000; McDonald et al., 2011). Hos enmagede brukes ofte titanoksid (Ti_2O_3) som markør (McDonald et al., 2011). I tillegg brukes yttriumoksid (Y_2O_3), og er en inert markør som har vist seg å gi en pålitelig bestemmelse av fordøyelighet hos hunder, blårev, mink (Vhile et al., 2007) og fisk (Austreng et al., 2000).

2.2.2 Protein fordøyelighet

Proteinbehovet vil egentlig si behov for aminosyrer (AA), og behovet varierer med alder og produksjon (Gjefsen, 1998). Mer presist er proteinbehov hos gris og andre enmagede dyr aminosyresammensetningen som er lik deres muskler (vekst), melk (purker) eller egg (fjørfe) (Gjefsen, 1998; McDonald et al., 2011). Dyr trenger jevn tilføring av AA, siden proteinene i kroppen kontinuerlig brytes ned (Kierulf, 2019). Det er vanlig å dele aminosyrer inn i tre grupper; essensielle aminosyrer, semi-essensielle aminosyrer og ikke-essensielle aminosyrer. De essensielle aminosyrene kan ikke dyret danne, eller danne i store nok mengder. Semi-essensielle aminosyrer kan grisen danne til en viss grad. Ikke-essensielle aminosyrer kan dyret selv danne (Kierulf, 2019; McDonald et al., 2011). Hos gris regnes det vanligvis at det er 9-10 essensielle aminosyrer (EAA); lysin, treonin, metionin, tryptofan, histidin, isoleucin, leucin, valin, arginin (spesielt hos smågris) og fenylalanin (Xu & Cranwell, 2003). Ved produksjon av grisefør stilles det krav til et minimumsinnhold av fordøyelig råprotein for å sikre dekning av EAA. Innholdet av protein i føret er avgjørende for gode produksjonsresultater og slaktekvalitet. For lavt proteinnivå fører til lav tilvekst, høyt fôrforbruk pr kg tilvekst og dårlig klassifisering. For høyt proteininnhold gir også høyt fôrforbruk, samt økt nitrogenforurensning og økt forekomst av diaré (Gjefsen, 1998).

Hos enmagede dyr foregår aminosyreabsorpsjonen i tynntarmen (Hendriks & Sritharan, 2002). En utfordring med å estimere proteinfordøyeligheten er endogen tilførsel i tarmen. Ilealtarminnholdet inneholder både uabsorberte eksogene AA fra føret og endogene AA, selv om de fleste av AA og små peptider som frigjøres av fordøyelsesenzymmer vanligvis reabsorberes ifølge (Mosenthin et al., 2000). Endogent tap av AA (IAAend) kan deles i to grupper; mengden av AA som vil gå tapt fra dyret uansett diett (basal IAAend), og tap på grunn av spesifikke ingrediensegenskaper (spesifikke IAAend) (McDonald et al., 2011; Stein et al., 2007). Basalt endogent tap avhenger av tørrstoffinntak, og ikke førets sammensetning. Spesifikt endogent tap er tap over basaltap, forårsaket av egenskaper i føret, som eksempel fiber (Stein et al., 2007).

Mikroorganismer i blind- og tykktarmen fermenterer ufordøyede komponenter. Noe av AA blir benyttet for syntese av mikrobeprotein av mikrobe selv. Største del av de ufordøyde AA som kommer til baktarmen vil bli deaminert. Dette resulterer i dannelsen av ammoniakk, som kan tas opp, omdannes til urea i leveren og skilles ut i urinen. På grunn av den mikrobielle metabolismen, kan fordøyelighetsverdier oppnådd ved analyser av gjødsel overvurdere eller undervurdere AA-fordøyeligheten. Når det gjelder bestemmelse av AA absorpsjon hos gris vil ilealanalyser være mer nøyaktige enn gjødselanalyser (Mosenthin et al., 2000).

Ileal fordøyelighet av AA kan uttrykkes som apparent (AID), sann (TID) eller standardisert (SID) ileal fordøyelighet. Disse begrepene brukes til å forklare hvilken form for endogentap som er inkludert i beregningen for ileal fordøyelighet. AID er differansen mellom innholdet av AA i føret og innholdet av AA i tarminnholdet i siste del av ileum. For beregning av TID og SID må endogene tap være kjent eller beregnet. TID vil si at det er tatt hensyn til det totale endogene tapet, men det er vanskelig å måle totalt endogent tap nøyaktig. SID betyr at en tar hensyn til det førspesifikke endogene tapet (avhengig av mengde fiber og andre antinæringstoffer) når en angir fordøyeligheten. Ligninger for beregning av ileal fordøyelighet under er hentet fra Stein et al. (2007).

$$\text{AID (\%)} = \frac{\text{AA inntak} - \text{ileal AA ut}}{\text{AA inntak}} * 100$$

$$\text{TID (\%)} = \frac{\text{AA inntak} - (\text{ileal AA ut} - \text{total IAAend})}{\text{AA inntak}} * 100$$

$$\text{SID (\%)} = \frac{\text{AA inntak} - (\text{ileal AA ut} - \text{basal IAAend})}{\text{AA inntak}} * 100$$

Dietter til gris blir i dag formulert på SID-AA nivå (McDonald et al., 2011; Stein et al., 2007), fordi AID-beregning kan undervurdere fordøyeligheten av førkilder med lite proteiner (Boisen et al., 2000). Beregning av SID krever imidlertid et estimat av mengden ikke-spesifikt endogent protein og AA-utvinning i ileal fordøyelsen (Mosenthin et al., 2000).

2.2.3 Fordøyelighet av andre næringsstoffer

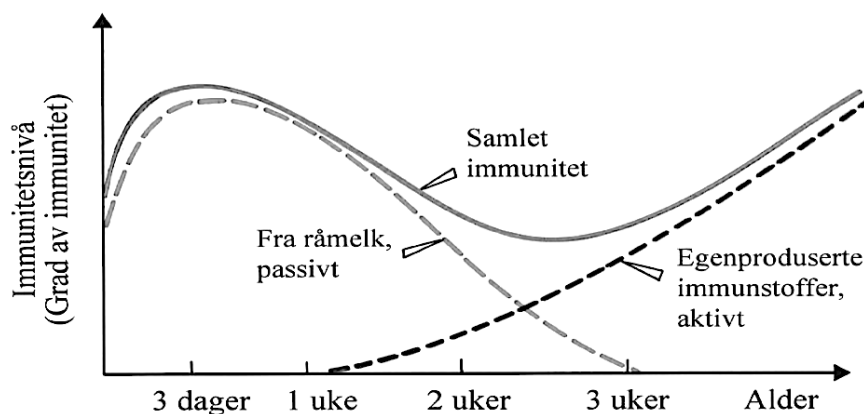
Hovedenergikilden i fôr til gris og andre enmagede dyr er karbohydrater, og er veldig lett fordøyelig (Knudsen et al., 2012; Wiseman, 2006). Fordøyeligheten av stivelse reduseres rett etter avvenning, men øker betraktelig etter noen uker med fôr (Medel et al., 2004). Stivelse er nesten helt fordøyd i tynntarmen, og det som passerer til tykktarmen blir brukt som energikilde til mikrober. Hvis mye stivelse kommer til tykktarmen kan det føre til mye fermenteringen, som kan resultere i diaré (Knudsen et al., 2012; Wiseman, 2006).

I tillegg inneholder føret en del fett, men mengden fett vil variere med føringredienser. Nedbryting av fettstoffer starter i tolvfingertarmen, ved hjelp av fettspaltende enzymer, *lipaser*, i hovedsak fra bukspyttkjertelen og galle. Gallvæsken er med å aktivere enzymer fra bukspyttkjertelen og emulgerer det uoppløselige fett til fettdråper, *miceller*, som gir større kontaktoverflate for enzymene. Fettet brytes ned til monolipider, glyserol og frie fettfyrer, som absorberes i jejunum (McDonald et al., 2011; Aabakken, 2019).

2.3 Utfordringer fra fødsel til avvenning

Grisunger har en lav fødselsvekt, små energireserver og lite isolasjon mot varmetap, så det er viktig med rask tilgang på mat til energi og varmeproduksjon (Gjefsen, 1998). I tillegg er de født med et svakt immunforsvar og små jernreserver (Varley, 1995).

Spedgrisen er født med en steril mage-tarmkanal, og etablering av mikrobiota skjer via mor og miljøforurensning. Det er ønskelig at spedgrisen får i seg så mye råmelk som mulig rett etter fødsel, da det er deres eneste kilde til antistoffer de første døgnene. Dette siden tarmslimhinnene bare er gjennomtrengelig for de store immunglobulinene fra råmelka i en kort periode (Bourne, 1976; Lallès et al., 2007a). Antistoffene fra melka gir spedgrisen en “passiv immunitet” som varer i ca. 3 uker, mens grisen starter å bygge opp sin egen immunitet ca. en uke etter fødsel “aktivt immunforsvar” illustrert i figur 3 under. Siden immunforsvaret til smågrisen vil være svakt ved tre ukers alder, er det viktig å unngå stress som følge av for eksempel kastrering, avvenning og/eller blanding av griser, da de lett kan bli utsatt for sykdom (Gjefsen, 1998). Immunsystemet i mage-tarmkanalen er nesten fullt utviklet ved 7 uker alder. Tarmmikrobiota utgjør en viktig faktor for infeksjonsbeskyttelse og utvikling av tarmimmunsystemet (Stokes et al., 2004).



Figur 3. Utvikling av immunitet hos smågris (Gjefsen, 1998)

Grisunger har et stort behov for jern på grunn av den raske regenereringen av røde blodceller og raske muskelvekst (Widdowson & Crabb, 1976). De er født med små jernreserver, som bare varer i noen dager etter fødsel. Samtidig er jerninnholdet i purkemelk lavt, ca. 2 mg jern pr kg, og behovet er ca. 12-15 mg pr dag ifølge Gjefsen (1998). Braude et al. (1962) rapporterer at smågrisen må ta opp minst 7 mg jern per dag eller ca. 20 mg jern per kg kroppsvekt for å unngå anemi, jernmangel, som ofte oppstår hvor det ikke er tilgang på jord. I moderne griseproduksjon er det vanlig med jerninjeksjon intramuskulært 2-3 dager etter fødsel (Hill et al., 1999), eller alternativt gitt jernholdig klebepasta oralt 12 timer etter fødsel (Gjefsen, 1998).

2.3.1 Avvenning

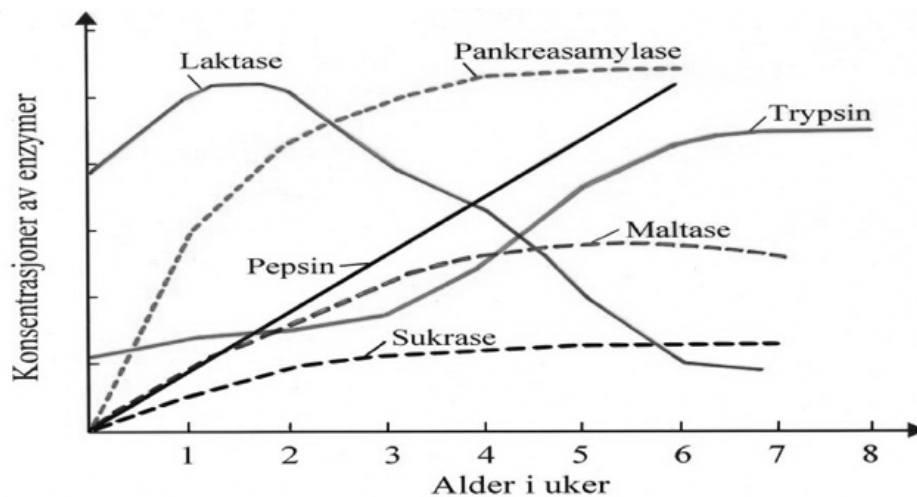
Avvenning er et kritisk tidspunkt i livet til en smågris, og er et begrep som brukes om det øyeblikket grisunger separeres fra mor. Det oppstår som regel stress i forbindelse med overgang fra purkemelk til bare tørrfôr, flytting og blanding av kull (Weary et al., 2008). Forskriftene i Norge sier at grisene skal være minst 28 dager ved avvenning (Landbruksdepartementet, 2003), og det er ønskelig at de veier 8-10 kg. Gjefsen (1998) skriver blant annet at vekt er mer avgjørende enn alder ved avvenning. Hos frittlevende gris skjer avvenningen gradvis over en periode, og er ferdig ved en 14-16 ukers alder (Jensen, 1986).

Avvenning forårsaker ofte en redusert vekst for smågrisen i en kort periode, og det oppstår ofte diaré i forbindelse med avvenning. Avvenningsdiaré opptrer hyppigst 3 - 14 dager etter avvenning og forårsakes av spesielle varianter av *Escherichia coli* (Veterinærinstituttet, 2014). Ødemsjuka kan også oppstå som et besetningsproblem (Veterinærinstituttet, 2014), og tilstanden ses oftest hos rasktvoksende griser som føres godt. Forekomsten av ødemsjuka er hyppigst 2-3 uker etter avvenning, men forekommer også hos eldre griser (SEGES Svineproduksjon, 2013; Veterinærinstituttet, 2014). Ødemsyke hos gris skyldes toksinproduserende enterotoksiske stammer av bakterien *E. coli* (EHEC). Når toksinet absorberes resulterer det til væskeopphopning (ødem) i ulike organer pga. skade på små blodkar, som kan føre til hevelser i eksempelvis panne og øyelokk (SEGES Svineproduksjon, 2013; Veterinærinstituttet, 2014). Andre symptomer kan være nedstemthet, redusert matlyst, sentralnervøse symptomer, vansker med å puste og økt dødelighet (SEGES Svineproduksjon, 2013; Veterinærinstituttet, 2014). Stress ved avvenning og flytting antas å være faktorer for sykdomsutviklingen hos griser (SEGES Svineproduksjon, 2013).

Behandling etter at grisene har blitt syke er ofte lite effektivt, men om behandling forsøkes bør en kombinere antibiotika og smertestillende (NSAID) midler (Veterinærinstituttet, 2014). Vaksiner som har kommet de siste årene viser å ha god effekt mot ødemsyke. I samsvar med dette sier SEGES Svineproduksjon (2013) at ødemsjuka effektivt kan forhindres ved å vaksinere grisene i dieperioden. Et behandlingsalternativ er Borgal vet. injeksjonsvæske, som er et antibakterielt middel (Ceva Santé Animal, 2012; Statens legemiddelverk, 2019).

2.3.2 Utvikling og endring av fordøyelsen ved avvenning

Etter fødsel og de første ukene er fordøyelseskanalen til smågris tilpasset små og hyppige melkemåltider. I denne perioden er det i utgangspunktet liten enzymaktivitet, med unntak av enzymer som fordøyer melkesukker og melkeprotein (f.eks. laktase), mens det er lite av enzymer (f.eks. amylase) som spalter stivelse (Gjefsen, 1998). Ved overgangen til tørt fôr ved avvenning skjer det en endring i aktivitet og produksjonen av fordøyelsesenzymer (Gjefsen, 1998). Laktase i tarmslimhinnen (brush border) har en betydelig reduksjon i aktivitet (Hampson & Kidder, 1986; James et al., 1987; Manners & Stevens, 1972). Mens mengden av en rekke andre fordøyelsesenzymer ser ut til å øke med alder, eksempelvis amylase, pepsin, trypsin og flere pankreasenzymer (Gjefsen, 1998; Pluske et al., 1997), illustrert i figur 4.



Figur 4. Mengde fordøyelsesenzymer hos smågris (Gjefsen, 1998)

Det er godt kjent at avvenning forårsaker endringer i mage- og tarmkanalens struktur og funksjon (Lallès et al., 2007a; Pluske et al., 1997). Eksempelvis; redusert villus- høyde og dybde (Nabuurs et al., 1993; Pluske et al., 1996a; Pluske et al., 1996b), økt slimhinne-permeabilitet (Lallès et al., 2007a), endringer i enzymaktivitet (Hampson & Kidder, 1986; Lindemann et al., 1986) og tarmmikrobiota (Lallès et al., 2007b). Redusert villushøyde og dybde kan resultere i redusert overflateareal, og kan dermed redusere fordøyelses og absorpsjonsprosessene av næringsstoffer (Hampson, 1986; Smith, 1984). Hampson (1986) rapporterte en redusert villushøyde 24 timer etter avvenning ved 3 ukers alder, hvor reduksjonen fortsatte videre i 4 dager. Hos ikke avvente grisunger var det derimot minimale endringer.

2.4 Formål

Litteraturgjennomgangen viser at insektmel av *Hermetia illucens* L har et relativt høyt innhold av fett og proteiner, men også en del kitin som diskuteres om kan ha prebiotiske effekter i tarmen. Hensikten med denne oppgaven er å undersøke effekten av å bytte ut en økende mengde av både protein- og fettkilder i fôret til smågris med insektmel for å undersøke effekten på; tilvekst, fôreffektivitet, fordøyelighet og helse.

Ut i fra litteratur om næringsverdi i insektmel og tidligere studier er følgende hypotese utviklet:

H0: I en balansert smågrisdiett kan *Hermetia illucens* L insektmel erstatte kommersielle protein- og fettråvarer, slik som soya, fiskemel og rapsolje, uten negative effekter på tilvekst og tarmhelse etter avvenning.

Underhypoteser i forsøket:

H1: Å inkludere insektmel vil resultere i lik fôreffektivitet hos avvendte grisunger.

H2: Å inkludere insektmel vil resultere i lik fordøyelighet hos avvendte grisunger.

H3: Å inkludere insektmel vil resultere i forbedret tarmhelse og redusere avvenningsdiaré hos avvendte grisunger.

3. Material og Metode

Forsøket ble utført på Ås gård, Senter for husdyrforsk (SHF), ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Ås, Norge, mellom 07.februar og 07.mars 2019. Denne oppgaven er del av et større eksperiment knyttet til FeedMileage og Foods of Norway prosjektene. Forsøket ble utformet som et dose-responsforsøk med økende mengder insektmel i dietten.

3.1 Forsøksdietter

Det ble produsert en kontroll-diett med 0 % insektmel og 3 dietter med økende doser insektmel på 4,76%, 9,52% og 19.06% (Insekt 5, Insekt 10 og Insekt 20). Insektene i forsøket var svart soldatflue larver produsert i Polen av HiProMine S.A. (Poznanska Str., Polen). Diettene ble optimert i samarbeid med Felleskjøpet Fôrutvikling ved bruk av deres optimeringsprogram, og ble produsert av FôrTek, senter for fôrteknologi ved NMBU, Ås. Diettene ble balansert på energi, nitrogen og essensielle AA (tabell 5 viset tilsatte AA), og ble optimert for å dekke alle næringsbehov til smågris (NRC, 2012). I alle fire diettene ble det benyttet en markør, yttriumoksid (0,1 g/kg), for fordøyelighetsberegninger. Diettene ble tildelt i pelletert form. Den kjemiske komposisjonen av hovedingrediensene i diettene er vist i tabell 2, og sammensetningen av diettene er vist i tabell 3.

Tabell 2. Kjemisk komposisjon av hovedingrediensene i diettene.

Kjemisk sammensetning								
	TS	Aske	NDF	ADF	Råprotein	Stivelse	Råfett	Energi
Elementer	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	MJ/kg
Havre	857,5	22,7	269,9	150,2	87,7	407,7	43,7	16,8
Bygg	858,1	17,3	206,5	82,0	91,8	563,7	10,6	16,0
Hvete	866,8	14,1	115,6	44,8	124,0	488,1	13,8	16,2
Raps	928,4	52,7	223,1	178,9	341,9	–	99,8	20,2
Fiskemel	919,6	147,1	28,5	24,0	679,4	–	101,1	19,5
SBM	875,9	53,0	156,4	128,0	426,4	–	10,5	17,2
Insektmel	904,5	83,7	–	–	379,9	–	289,3	–

Tabell 3. Sammensetningen av forsøksdiettene.

Ingredienser, g/kg	Forsøksdiettene			
	Kontroll	Insekt 5	Insekt 10	Insekt 20
Hvete	507,7	502,0	496,6	485,1
Bygg	200,0	200,0	200,0	200,0
Havre	50,0	50,0	50,0	50,0
Insektmel	—	47,6	95,2	190,6
Soyamel	70,8	59,7	48,2	25,5
Soyaproteinkonsentrat	36,1	27,1	18,1	—
LT fiskemel	34,1	25,5	17,1	—
Rapsolje	32,8	25,1	17,4	1,3
Tørrfett	11,0	8,1	5,1	0,0
Rapskake mestilla	10,0	10,0	10,0	10,0
Monokalsiumfosfat	12,9	12,0	11,2	9,5
Kalksteinsmel, visnes	8,2	6,7	5,1	2,1
Fôrsalt	5,3	5,4	5,5	5,8
Selenpremix	0,9	0,9	0,8	0,8
Normin jernfumarat	0,4	0,4	0,4	0,4
Mikro svin m/hizox	2,0	2,0	2,0	2,0
Vitamin-A	0,7	0,7	0,7	0,7
Vitamin-E v5	1,2	1,2	1,2	1,2
Vitam-ADKB	0,8	0,8	0,8	0,8
Vitamin-C	0,3	0,3	0,3	0,3
L-Lysin	6,8	6,8	6,9	6,9
L-Metionin	2,4	2,5	2,6	2,8
L-Treonin	2,8	2,9	2,9	3,0
L-Valin	1,1	0,8	0,5	0,0
L-Tryptofan	0,9	0,8	0,7	0,6
Betain	0,7	0,7	0,7	0,7
Yttrium oksid	0,1	0,1	0,1	0,1
Beregnet proteininnhold	181,0	181,0	181,0	181,0
Andel protein fra insektmel (% av total råprotein)	0	10	20	39
Andel fett fra insektmel (% av total råfett)	0	19	39	69

3.2 Dyr

Totalt 80 stk [(Norsk Landsvin × Yorkshire) × (Duroc)] av 200 avvente grisunger fra 11 kull, 40 stk hunndyr og 40 stk hanndyr, ble valgt ut til dette forsøket. Grisungene ble avvent ved 5 ukers alder, med en gjennomsnittsalder på 32,8 dager (31–36 dager gamle). De utvalgte grisene hadde en gjennomsnittlig kroppsvekt på 10,6 kg (8,8–12,3 kg).

Alle grisungene i alle kull ble veid, og 4, 8 eller 12 griser fra hvert kull med en likest mulig kroppsvekt (BW) ble valgt. Ved fordeling på de 4 fôringsleddene, ble det tatt hensyn til kull, startvekt og kjønn. Grisungene ble tilfeldig fordelt i 20 binger, 5 binger for hver av diettene (20 grisunger per diett), og 4 griser i hver bing. Hver bing fikk samme diett gjennom hele forsøket, og de ulike diettene ble fordelt over hele rommet. Type diett for hver bing ble bestemt på forhånd. Levendevekten ble registrert ukentlig. Det var et utbrudd av ødemsyke og alle smågrisene ble behandlet med Borgal vet. dag 11-13. En gris døde forsøksdag 11 av ukjent dødsårsak (Kontroll).

3.3 Husdyrmiljø

Forsøket tok sted i et miljøstyrt rom med manuell logging av romtemperaturen daglig. Romtemperaturen lå i gjennomsnitt på $21,6 \pm 1,38^{\circ}\text{C}$ gjennom hele forsøksperioden. Bingene hadde delvis tett-betonggulv og helspaltegulv (Se figur 5). I 12 av bingene ble det installert gummimatter uten bruk av strømateriale i liggearealet. For de resterende 8 bingene uten gummimatter ble sagflis brukt som strømateriale i liggearealet. I bingene hvor det ble tatt ilealprøver ble det brukt gummimatter, for å unngå inntak av sagflis som kan påvirke fordøyeligheten av fôret. Drikkenipler og en vanddyse var plassert ved gjødselområdet med spaltegulv.



Figur 5. Foto av binger under forsøket. Foto: Guro Holseth Grepperud

3.4 Fôr og fôringsrutiner

I dieperioden hadde grisungene tilgang til samme fôr som purka, og de fikk tilgang til forsøksdiettene rett etter veiing og gruppering. Grisene hadde *ad libitum* tilgang på både fôr og vann fra drikkenipler gjennom hele forsøksperioden.

Fôropptaket til grisene ble registrert ukentlig, hver torsdagsmorgen (til samme tidspunkt hver uke) ble fôrautomatene tømt, samt fôrrestene veid og registrert. Påfyll av automater ble utført rett etter registrering av fôrrester og etter behov i løpet av uka. Dette ble registrert fortløpende. En samleprøve av fôrrestene fra hver diett ble veid og lagret i fryseren for senere bestemmelse av tørrstoff. Fôrautomater ble sjekket minst to ganger daglig for å være sikker på at det var nok fôr.

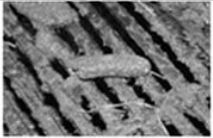

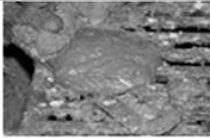
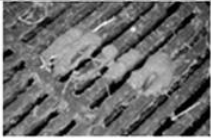
Dag 28 og 29 i forsøket foregikk den avsluttende prøvetakingen, med avliving av 47 griser (3 binger per diett). To griser fra hver av disse bingene ble avlivet hver av dagene.

Prøvetakingsdagene ble grisene fôret 2-3 timer før sampling for å sikre tarminnhold. Alle fôrrester ble veid ut som vanlig på forsøksdag 28 og 29 i alle binger. Grisene hadde *ad libitum* tilgang på fôr de siste 3 timene før sampling. Alle grisene ble veid rett før sampling (med unntak av de 3 første).

3.5 Gjødelscore

Gjødelskonsistens i bingene ble registrert hver dag under eksperimentet ved å bruke scoringssystemet utviklet av Pedersen og Toft (2011). Det ble gjennomført individuell vurdering av gjødselprøvene i bingen, og scoringen ble gitt som et bingegjennomsnitt, basert på følgende fire konsistens kategorier: score 1 = fast og formet, score 2 = myk og formet, score 3 = løs og bløt, og score 4 = vandig/flytende/vassen (se figur 6). Registreringen ble gjort på en skala med 0,25 nivåer. Prøver med score 1 og 2 ble ansett som normale, og prøver med score 3 eller 4 ble betraktet som diaré.

Personer ansvarlige for daglig score ble gjort kjent med klassifiseringsskalaen. Klassifiseringsskalaen var tilgjengelig for sammenligning under registreringen. Det var ønsket at samme person skulle vurdere og registrere gjødelscore under hele forsøks perioden, men dette var ikke gjennomførbart. I følge Pedersen og Toft (2011) forhindrer ikke klassifiseringsskalaen variasjon mellom observatører.

Score	1 Firm and shaped	2 Soft and shaped	3 Loose	4 Watery
Picture				
Texture	Firm. Varies in hardness.	Varies in softness. Like peanut butter	Mush. Often shining surface	Varies from gruel to water.
Shape	Sausage	Varies from sausage shape to small piles	Tends to level with surface. Does not flow through or flows slowly through slatted floors.	Levels with surface. Flows through slatted floors.
In container	Preserves original shape.	Does not flow when container is rotated. Preserves original shape.	Inert when container is rotated. Merges and covers bottom of container in most cases.	Flows easy when container is rotated. Merges and covers bottom of container.

Figur 6. Skala for klassifisering av gjødselkonsistens. Fire kategorier med beskrivende tekst og bilder (Pedersen & Toft, 2011).

3.6 Gjødselprøver til TS og total fordøyelighet

Under forsøksperioden ble det tatt gjødselprøver for å beregne tørrstoffinnholdet, samt den totale fordøyeligheten av diettene. Tørrstoffprøvene ble samlet bingevise (omtrent like stor gjødselprøve fra hver gris) en gang i uken, og det ble gjort forsøksdag: 7, 14, 21 og 27. Gjødsel fra samtlige grisunger (79 individer) ble samlet samtidig som veiingen av grisungene ble gjennomført. Alle prøvene ble først fryst ned, og senere veid og ovntørket ved 103°C for bestemmelse av tørrstoffinnhold.

Prøvetakingen av gjødsel for beregning av total fordøyelighet skjedde over en periode på fem dager (forsøksdag nr. 21, 22, 25, 26 og 27). Alle gjødselprøver fra en gris ble samlet opp i samme aluminiumsboks gjennom forsøksperioden, hvor grisenes ID-nummer, bingennummer og dato for hver prøvetaking ble notert på både lokket og boksen. Det var ønskelig med omtrent like store prøver fra hver dag. Bokser med gjødselprøver ble fryst ned og lagret umiddelbart etter innsamling. Prøvene ble senere frysetørket og deretter malt til 1mm og 0,5mm før videre analyser.

3.7 Avsluttende prøvetaking til ileal fordøyelighet og leverindeks

Under de avsluttende prøvetakingene ble det kun tatt prøver fra de 47 smågrisene som hadde binger innredet med gumminmatter.

For bestemmelse av ileal fordøyelighet ble tarminnholdet fra de siste 2 meterne av ileum samlet, i forhåndsmerket aluminiumsboks. Boksene ble umiddelbart lagt i fryser. Ilealinnholdet ble deretter frysetørket og homogenisert ved bruk av en kaffekvern før innholdet ble analysert. Første samplingdag (forsøksdag nr. 28) ble det samlet inn feil prøvemateriale hos 7 griser (gris nr. 4-10; Kontroll=3, Insekt 10=2, Insekt 20=2), hvor tarminnhold fra jejunum istedenfor ileum ble samlet inn. Feil prøvemateriale ble utelukket for videre analyser.

For bestemmelse av leverindeks ble leveren til hver enkelt smågris veid, med unntak av de 2 første (gris nr. 1 og 2).

3.8 Kjemiske analyser

De kjemiske analysene av diettene, gjødel- og ilealprøvene ble utført ved LabTek, en analyselab ved institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap (IHA), NMBU, Ås. Alt prøvematerialet ble malt til 1 mm og 0,5 mm før det ble sendt til analysering av næringsinnhold. LabTek analyserte diettene for: tørrstoff, aske, NDF, ADF, kjeldahl-N, stivelse, råfett, energiinnhold, aminosyresammensetning, fettsyresammensetning og markør (yttrium) som vist i tabellene 4, 5 og 6. Hoved fôrråvarene og gjødselprøvene ble analysert for: tørrstoff, aske, NDF, ADF, kjeldahl-N, stivelse, råfett, energiinnhold og markør (yttrium), og ileum-prøvene ble analysert for: tørrstoff, aske, kjeldahl-N, stivelse, råfett, energiinnhold og markør (yttrium).

Analysemetoder som ble benyttet:

- Tørrstoffinnholdet ble funnet ved tørking av prøver ved $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ til konstant vekt, ved hjelp av en tørkeovn.
- Askeinnholdet (mengden uorganisk materiale) ble funnet ved forbrenning på $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ i min. 4 timer, i en foraskningsovn, Nabertherm.
- NDF (uløste fraksjonen) ble analysert etter Mertens (2002) ved hjelp av Ankom²⁰⁰ Fiber Analyzer (Ankom Technology Macedon, NY, USA).
- ADF (Acid detergent fiber) bestemmes ved hjelp av Ankom200 Fiber Analyzer (Ankom Technology Macedon, NY, USA).
- Råprotein (RP) ble funnet ved å bruke Kjeldahl nitrogen $\times 6.25$ etter Commission Regulation (EC) No 152/2009 ved å bruke KjeltexTM 8400 fully automated Kjeldahl analyser med scrubber.
- Stivelsesinnholdet ble bestemt ved å bruke McCleary et al. (1994) metode enzymatisk-kolorimetri. Hvor det i tilsettes α -amylase og amyloglukosidase som bryter ned stivelse til glukose. Glukosekonsentrasjonen bestemmes ved hjelp av en fargereaksjon med spektrofotometer (RX4041 Randox Daytona+, England).
- Råfett ble bestemt ved hjelp av ekstraksjon metoden Accelerated Solvent Extraction (ASE) (ASE® 350 Accelerated Solvent Extractor, Nerliens Mezanski)
- Brutto energi ble bestemt ved kalorimetri ved hjelp av PARR 6400 bombekalorimeter (Parr instrument, Moline, IL, USA).
- Aminosyrer (unntatt tryptofan) i diettene og ilealprøvene ble analysert etter Commission Regulation (EC) No 152/2009 ved hjelp av en Biochrom 30 aminosyreanalysator med autosampler, Nerliens Meazansky. Tryptofan ble analysert etter Commission Regulation (EC) No 152/2009 ved hjelp av en Dionex UltiMate 3000 HPLC med auto-injektor (Thermo Scientific) og med en Shimadzu fluorescence detektor.
- Fettsyresammensetning (FAME) ble bestemt ved hjelp av GC-system: Trace GC Ultra med auto-injektor (Thermo Scientific).
- Yttrium (Y2O3) bestemmes spektrofotometrisk ved bruk av MP-AES 4200 (Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometer) (Agilent Technologies).

3.9 Beregninger

3.9.1 Fôreffektivitet

$$\text{Gj. snittlig daglig tilvekst (g)} = \frac{\text{Kroppsvekt dag } y \text{ (kg)} - \text{Kroppsvekt dag } x \text{ (kg)}}{\text{Antall dager}} \times 1000$$

$$\text{Gj. snittlig daglig fôropptak (g)} = \frac{\text{Fôr gitt fra dag } x \text{ til } y \text{ (kg)} - \text{Fôrrester fra dag } x \text{ til } y \text{ (kg)}}{\text{Antall dager}} \times 1000$$

$$\text{Fôreffektivitet} = \frac{\text{Gj. snittlig daglig fôropptak (g/dag)}}{\text{Gj. snittlig daglig tilvekst (g/dag)}}$$

3.9.2 Fordøyelighet

$$\text{Tilsynelatende total fordøyelighet koeffesient (\%)} = 100 - \left(100 \times \left(\frac{\text{næringsinnhold i feces } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)}{\text{næringsinnhold i diett } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)} \times \frac{\text{markør i diett } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)}{\text{markør i feces } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)} \right) \right)$$

$$\text{Tilsynelatende ileal fordøyelighet koeffesient (\%)} = 100 - \left(100 \times \left(\frac{\text{næringsinnhold i ileum innhold } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)}{\text{næringsinnhold i diett } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)} \times \frac{\text{markør i diett } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)}{\text{markør ileum innhold } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)} \right) \right)$$

3.9.3 Leverindeks

$$\text{Leverindeks} = \frac{\text{Lever vekt (kg)}}{\text{Kroppsvekt (kg)}} \times 100$$

3.10 Statistiske analyser

Dataene ble analysert ved bruk av R Studio version 3.4.1 (R_Core_Team, 2017). R-pakken/e som ble brukt Lme4 (Bates et al., 2015) til lineær mixed-effekter og lineær regresjon. Alle figurene og tabellene presentert er fremstilt i Excel versjon 2018. I tillegg ble Excel benyttet til sortering og systematisering av data, samt til utregning av gjennomsnitt og standardfeil.

3.10.1 Statistiske modeller:

Modell 1:

$$Y_{ijklmn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \gamma_l + \rho_m + \varepsilon_{ijklmn}$$

Y_{ijklmn} = Avhengig variabel (gris)

μ = Gjennomsnitt

α = Diett effekt (i=1,2,3,4)

β = Binge - tilfeldig variabel (j=1,2..20)

τ = Flis effekt (k=0,1)

γ = Kull - tilfeldig variabel (l=1,2,..11)

ρ = Kjønn effekt (m=1,2)

ε_{ijklmn} = Tilfeldig feil

Data for ATTD, AID fordøyelighet og leverindeks ble analysert med modell 1. For AID og leverindeks ble ikke flis inkludert i modellen, ettersom disse dataen kun er hentet fra grisene som ikke hadde tilgang på flis.

Fôreffektiviteten, TS i gjødsel og gjødsel score ble analysert med modell 2.

Modell 2:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Avhengig variabel (binge)

μ = Gjennomsnitt

α = Diett effekt (i=1,2,3,4)

ε_{ij} = Tilfeldig feil

En effekt regnes som statistisk signifikant ved $P \leq 0.05$ og som en tendens mellom 0.05 og 0.10. I resultatene er et stjernetegn (*) benyttet i tabellene for å fremheve signifikans og et plusstegn (+) for å fremheve tendens.

Alle resultatene er presentert som gjennomsnittsverdier og med standardfeil (SE).

4. Resultater

4.1 Fôr

Kjemisk komposisjon av forsøksdiettene er vist i tabell 4, 5 og 6. Den største numeriske variasjonen finner vi i stivelseinnholdet, hvor diett Insekt 5 inneholder mest (465,6 gram pr. kg), mens diettene Insekt 10 og 20 har et gradvis synkende innhold med økende mengde insekt (447,5 og 435,8 gram pr. kg).

Tabell 4. Kjemisk komposisjon av forsøksdiettene.

Næringsstoffer	Forsøksdiettene			
	Kontroll	Insekt 5	Insekt 10	Insekt 20
Tørrstoff (g/kg)	890,3	888,9	887,7	893,0
Aske (g/kg)	48,3	46,5	46,6	47,2
Råprotein (g/kg)	175,2	174,3	177,4	184,7
Stivelse (g/kg)	456,3	465,6	447,5	435,8
Råfett (g/kg)	61,7	70,8	69,8	79,6
NDF (g/kg)	110,5	109,2	105,0	117,0
ADF (g/kg)	47,1	46,2	44,6	48,0
Energi (MJ/kg)	17,3	17,4	17,5	17,8
Total-P (mg/g)	6,6	6,5	6,7	6,3

Tabell 5. Aminosyreinnhold i forsøksdiettene.

Essensielle AA*, g/kg	Forsøksdietter			
	Kontroll	Insekt 5	Insekt 10	Insekt 20
Arg, R	8,6	8,5	8,1	7,8
His, H	3,7	3,8	3,9	4,3
Ile, I	5,7	5,8	5,7	6,2
Leu, L	10,6	10,5	10,4	10,8
Lys, K	11,8	12,5	11,7	12,7
Met, M	4,0	4,3	4,1	4,6
Phe, F	6,7	6,5	6,4	7,0
Thr, T	7,1	7,6	7,2	7,9
Trp, W	2,5	2,1	2,5	2,5
Val, V	7,0	7,1	7,0	7,5
Sum	67,7	68,7	66,9	71,3
Ikke essensielle AA*, g/kg				
Ala, A	5,7	6,2	6,5	7,6
Asp, D	11,8	12,0	11,6	11,8
Cys, C	2,3	2,3	2,2	2,1
Glu, E	34,9	33,2	33,2	33,6
Gly, G	5,7	5,8	5,8	6,3
Pro, P	10,4	10,3	10,7	11,7
Ser, S	6,6	6,5	6,4	6,5
Tyr, Y	3,0	3,2	3,9	5,7
Sum	80,4	79,5	80,2	85,4
TOTAL SUM AA	148,0	148,2	147,1	156,6

**vannkorrigerte resultater*

Det totale innholdet av AA i Insekt 20 dietten vist i tabell 5 er litt høyere enn de andre diettene. Diett Insekt 20 har et generelt høyere innhold av alle EAA, med unntak av Arg. Det er også noen forskjeller i fettsyresammensetningen (Tabell 6), insektdiettene har generelt et høyere innhold av mettede FS spesielt for C12, og lavere innhold av PUFA særlig omega 3 FS. Det totale innholdet av FS øker med økende mengde insekt i diettene.

Tabell 6. Fettsyresammensetningen av forsøksdiettene.

Fettsyrer (g/kg)	Forsøksdietter			
	Kontroll	Insekt 5	Insekt 10	Insekt 20
C12	0,36	5,43	10,34	20,65
C14	0,37	1,20	2,07	3,80
C15	0,04	0,05	0,06	0,08
C16	11,86	11,03	10,15	8,90
C17:0	0,06	0,07	0,09	0,11
C18:0	3,83	3,10	2,45	1,37
C20:0	0,21	0,18	0,14	0,08
C21:0	0,01	0,08	0,16	0,29
C22:0	0,12	0,10	0,07	0,04
C23:0	0,01	0,01	0,01	-
C24:0	0,05	0,04	0,03	0,02
Sum mettede FS	16,92	21,29	25,56	35,33
C14:1	-	0,02	0,03	0,07
C16:1	0,35	0,52	0,67	1,01
C20:1	0,79	0,65	0,49	0,19
C24:1	0,09	0,07	0,04	0,02
Sum MUFA	1,24	1,25	1,24	1,30
C20:2	0,11	0,10	0,08	0,04
C22:2	0,03	0,02	0,01	0,02
C18:1n9t	0,41	0,33	0,19	0,04
C18:1n9c	23,07	20,27	16,86	10,92
C21:1n9	0,05	0,04	0,03	0,02
C18:2n6c	18,76	19,54	19,23	18,86
C18:3n6	0,11	0,10	0,07	0,02
C20:4n6	0,02	0,01	0,01	-
C18:3n3	4,06	3,69	3,16	2,13
C20:5n3	0,27	0,20	0,15	-
C22:5n3	0,02	0,02	0,01	-
C22:6n3	0,32	0,26	0,18	-
Sum PUFA	47,25	44,58	39,98	32,05
Sum n-6	18,90	19,65	19,31	18,88
Sum n-3	4,68	4,17	3,50	2,13
Ratio n-6/n-3	4,04	4,71	5,52	8,86
Total sum FS	65,41	67,12	66,78	68,68

4.2 Fôreffektivitet

Økende innhold av insektmel i diettene gav ingen signifikante effekter på verken daglig fôropptak, daglig tilvekst eller fôreffektivitet. Grisungene som fikk dietten med 4,76 % insekt (Insekt 5), hadde lavest daglig fôropptak (gj.snitt 660,75g/dag), og daglig tilvekst (gj.snitt 502,75) for alle 4 ukene (tabell 7). Ingen tydelige sammenhenger mellom mengde insekt i diett og daglig tilvekst ble funnet, men grisungene i kontrollgruppene hadde høyere daglig tilvekst alle 4 ukene av forsøket.

Tabell 7. Effekten av økt dose insektmel i diettene på fôropptak, tilvekst og fôreffektivitet hos avvente grisunger (g/dag/gris).

Uke		Forsøksdiettene				SE	P-verdi
		Kontroll	Insekt 5	Insekt 10	Insekt 20		
1	Daglig fôropptak ¹	363	323	340	329	8,44	0,373
	Daglig tilvekst ¹	347	298	342	336	9,80	0,278
	Fôreffektivitet ²	1,04	1,09	1,00	0,99	0,016	0,100
2	Daglig fôropptak	600	574	578	598	12,74	0,864
	Daglig tilvekst	518	487	507	517	11,32	0,779
	Fôreffektivitet	1,16	1,18	1,14	1,16	0,017	0,849
3	Daglig fôropptak	836	798	869	842	12,17	0,227
	Daglig tilvekst	619	545	613	556	14,96	0,181
	Fôreffektivitet	1,37	1,47	1,42	1,52	0,029	0,279
4	Daglig fôropptak	1067	948	976	1004	23,97	0,355
	Daglig tilvekst	756	681	716	731	27,59	0,836
	Fôreffektivitet	1,45	1,41	1,36	1,40	0,038	0,875

¹(g/dag/gris)

²(g fôr/g tilvekst)

Det var numeriske forskjeller hos grisungene som mottok Insekt 10 dietten, de hadde i gjennomsnitt den beste fôreffekten gjennom hele forsøksperioden (gj.snitt 1,23). Fôropptaket er basert på bingedata (gjennomsnitt per binge delt på antall dager og antall griser), så eventuelle individforskjeller vil ikke vises.

4.3 Fordøyelighet

4.3.1 Apparent ilealfordøyelighet (AID) av næringsstoffer

Det ble funnet en signifikant effekt for AID av protein ($P=0,026$) og fett ($P=0,007$), og en tendens av aske ($P=0,063$) mellom kjønn (tabell 8). Purkene hadde en høyere fordøyelighet av protein, fett og aske enn kastratene. Det ble ikke funnet noen signifikant effekt ($P>0,05$) for AID mellom diettene. Insekt 5 dietten hadde lavere numeriske verdier for AID for alle næringsstoffer, mens Kontroll-dietten har de høyeste numeriske verdiene for AID med unntak av fett og aske.

Tabell 8. Effekten av økt dose insektmel i diettene på AID (%) på hovednæringsstoffene hos avvente grisunger.

Næringsstoffer ¹	Forsøksdiettene					P-verdi	
	Kontroll	Insekt 5	Insekt 10	Insekt 20	SE	Diett	Kjønn
TS	71,17	67,27	67,98	67,96	0,973	0,499	0,167
Aske	31,08	17,29	26,66	31,30	3,587	0,431	0,063+
Råprotein	69,83	65,75	66,59	67,51	1,360	0,707	0,026*
Stivelse	97,40	94,89	95,30	95,81	0,463	0,429	0,512
Fett	81,78	81,63	84,77	86,81	1,011	0,491	0,007*

¹ Antall individer per diett; Kontroll=8, Insekt 5 =12, Insekt 10 = 10 og Insekt 20=10

4.3.2 Apparent totalfordøyelighet (ATTD) av næringsstoffer

Det ble funnet en signifikant effekt av diett for ATTD av hovednæringsstoffene råprotein ($P=0,36$), stivelse ($P=0,041$) og fett ($P=0,030$), i tillegg ble det funnet en signifikant effekt for aske ($P=0,045$) og total-P ($P=<0,001$), vist i tabell 9. For aske, stivelse, fett og total-P er det en numerisk økende trend med økt innhold insekt, mens det for protein er en numerisk synkende tendens med økt innhold av insektmel. Grisene som mottok diett Insekt 20 hadde lavere fordøyelighet av råprotein enn de to andre forsøksgruppene.

Det ble funnet en signifikant effekt av flis for ATTD for næringsstoffene aske ($P=0,030$), protein ($P=0,035$), fett ($P=0,016$), ADF ($P=0,016$) og Total-P ($P=0,005$). Grisungene i de bingene som inneholdt flis hadde en høyere fordøyelighet av aske, protein, fett og Total-P, mens de hadde lavere fordøyelighet av ADF. Det ble også funnet en signifikant effekt av kjønn for ATTD, hvor purkene hadde en gjennomsnittlig høyere fordøyelighet av næringsstoffene protein ($P=0,34$) og stivelse ($P=0,015$) sammenlignet med kastratene, mens det var en tendens ($P=0,061$) for Total-P.

Det ble ikke funnet noen signifikant effekt ($P>0,05$) for ATTD for tørrstoff, NDF og energi (tabell 9). Det er ingen dietter som skiller seg kraftig ut med høyere eller lavere numeriske verdier. Insekt 5 dietten hadde de laveste numeriske verdiene for alle næringsstoffene, med unntak av protein og energi sammenlignet med de andre insektdiettene.

Tabell 9. Effekten av økende dose insektmel i diettene på ATTD (%) på hovednæringsstoffene hos avvente grisunger.

Næringsstoffer	Forsøksdiettene ¹				SE	P-verdi		
	Kontroll	Insekt 5	Insekt 10 ²	Insekt 20		Diett	Flis	Kjønn
TS	83,42	82,74	82,98	82,63	0,20	0,646	0,236	0,466
Aske	58,81	57,28	57,61	61,15	0,48	0,045*	0,030*	0,240
Råprotein	79,61	78,36	77,51	77,28	0,37	0,036*	0,035*	0,034*
Stivelse	99,71	99,64	99,74	99,77	0,02	0,041*	0,548	0,015*
Fett	75,79	77,89	79,45	79,93	0,43	0,030*	0,016*	0,735
NDF	38,40	36,67	37,54	39,20	0,82	0,854	0,655	0,833
ADF	30,56	27,63	28,42	28,99	1,08	0,855	0,016*	0,861
Energi	82,68	81,95	82,27	81,78	0,22	0,577	0,146	0,487
Total-P	51,42	51,38	55,34	56,31	0,60	<0,001*	0,005*	0,061+

¹ Antall individer per diett; Kontroll=19, Insekt 5 =20, Insekt 10 = 19 og Insekt 20=20

²N=78; analyseverdiene for gjødsel fra en gris var avvikende ($>3 \times \text{IQR}$ fra gjennomsnittet), og ble derfor fjernet fra datasettet

4.4 TS i gjødsel og gjødselscore

4.4.1 TS% i gjødselprøver

Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller ($P>0,05$) av økt dose insektmel i diettene for TS % i gjødselprøvene vist i tabell 10. Det funnet en negativ lineær sammenheng mellom inkluderingsnivå av insektmel og TS% i gjødsel ($R^2=0,98$) første uken ble.

Tabell 10. Effekten av økt dose insektmel i diettene hos avvente gris på tørrstoff (%) i gjødsel.

Dag	Forsøksdiettene				SE	P-verdi
	Kontroll	Insekt 5	Insekt 10	Insekt 20		
7	26,57	25,69	25,35	24,28	0,668	0,716
14	27,79	26,13	26,88	26,29	0,323	0,269
21	26,26	26,23	26,07	24,73	0,360	0,403
27	26,75	26,33	27,30	26,73	0,413	0,892

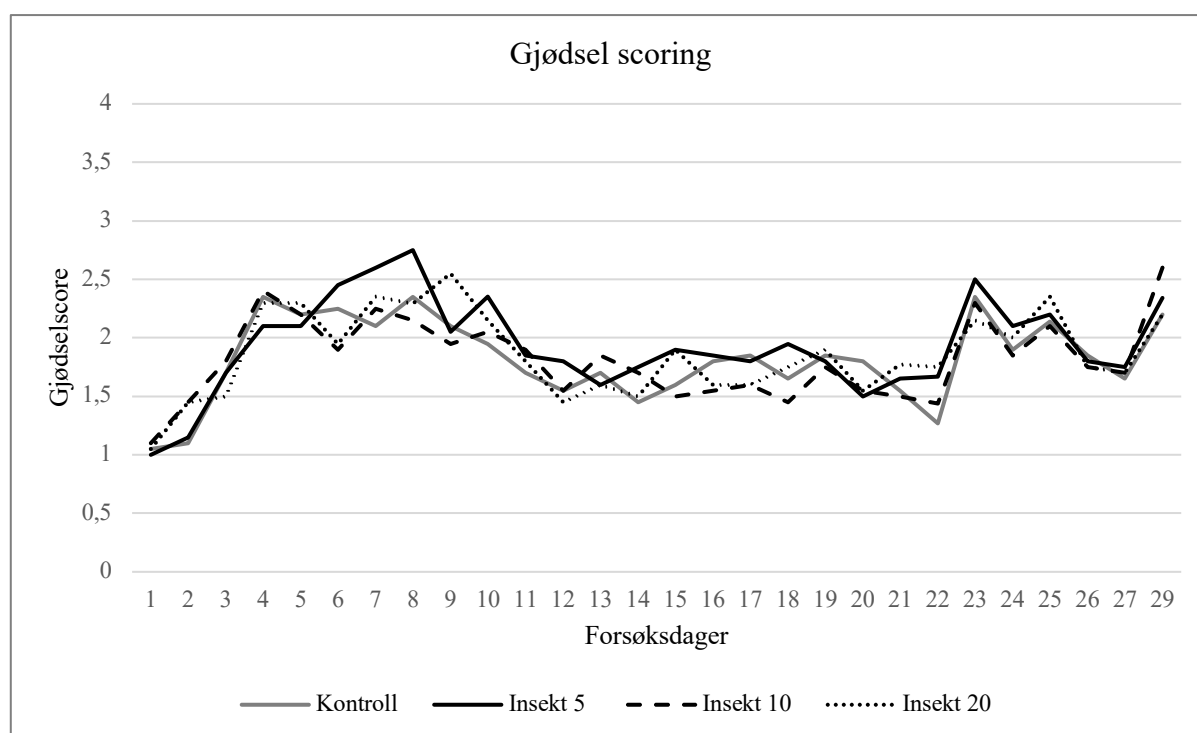
4.4.2 Gjødelscore

For gjødelscoringsresultater ble det ikke funnet noen signifikant effekt ($P > 0,05$) av å inkludere økede doser insekt i dietten (tabell 11). Grisungene med dietten Insekt 5 hadde i uke 2-4 en numerisk gjennomsnittlig høyere gjødelscore på 1,96, sammenlignet med de resterende diettene. Grisene som fikk Insekt 10 dietten hadde den laveste numeriske scoren på 1,78, mens Kontroll lå på 1,82 og Insekt 20 på 1,88.

Tabell 11. Effekt av økt dose insektmel i diettene på gjødelscore hos avvente smågris.

Uke	Forsøksdiettene				SE	P-verdi
	Kontroll	Insekt 5	Insekt 10	Insekt 20		
1	1,78	1,75	1,81	1,76	0,055	0,373
2	1,92	2,11	1,96	2,03	0,072	0,815
3	1,71	1,79	1,59	1,69	0,062	0,730
4	1,82	1,95	1,81	1,92	0,051	0,695

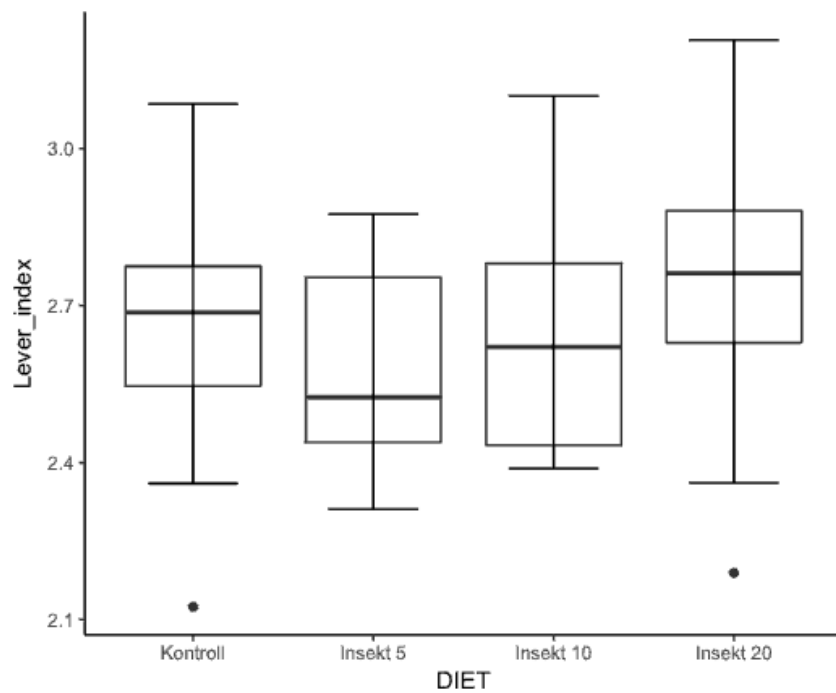
I løpet av forsøksperioden ble det registrert griser med diaré, men ingen gjødelscore ble registrert høyere enn 3 på klassifiseringskalen til Pedersen og Toft (2011). Det var en tydelig økning i gjødelscore for samtlige dietter mellom uke 1 og 2, og en tilsvarende øking igjen mot slutten av forsøksperioden vist i figur 7.



Figur 7. Grafisk fremstilling av gjennomsnittlig gjødelscore for hver forsøksdiett gjennom hele forsøksperioden.

4.5 Leverindeks

En signifikant effekt av leverindeksen for kjønn ble funnet ($P < 0.05$), hvor kastratene hadde en høyere gjennomsnittlig leverindeks (2,74%) enn purkene (2,56%). Mens det ikke ble funnet noen forskjell mellom diettene på leverindeksen (figur 8).



Figur 8. Effekt av økende mengde insektmel i dietten på leverindeks hos avvente grisunger.

5. Diskusjon

Norge er i dag avhengig av importerte proteinrike ingredienser, noe som har vekket økt interesse for forskning og utvikling av lokalproduserte proteinkilder. Soyaandelen i norsk kraftfôr ligger i dag rundt 10 % (Felleskjøpet, 2019). Denne studien ser på potensialet til å bruke BSFL som en alternativ proteinkilde til soyamel og fiskemel, i pelleterte fôr til avvente smågriser.

5.1 Fôr og fôreffektivitet

I forsøket ble avvendte grisunger fôret i 4 uker på dietter med økende mengder insektmel. Diettene ble formulert til å være isonitrogene og isoenergetiske. Insektmelet erstattet proteiningrediensene i diettene, men det høye fettinnholdet i insektmelet i forhold til andre proteinkilder, førte til at mengden tilsatt fett også ble redusert med økningen av insektmel i diettene. Det relativt høye innholdet av protein og fett i BSFL, gjør det til en passende fôrkilde for husdyr, men også for fisk i følge Veldkamp et al. (2012). Et høyt fettinnhold begrenser imidlertid hvor mye insektmel som kan inkluderes i en diett til eksempelvis kylling og gris, siden det er en begrenset mengde fett som kan tilsettes en pellets før holdbarheten reduseres (Zimonja et al., 2007).

Kjemiske analyser av diettene viste mer eller mindre like resultater for de fire diettene, hvor størst forskjell ble funnet for innholdet av stivelse. Noe variasjon i innhold av råfett og NDF ble også funnet, samt noen forskjeller i innholdet av AA. I følge Diener et al. (2009), kan nitrogeninnholdet i kitin føre til en overestimering av proteininnholdet. Dette stemmer overens med analyseresultatet av RP i dette forsøket, hvor Insekt 20 hadde et høyere innhold av RP (184,7 vs. 175,6), som baseres på Kjeldahl-N. Forskjeller ble også funnet i fettsyrekomposisjonen, med varierende verdier for enkelte fettsyrer med økende innhold av insekter. Dette diskuteres videre under punkt 5.2. Forskjeller mellom de ulike parameterne kan også skyldes feil under fôrproduksjonen, hvor mange ulike ingredienser veies inn, mikses og pelleteres. Feil kan også ha oppstått ved uttak av representative prøver av fôret til analyse.

Flere studier har undersøkt effekten av BSFL i fôret til både fisk og fjørfe, mens kun få studier har undersøkt effekten av BSFL i fôr til gris. Inkludering av BSFL dietten har imidlertid blitt funnet å gi normal vekst hos både kylling (Hale, 1973), gris (Newton et al., 1977), og hos flere kommersielle fiskearter (Newton et al., 2005; St-Hilaire et al., 2007). I motsetning fant Kroeckel et al. (2012) at dietter med økende mengde BSFL, som erstatning for fiskemel, ga redusert vekst og fôropptak hos piggvar. Makkar et al. (2014) skriver at 25–100% soya- eller

fiskemel kan erstattes av insektmel, avhengig av dyrearten. Til sammenligning fant Newton et al. (1977) at BSFL var en passende ingrediens i fôr til gris i vekst, når BSFL utgjorde 33% av dietten som erstatning for soya. Dette spesielt grunnet innholdet av aminosyrer, lipider og Ca. Imidlertid fant de også at dietten inneholdt for lite metionin, cystin og treonin for å få en balansert diett, i tillegg til at askeinnholdet var noe høyt. Variasjoner i AA mengde og sammensetning kan skyldes hva insektene er dyrket på, som hentydet i litteraturen. Ved fôroptimering i dag brukes “least-cost”-optimering, hvor de balanserer og tilsetter krystallinske EAA (som det er gjort i dette forsøket). Dette gjør det lettere å få optimalisert dietter.

Resultatene i dette forsøket ga ingen signifikante effekter på verken daglig fôropptak, daglig tilvekst eller fôreffektivitet, for dietter med økende innhold av insektmel. Imidlertid ser det ut til at grisene fôret på Insekt 5 dietten spiste mindre sammenlignet med de andre diettene. Forsøksdiettene ble ikke tilsatt noe ekstra smakstilsetning for å bedre fôropptak etter avvenning, noe som er vanlig å gjøre i konvensjonell grisefôrproduksjon i Norge. Målet med dette var å se om smaken ved økt mengde insekt utgjorde noen forskjell i fôropptak. I tillegg kan produktene brukt som smakstilsetning inneholde substrater som kan maskere eller hindre andre effekter av insektene. I et fordøyelighets- og smakelighetsforsøk gjennomført av Newton et al. (1977), fikk grisunger valget mellom ulike dietter som inneholdt enten soyamel eller insektmel fra BSFL. Resultatene indikerer at grisunger foretrekker dietter tilsatt fett, og at BSFL var like velsmakende som en soyabasert diett. I tråd med dette fant Chia et al. (2019) at verken daglig fôropptak, tilvekst eller fôreffektivitet ble signifikant påvirket ved å erstatte ulike mengder fiskemel med BSFL mel.

Fôropptaket i uke 1 var lavere enn i de resterende forsøksukene. En årsak til dette kan være stress i forbindelse med ny diett og miljøendringer som; veiing, avvenning, nye binger, etablering av ny rangordning osv. (Weary et al., 2008). En annen faktor som kan ha påvirket fôropptaket, er forekomsten av ødemsjuka som inntraff i starten av forsøket. Ødemsjuka gir ofte redusert matlyst som følge av redusert almenntilstand, og ødem i slimhinnen i strupehodet kan også redusere eller hindre spising (Veterinærinstituttet, 2014). Forebyggende tiltak ble satt i gang ved mistanke og kun et fåtall griser viste symptomer.

Resultatene fra dette forsøket støtter hypotesen (H1) om at “Inkludering av insektmel vil gi lik fôreffekt hos avvendte smågriser”, da det ikke ble funnet noen negative effekter av å inkludere insekt i diettene. Dette støtter hovedhypotesen, om at insektmel kan erstatte proteinkilder av høy kvalitet i fôr til avvente smågriser.

5.2 Fordøyelighet

Det ble ikke funnet noen signifikant effekt av AID mellom forsøksdiettene, men noen numeriske forskjeller er verdt å trekke fram. Insekt 5 dietten hadde lavere numeriske verdier for AID for alle næringsstoffer, mens Kontroll-dietten hadde de høyeste numeriske verdiene for AID med unntak av fett og aske. I et annet fôringsforsøk på avvente smågris av Cruz et al. (2019), var de kjemiske analysene av kontrolldietten ganske lik kontrollen i dette forsøket, med unntak av et noe lavere fettinnhold og litt høyere stivelsesinnhold. Ved sammenligning av resultatene for AID mellom kontrolldiettene i forsøket til Cruz et al (2019) og dette forsøket, var AID av TS, aske, og råprotein litt lavere i dette forsøket, mens AID-stivelse var tilnærmet lik. Fôropptaket var også en del høyere i dette forsøket, noe som kan påvirke passasjehastigheten og dermed fordøyeligheten. I dette forsøket ble det også funnet en signifikant effekt av kjønn på AID av noen av næringsstoffene, hvor purkene hadde en høyere fordøyelighet av RP og fett sammenlignet med kastratene.

I motsetning til liten effekt av diett på AID av næringsstoffer, var det derimot en del signifikante resultater for ATTD. Dette kan forklares med at ulike komponenter i insekter (f.eks. kitin og antimikrobielle peptider), kan påvirke tykktarmens mikrobiota. I et forsøk ble det registrert endringer i tarmmikrobiota hos kyllinger fôret med dietter inneholdende BSFL Kawasaki et al. (2019). De insektholdige diettene hadde numerisk lavere verdier for AID-RP sammenlignet med Kontroll, mens det for ATTD-RP ble funnet en signifikant effekt av diett der ATTD-RP ble redusert med økende mengde insektmel. Grisene som mottok Insekt 20 dietten hadde den laveste ATTD-RP blant forsøksdiettene. Reduksjonen i ATTD-RP med økt mengde insektmel kan skyldes mindre tilgjengelig nitrogen i diettene. Dette da det antagelig er en større del av nitrogenet som er bundet til kitin, som har en struktur som er mindre fordøyelig for grisen (Diener et al., 2009; Finke, 2013; Huq et al., 2013). Kitin kan virke som en anti-ernæringsmessig faktor i fôr til enmagede dyr, og hos slaktekylling som er fôret på dietter med kitin er det rapportert redusert fordøyelighet av RP (Bovera et al., 2015; Razdan & Pettersson, 1994; Schiavone et al., 2017a) og organisk materiale (Razdan & Pettersson, 1994).

Få studier har undersøkt ileal fordøyelighet av fett hos smågris, mens flere har undersøkt ATTD av fett. ATTD-fett hos smågrisen som mottok kontroll-dietten i studien til Cruz et al. (2019) lå på 79,1%, mens den lå på 75,8% i dette forsøket. Til sammenligning opererte Cruz et al. (2019) med et fettinnhold i Kontroll-dietten på 39 g fett per kg, men i dette forsøket var det henholdsvis 61 g fett per kg for Kontroll-dietten. En årsak til lavere ATTD-fett i dette forsøket kan skyldes det mye høyere fettinnholdet i fôret. Forskjeller i fettsyresammensetning ble også funnet innad

i diettene under dette forsøket. Det totale innholdet av FS var ganske likt, med størst forskjell mellom Kontrollen (65,4g/kg) og Insekt 20 (68,7g/kg). Sum mettede FS økte tydelig med økende dose insektmel (Kontroll=16,9; Insekt 5=21,3; Insekt 10=25,6; og Insekt 20=35,3/kg). Den mettede FS C12:0 (laurinsyre) utgjør mesteparten av forskjellen mellom diettene, men sett bort fra denne inneholder diettene omtrent like mye mettede FS. Dette stemmer med hva Spranghers et al. (2017) skriver i sin artikkel, om at BSFL inneholder mye C12:0 i “prepupae” stadiet. I motsetning vises en reduksjon i summen av PUFA med økende dose insektmel (Kontroll= 47,3; Insekt 20= 32,1g FS/kg). Makkar et al. (2014) sammenlignet resultater fra flere forsøk som hadde undersøkt innholdet av FS i BSFL produsert på ulike typer fôr. BSFL produsert på kun kugjødsele inneholdt 21% C12:0, 16% C16:0, 32% C18:1 og 0,2% omega-3 FS, mens andelen lå på henholdsvis 43%, 11%, 12% og 3% for BSFL fôret med 50/50 slakterester fra fisk og kugjødsele. Dette kan tyde på at det er mulig å øke mengden umettede fettsyrer i BSFL ved å føre dem opp på fiskeavfall (St-Hilaire et al., 2007).

Fettsyresammensetning i fôr gjenspeiles i kjøttet hos gris, kylling og fisk (Csapó et al., 2000; Warriss, 2010). Det vestlige humankostholdet har de siste årene gitt mer omega 6 FS (n-6) i forhold til omega 3 (n-3), hvor mer n-3 FS hadde vært fordelaktig (Warriss, 2010). I dette forsøket inneholdt diettene mer n-6 FS enn n-3 FS. Mengden n-6 FS var relativt lik for alle diettene, mens innholdet av omega 3 FS ble redusert med økt mengde insektmel i diettene. En økning i forholdet mellom n-6/n-3 med økt mengde insektmel skyldes trolig en tilsvarende reduksjon i fiskemel. Ifølge Yang et al. (2016) er det fordelaktig med et n-6/n-3-forhold på mindre enn 5:1 for human helse, hvor Kontroll- og Insekt 5 diettene havnet innenfor anbefalingen i dette forsøket. Dette forsøket ble utført med smågris like etter avvenning og for slaktegris vil det være viktigere å designe dietter som har en mer gunstig fettsyreprofil.

Fordøyelighetsresultatene for fett viste en høyere fordøyelighet av fett i ileum (litt over 80%), enn i gjødsele (ATTD-fett; 76-80%). Variasjonen lå på mellom 3,7 - 6,9% høyere fordøyelighet i ileum enn i “total-tract”. For de andre parameterne er ATTD høyere enn AID. Noe av forandringen i fordøyeligheten av fett kan forklares ved at det er en netto-syntese av lipider i baktarmen hos griser, fra ufordøyd stivelse/fiber som fermenteres av mikrober som produserer VFA, samt at mikrobene også inneholder lipider (McDonald et al., 2011; Aabakken, 2019). Dette har blitt vist flere ganger ved hjelp av fordøyelighetsforsøk, hvor blant annet Shi og Noblet (1993) bekrefter at fett kun fordøyes og absorberes i tynntarmen. Dette resulterer i et høyere fettinnhold i gjødsele og dermed lavere total fordøyelighet.

Det var en signifikant effekt av forsøksdiett på ATTD-stivelse, men forskjellen mellom diettene er mindre enn ett prosentpoeng. Liten variasjon ble funnet innad i forsøksgruppene ($SE=0,02$). Fordøyelsen av stivelse i dette forsøket var nær 100%, og var forventet ut i fra litteraturen (Knudsen et al., 2012; Wiseman, 2006). AID-stivelse varierte mellom 94-97%, mens alle diettene lå på 99% for ATTD-stivelse. Fordøyeligheten av aske var også en del høyere for ATTD en AID, og ATTD-aske var signifikant for diett. Insekt 5 dietten hadde den laveste AID-aske på 17,3%, mens de andre diettene lå nærmere 30%. Generelt var det også stor individuell variasjon i AID-aske. Ser man på resultatene for ATTD-aske var forskjellene mindre, hvor samtlige dietter lå rundt 59%. Det ble også funnet en signifikant effekt av diett for ATTD av total-P, hvor fordøyeligheten og absorpsjon av fosfor økte med mengde BSFL. Dette betyr at fosfor i insektmel har en høy biotilgjengelighet i motsetning til planteingredienser som har en lav fordøyelighet av fosfor, og det er derfor ofte tilsatt enzymer for å friggi fosfor (Barletta, 2010; Simons et al., 1990).

Som beskrevet i Material og Metode, var det forskjell på om grisene hadde tilgang til flis eller ikke i bingene. Det ble funnet en signifikant effekt av flis på ATTD-RP, hvor fordøyeligheten av RP økte med tilgang på flis. I tillegg hadde purkene en signifikant høyere ATTD-RP sammenlignet med kastratene. Denne effekten er imidlertid ikke diskutert ytterligere i denne oppgaven. Det ble også funnet en signifikant effekt av flis for ATTD-ADF, hvor grisene i binger uten flis hadde høyere fordøyelighet av ADF på 31,6%. Grisene med flis hadde derimot en lavere fordøyelighet på 24,8%. Ved inntak av en del sagflis vil det føre til mer fiber i tarmen, og dette kan blant annet ha påvirket fordøyelighetsverdien av spesielt fiber. Parameteren flis påvirket også ATTD av aske, fett og total-P signifikant. Ved høyt inntak av flis blir det høyt innhold av fiber i tarmen, noe som uttynner mengden av næringsstoffer i gjødsel. Dermed blir de kalkulerte ATTD verdiene litt høyere.

Resultatene for AID viste ingen forskjeller mellom diettene, noe som støtter hypotesen (H2) om at “Å inkludere insektmel vil resultere i lik fordøyelighet hos avvendte grisunger”. I motsetning viste resultatet ved å øke mengde insektmel i fôret reduserte ATTD av RP, men ATTD av fett økte. Til tross for dette ble ikke påvist noen forskjeller i vekst, noe som kan ha sammenheng med den korte forsøksperioden. En mulig feilkilde i resultatene for både AID og ATTD kan være usikkerhet rundt tilsetning og/eller analyse av markøren (yttrium).

5.3 Helse

Etter behandlingen av ødemsjuke, så grisungene generelt friske og raske ut gjennom resten av forsøksperioden. Det var noen tilfeller av diaré hos enkelt individer, men det kommer ikke frem av gjødselscore som ble registrert binge vis. Generelt var de hygieniske forholdene gode og infeksjonstrykket relativt lavt gjennom forsøket. Inklusjon av insektmel hadde ingen effekt på leverindeks, men det ble imidlertid funnet at kastratene hadde høyere leverindeks enn purkene. Dette er også tidligere rapportert i forsøk med griser i tilsvarende periode etter avvenning (Håkenåsen, 2017).

Resultatene fra dette forsøket viste en markant økning i gjødselscore mellom uke 1 og 2 for alle forsøksdiettene, og noen økninger ble registrert helt på slutten av forsøksperioden. Økningen i gjødselscore den første uken samsvarer med den kritiske perioden for avvenningsdiaré. De høyeste gjennomsnittlige gjødselscorene for samtlige dietter ble registrert på dag fire i forsøket. Forekomsten av avvenningsdiaré inntreffer som oftest rundt dag 4-9 etter avvenning ifølge Madec et al. (1998). Perioden med økt gjødselscore mot slutten av forsøket var når det ble samlet daglige gjødselprøver til ATTD. Prøvetakingen kan ha gitt økt stress på grunn av mye menneskelig håndtering og flytting, og antas derfor å være årsaken til økningen av gjødselscore i denne perioden. En annen svakhet ved gjødselscoringen i forsøket kan være at flere ulike observatører gjennomførte scoringen de ulike dager. Selv om det benyttes en klassifiseringsskala, som personene på forhånd er gjort kjent med, er ikke scoringen fullstendig objektiv. Dette er også diskutert av Pedersen og Toft (2011).

Gjødsel til TS-prøver ble samlet dag 7, 14, 21 og 28, og er derfor ikke representative for hele uken i motsetning til gjødselscore som ble registrert hver dag, og er et gjennomsnitt for uken. Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom diettene for TS-prøvene av gjødsel, men for første forsøksuke ble det funnet en negativ lineær sammenheng mellom inkluderingsnivå av insektmel og TS % i gjødsel. Videre ble denne sammenhengen redusert de påfølgende ukene forsøksperioden. Denne sammenhengen kan tyde på et høyere stressnivå den første uken, men det ble ikke videre undersøkt i dette forsøket.

På grunn av forskifte fra melk til fast føde, blir et nytt mikrobielt samfunn etablert i tarmkanalen etter avvenning. Å fremme et godt miljø for mikrobiota er viktig ettersom det bidrar i kampen mot kolonisering av sykdomsfremkallende bakterier i fordøyelseskanalen (Heo et al., 2012; Rist et al., 2013). Ji et al. (2016) rapporterte om en markant reduksjon i diaré hos avvenningsgriser fra dag 15 til dag 28 i forsøket på grunn av dietter tilsatt “yellow mealworm”, “giant mealworm” og “melhousefly meal”, og tilskrev dette resultatet til insektenes

antimikrobielle peptider. I følge Razdan og Pettersson (1994) og Wang et al. (2016) kan antimikrobielle peptider i insekter forbedre tilvekst, fremme fordøyeligheten av næringsstoffer og tarmens helse, endre tarmmikrobiota positivt og forbedre immunfunksjonen hos gris og slaktekylling (Wang et al., 2016). Det er få vitenskapelige artikler som har tatt for seg hvilken prebiotisk effekt BSFL har i dietter til smågris, noe som gir et grunnlag for videre forskning innen denne insektsarten.

I litteraturen er det nevnt at insekter inneholder en del kitin, og kan påvirke tarmfloraen da kitin er tungt fordøyelig. I et forsøk med fisk har kitin vist positive effekter på blant annet ytelse og helse, ved at patogenvekst ble redusert ved å øke veksten av gunstige tarmmikrobiota (Karlsen et al., 2017). I tråd med dette skriver Huis et al. (2013) at kitin kan ha en positiv effekt på immunforsvarets funksjon, ikke bare hos fisk, men også hos kylling. Ytterligere forskning rundt effekten av BSFL i dietter til gris er nødvendig for å kunne trekke klare konklusjoner. Denne oppgaven er en del av et større forsøk hvor mikrobiotakomposisjonen også skal analyseres (v.h.a. sekvensering av genet som koder for 16S ribosomalt RNA), noe som kan gi et større grunnlag til å se videre effekter av BSFL i fôr til gris.

Med bakgrunn i litteraturen ble det antatt at “Inkludering av insektmelet i fôret vil resultere i forbedret helse og redusere avvenningsdiaré hos avvendte grisunger” (H3). Resultatene i dette forsøket kan ikke bekrefte H3, da ingen signifikante forskjeller av diett på verken TS i gjødsel eller gjødselscoreing ble funnet. Til tross for små numeriske forskjeller ble det funnet en negativ korrelasjon med %TS i gjødsel med økende mengde insektmel i dietten den første uken, men det gir ikke grunnlag nok til å kunne konkludere med at insektmelet alene har påvirket resultatet i dette forsøket.

6. Konklusjon

Resultatene i dette forsøket viser at å inkludere opp til 19 % insektmel av BSFL i en balansert diett til smågris, hadde ingen innvirkning på fôropptak, tilvekst eller helse i en fireukers periode etter avvenning. Ingen forskjeller ble funnet mellom diettene for AID av ulike næringsstoffer, mens økende mengde insektmel i fôret reduserte ATTD av RP, mens ATTD av fett økte. Som diskutert, kan høyt kitin-innhold i BSFL bidra til å forklare forskjellene i proteinfordøyelighet, mens forskjeller i fettsyresammensetning mellom diettene kan bidra til å forklare forskjellene i fettfordøyelighet. På bakgrunn av produksjons- og helseresultatene, kan det konkluderes med at BSFL kan være en egnet protein- og fettkilde i fôr til avvente smågris.

7. Videre forskning

Denne masteroppgaven er en del av et større forsøk, og i tillegg til presenterte resultater vil det bli undersøkt aktivitet av fordøyelsesenzymer i tynntarm, samt innhold av flyktige fettsyrer og mikrobiota sammensetning i tykktarmen.

8. Litteraturliste

- Ahlstrøm, Ø. & Skrede, A. (1998). Comparative nutrient digestibility in dogs, blue foxes, mink and rats. *The Journal of nutrition*, 128: 2676S-2677S.
- Arango Gutiérrez, G. P., Vergara Ruiz, R. A. & Mejía Vélez, H. (2004). Compositional, microbiological and protein digestibility analysis of the larva meal of *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) at Angelópolis-Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57 (2): 2491-2500.
- Austreng, E., Storebakken, T., Thomassen, M. S., Refstie, S. & Thomassen, Y. (2000). Evaluation of selected trivalent metal oxides as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids. *Aquaculture*, 188 (1): 65-78. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00336-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00336-7).
- Banks, I. J. (2014). *To assess the impact of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae on faecal reduction in pit latrines*. Doctor Thesis. London School of Hygiene and Tropical Medicine. 23-231. doi: <https://doi.org/10.17037/PUBS.01917781>
- Barletta, A. (2010). Introduction: Current market and expected developments. I: Bedford, M. R. & Partridge, G. G. (red.) *Enzymes in farm animal nutrition*, 2nd edition, s. 1-11. Wallingford: CABI.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67 (1): 65482. doi: 10.18637/jss.v067.i01.
- Bedford, M. R. & Schulze, H. (1998). Exogenous enzymes for pigs and poultry. *Nutrition Research Reviews*, 11 (1): 91-114. doi: <https://doi.org/10.1079/NRR19980007>.
- Bedford, M. R. (2000). Exogenous enzymes in monogastric nutrition — their current value and future benefits. *Animal Feed Science and Technology*, 86 (1): 1-13. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00155-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00155-3).
- Boisen, S., Hvelplund, T. & Weisbjerg, M. R. (2000). Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livestock Production Science*, 64 (2): 239-251. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00146-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00146-3).
- Bourne, F. (1976). Humoral immunity in the pig. *The Veterinary Record*, 98 (25): 499-501. doi: <http://dx.doi.org/10.1136/vr.98.25.499>.
- Bovera, F., Piccolo, G., Gasco, L., Marono, S., Loponte, R., Vassalotti, G., Mastellone, V., Lombardi, P., Attia, Y. & Nizza, A. (2015). Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *British poultry science*, 56 (5): 569-575. doi: <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1080815>.
- Braude, R., Chamberlain, A., Kotarbińska, M. & Mitchell, K. (1962). The metabolism of iron in piglets given labelled iron either orally or by injection. *British Journal of Nutrition*, 16: 427-449. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19620043>.

- Brits, D. (2018). *What the heck is a Black Soldier Fly (Hermetia illucens)*. SoldierFly Technologies. Tilgjengelig fra: <https://soldierfly.com/what-the-heck-is-a-black-soldier-fly-hermetia-illucens/> (Bilde hentet 18.11.2019).
- Ceva Santé Animal. (2012). *Borgal vet*. Felleskatalogen. Tilgjengelig fra: <https://www.felleskatalogen.no/medisin-vet/borgal-vet-ceva-santee-animale-547049> (lest 25.10.19).
- Chernysh, S., Gordya, N. & Suborova, T. (2015). Insect antimicrobial peptide complexes prevent resistance development in bacteria. *PLOS ONE*, 10: e0130788. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130788>.
- Chia, S., Tanga, C., Osuga, I., Alaru, A., Mwangi, D., Githinji, M., Subramanian, S., Fiaboe, K., Ekesi, S., van Loon, J., et al. (2019). Effect of dietary replacement of fishmeal by insect meal on growth performance, blood profiles and economics of growing pigs in Kenya. *Animals*, 9 (10): 705. doi: <https://doi.org/10.3390/ani9100705>.
- European commission. (2017). Oilseeds and protein crops market situation. Committee for the Common Organisation of Agricultural Markets. Tilgjengelig fra: https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/cereals/presentations/cereals-oilseeds/market-situation-oilseeds_en.pdf.
- Cruz, A., Håkenåsen, I. M., Skugor, A., Mydland, L. T., Åkesson, C. P., Hellestveit, S. S., Sørby, R., Press, C. M. & Øverland, M. (2019). *Candida utilis* yeast as a protein source for weaned piglets: Effects on growth performance and digestive function. *Livestock Science*, 226: 31-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.06.003>.
- Csapó, J., Húsvéth, F., Csapó-Kiss, Z., Horn, P., Házas, Z. & Varga-Visi, É. (2000). Fatty acid composition and cholesterol content of the fat of pigs of various genotypes. I: Wenk, C., Fern, J. A. & Dupuis, M. (red.) *Quality of meat and fat in pigs as affected by genetics and nutrition: proceedings of the joint session of the EAAP commissions on pig production, animal genetics and animal nutrition*. Zurich, Switzerland, 25 August 1999. (No. 100): Wageningen Academic Pub.
- CVB. (2007). Chemische samenstellingen en nutritionele waarden van voedermiddelen. *CVB Veevoedertabel 2007*, Productschap Diervoeder, Den Haag, The Netherlands.
- Diener, S., Zurbrugg, C. & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, 27 (6): 603-610. doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>.
- Elferink, E., Nonhebel, S. & Moll, H. (2008). Feeding livestock food residue and the consequences for the environmental impact of meat. *Journal of Cleaner Production*, 16 (12): 1227-1233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.06.008>.
- FAO. (2009-ed). How to feed the world 2050: Global agriculture towards 2050. 2-3. Tilgjengelig fra: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf (lest 12.09.2019).

- FAO. (2017). *The state of food and agriculture*. Leveraging food systems for inclusive rural transition. Rome, Italy: Food and Agriculture Organisation. Tilgjengelig fra: <http://www.fao.org/3/a-I7658e.pdf>.
- Felleskjøpet. (2019). *Fakta om soya*. Tilgjengelig fra: <https://www.felleskjopet.no/om-felleskjopet/barekraftig-landbruk-soya-og-palmeolje/fakta-om-soya/> (lest 04.12.2019).
- Ferrarezi, R., Cannella, L., Nassef, A. & Bailey, D. (2016). *UVI/AES Annual Report 2016 - Alternative Sources of Food for Aquaponics in the U.S. Virgin Islands: A Case Study with Black Soldier Flies*. Agricultural Experiment Station: University of the Virgin Islands.
- Finke, M. D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology: Published in affiliation with the American Zoo and Aquarium Association*, 21 (3): 269-285. doi: <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>.
- Finke, M. D. (2013). Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo biology*, 32: 27-36. doi: <https://doi.org/10.1002/zoo.21012>.
- Gasco, L., Finke, M. & Van Huis, A. (2018). Can diets containing insects promote animal health? *Journal of Insects as Food and Feed*, 4 (1): 1-4. doi: doi: 10.3920/JIFF2018.x001.
- Gjefsen, T. (1998). Fôringslære. I: *Landbruksforlaget*, s. 239-240.
- Hale, O. (1973). Dried *Hermetia illucens* larvae (*Diptera: Stratiomyidae*) as a feed additive for poultry. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 8: 16-20.
- Hampson, D. (1986). Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. *Research in veterinary science*, 40 (1): 32-40. doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)30482-X](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)30482-X).
- Hampson, D. & Kidder, D. (1986). Influence of creep feeding and weaning on brush border enzyme activities in the piglet small intestine. *Research in veterinary science*, 40 (1): 24-31. doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)30481-8](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)30481-8).
- Hendriks, W. H. & Sritharan, K. (2002). Apparent ileal and fecal digestibility of dietary protein is different in dogs. *The Journal of nutrition*, 132 (6): 1692S-1694S. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/132.6.1692S>.
- Heo, J. M., Opapeju, F. O., Pluske, J., Kim, J. C., Hampson, D. & Nyachoti, C. M. (2012). Gastrointestinal health and function in weaned pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 97 (2): 207-337. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01284.x>.
- Hill, G., Link, J., Meyer, L. & Fritsche, K. (1999). Effect of vitamin E and selenium on iron utilization in neonatal pigs. *Journal of animal science*, 77 (7): 1762-1768. doi: <https://doi.org/10.2527/1999.7771762x>.

- Huis, A. V., Itterbeeck, J. V., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171)*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Tilgjengelig fra: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/258042> (lest 16.10.2019).
- Huis, A. V. & Tomberlin, J. (2017). The potential of insects as food and feed. I: *Insects as food and feed: from production to consumption*, s. 25-59: Wageningen Academic Publishers.
- Huq, T., Khan, A., Khan, R. A., Riedl, B. & Lacroix, M. (2013). Encapsulation of probiotic bacteria in biopolymeric system. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (9): 909-916. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.573152>.
- Håkenåsen, I. M. (2017). *Feed intake, nutrient digestibility, growth performance and general health of piglets fed increasing levels of yeast*. Master thesis. Ås: Norwegian University of Life Sciences.
- James, P., Smith, M., Tivey, D. & Wilson, T. (1987). Epidermal growth factor selectively increases maltase and sucrase activities in neonatal piglet intestine. *The Journal of physiology*, 393 (1): 583-594. doi: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1987.sp016842>.
- Jensen, P. (1986). Observations on the maternal behaviour of free-ranging domestic pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 16 (2): 131-142. doi: [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(86\)90105-X](https://doi.org/10.1016/0168-1591(86)90105-X).
- Ji, Y., Liu, H., Kong, X., Blachier, F., Geng, M., Liu, Y. & Yin, Y. (2016). Use of insect powder as a source of dietary protein in early-weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 94 (3): 111-116. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9555>.
- Karlsen, Ø., Amlund, H., Berg, A. & Olsen, R. E. (2017). The effect of dietary chitin on growth and nutrient digestibility in farmed Atlantic cod, Atlantic salmon and Atlantic halibut. *Aquaculture research*, 48 (1): 123-133. doi: <https://doi.org/10.1111/are.12867>.
- Kawasaki, K., Hashimoto, Y., Hori, A., Kawasaki, T., Hirayasu, H., Iwase, S.-I., Hashizume, A., Ido, A., Miura, C., Miura, T., et al. (2019). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and pre-pupae raised on household organic waste, as potential ingredients for poultry feed. *Animals (Basel)*, 9 (3): 98. doi: <https://doi.org/10.3390/ani9030098>.
- Kierulf, P. S., Birger. (2019). *Proteiner - ernæring*. I Store medisinske leksikon. Tilgjengelig fra: https://sml.snl.no/proteiner_-_ern%C3%A6ring (lest 28.10.2019).
- Knudsen, K. E. B., Lærke, H. N. & Jørgensen, H. (2012). Carbohydrates and carbohydrate utilization in swine I: Chiba, L. I. (red.) *Sustainable swine nutrition*, s. 109-137. Wiley-Blackwell: John Wiley & Sons, Ames, IA.
- Kroeckel, S., Harjes, A. G. E., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A. & Schulz, C. (2012). When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute — Growth performance and

- chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 364-365: 345-352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>.
- Lallès, J.-P., Bosi, P., Smidt, H. & Stokes, C. R. (2007a). Nutritional management of gut health in pigs around weaning. *Proceedings of the Nutrition Society*, 66 (2): 260-268. doi: <https://doi.org/10.1017/S0029665107005484>.
- Lallès, J.-P., Bosi, P., Smidt, H. & Stokes, C. R. (2007b). Weaning — A challenge to gut physiologists. *Livestock Science*, 108 (1): 82-93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.091>.
- Landbruksdepartementet. (2003). *Forskrift om hold av svin*. FOR 2003-02-18 nr. 175: §9. Avvenning. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-02-18-175>.
- Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J. K. & Yu, Z. (2011). Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) for biodiesel and sugar production. *Waste management*, 31 (6): 1316-1320. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.005>.
- Li, S., Sauer, W., Huang, S. & Gabert, V. (1996). Effect of β -glucanase supplementation to hullless barley-or wheat-soybean meal diets on the digestibilities of energy, protein, β -glucans, and amino acids in young pigs. *Journal of Animal Science*, 74 (7): 1649-1656. doi: <https://doi.org/10.2527/1996.7471649x>.
- Lindemann, M. D., Cornelius, S. G., El Kandelgy, S. M., Moser, R. L. & Pettigrew, J. E. (1986). Effect of age, weaning and diet on digestive enzyme levels in the piglet. *Journal of Animal Science*, 62 (5): 1298-1307. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1986.6251298x>.
- Madec, F., Bridoux, N., Bounaix, S. & Jestin, A. (1998). Measurement of digestive disorders in the piglet at weaning and related risk factors. *Preventive Veterinary Medicine*, 35 (1): 53-72. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(97\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(97)00057-3).
- Makkar, H. P., 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>.
- Manners, M. & Stevens, J. (1972). Changes from birth to maturity in the pattern of distribution of lactase and sucrase activity in the mucosa of the small intestine of pigs. *British journal of nutrition*, 28 (1): 113-127. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19720014>.
- Mattilsynet. (2017). *Insekter til bruk i fôr*. Tilgjengelig fra: https://www.mattilsynet.no/dyr_og_dyrehold/for/insekter_til_bruk_i_for.25298 (lest 22.11.2019).
- Maynard, L., Loosli, J., Hintz, H. & Warner, R. (1979). *Animal Nutrition*. 7 utg. New York: McGraw-Hill.

- McCleary, B. V., Solah, V. & Gibson, T. S. (1994). Quantitative measurement of total starch in cereal flours and products. *Journal of Cereal Science*, 20 (1): 51-58. doi: <https://doi.org/10.1006/jcrs.1994.1044>.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A. & Wilkinson. (2011). *Animal nutrition*. 7th ed. utg. Harlow: Prentice Hall.
- Medel, P., Latorre, M., De Blas, C., Lázaro, R. & Mateos, G. (2004). Heat processing of cereals in mash or pellet diets for young pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 113 (1-4): 127-140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.08.005>.
- Mertens, D. R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC international*, 85 (6): 1217-1240.
- Montagne, L., Pluske, J. & Hampson, D. (2003). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, 108 (1-4): 95-117. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00163-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00163-9).
- Mosenthin, R., Sauer, W., Blank, R., Huisman, J. & Fan, M. (2000). The concept of digestible amino acids in diet formulation for pigs. *Livestock Production Science*, 64 (2-3): 265-280. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00139-6](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00139-6).
- Nabuurs, M., Hoogendoorn, A., Van der Molen, E. & Van Osta, A. (1993). Villus height and crypt depth in weaned and unweaned pigs, reared under various circumstances in the Netherlands. *Research in veterinary science*, 55 (1): 78-84. doi: [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(93\)90038-H](https://doi.org/10.1016/0034-5288(93)90038-H).
- Nasseri, A., Rasoul-Amini, S., Moromvat, M. & Ghasemi, Y. (2011). Production of single cell protein from fruits waste. *Am. J. Food Technol*, 6 (2): 103-116.
- Newton, G. L., Booram, C., Barker, R. & Hale, O. (1977). Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science*, 44: 395-400. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1977.443395x>.
- Newton, G. L., Sheppard, C., Watson, D. W., Burtle, G. & Dove, R. (2005). *Using the black soldier fly, Hermetia illucens, as a value-added tool for the management of swine manure*
- . Report for mike williams. Animal and poultry waste management center: North carolina state university, Raleigh, NC 17
- Newton, G. L., Sheppard, D. C. & Burtle, G. (2008). Black soldier fly prepupae: a compelling alternative to fish meal and fish oil. *NOAA alternative feeds initiative*: 17.
- Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K. & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*, 44(2), pp.406-410. *Environmental Entomology*, 44 (2): 407-410. doi: <https://doi.org/10.1093/ee/nvv002>.

- NRC. (2012). *Nutrient requirements of swine: Eleventh Revised Edition*. Washington, DC: National Academies Press.
- Oonincx, D. G., Van Iterbeeck, J., Heetkamp, M. J., Van Den Brand, H., Van Loon, J. J. & Van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS one*, 5 (12): e14445. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>.
- Paoletti, M. G. (2005). *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. CRC Press, New Hampshire: Science Publishers. Tilgjengelig fra: <https://woven-network.co.uk/wp-content/uploads/2015/08/Paoletti-2005-BOOK-Ecological-Implications-of-Minilivestock-Potential-of-Insects-Rodents-Frogs-and-Snails-1.pdf>.
- Patrick, C. (2015). *Black soldier fly basic Facts*. Tilgjengelig fra: <https://github.com/TinyFarms/OpenBugFarm/wiki/Black-soldier-fly-basic-Facts> (Bilde hentet 18.11.2019).
- Paulk, A. & Gilbert, C. (2006). Proprioceptive encoding of head position in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.)(*Stratiomyidae*). *Journal of experimental biology*, 209 (19): 3913-3924. doi: 10.1242/jeb.02438.
- Pedersen, C., Vinyeta, E. & Gerritsen, R. (2010). Comparison of the slaughtering and the T-cannulation methods on ileal digestibility of nutrients in pigs. *Energy and protein metabolism and nutrition*: 411.
- Pedersen, K. S. & Toft, N. (2011). Intra- and inter-observer agreement when using a descriptive classification scale for clinical assessment of faecal consistency in growing pigs. *Preventive Veterinary Medicine*, 98 (4): 288-291. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.11.016>.
- Pluske, J., Williams, I. & Aherne, F. (1996a). Maintenance of villous height and crypt depth in piglets by providing continuous nutrition after weaning. *Animal Science*, 62 (1): 131-144. doi: <https://doi.org/10.1017/S1357729800014417>.
- Pluske, J., Williams, I. & Aherne, F. (1996b). Villous height and crypt depth in piglets in response to increases in the intake of cows' milk after weaning. *Animal Science*, 62 (1): 145-158. doi: <https://doi.org/10.1017/S1357729800014429>.
- Pluske, J. R., Hampson, D. J. & Williams, I. H. (1997). Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livestock production science*, 51 (1-3): 215-236. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00057-2).
- R Core Team. (2017). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Tilgjengelig fra: <https://www.R-project.org/>.
- Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R. & Pino, J. M. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler

- chickens. *Journal of economic entomology*, 95 (1): 214-220. doi: <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214>.
- Razdan, A. & Pettersson, D. (1994). Effect of chitin and chitosan on nutrient digestibility and plasma lipid concentrations in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, 72 (2): 277-288. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19940029>.
- Rist, V. T. S., Weiss, E., Eklund, M. & Mosenthin, R. (2013). Impact of dietary protein on microbiota composition and activity in the gastrointestinal tract of piglets in relation to gut health: a review. *animal*, 7 (7): 1067-1078. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731113000062>.
- Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F. G. & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65: 16-27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>.
- Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S. & Gasco, L. (2017a). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16 (1): 93-100. doi: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1249968>.
- Schiavone, A., De Marco, M., Martínez, S., Dabbou, S., Renna, M., Madrid, J., Hernandez, F., Rotolo, L., Costa, P. & Gai, F. (2017b). Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. *Journal of animal science and biotechnology*, 8: 51.
- SEGES Svineproduktion. (2013). Ødem / *E. Coli* Enterotoksemi. Tilgjængelig fra: https://svineproduktion.dk/viden/om-grisen/sygdomme-og-behandling/mave_tarmsystemet/oedemsyge (lest 10.10.2019).
- Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C. & Sumner, S. M. (2002). Rearing methods for the black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*). *Journal of Medical Entomology*, 39 (4): 695-698. doi: <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>.
- Shi, X. S. & Noblet, J. (1993). Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: effect of diet composition. *Livestock Production Science*, 34 (3): 237-252. doi: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(93\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0301-6226(93)90110-4).
- Simons, P., Versteegh, H. A., Jongbloed, A. W., Kemme, P., Slump, P., Bos, K., Wolters, M., Beudeker, R. & Verschoor, G. (1990). Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *British Journal of Nutrition*, 64 (2): 525-540. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19900052>.
- Smith, M. (1984). Effect of postnatal development and weaning upon the capacity of pig intestinal villi to transport alanine. *The Journal of Agricultural Science*, 102 (3): 625-633. doi: <https://doi.org/10.1017/S0021859600042179>.

- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Oryn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P. & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97: 2594-2600. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Tomberlin, J. K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C. & Irving, S. (2007). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38 (2): 309-313. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>.
- Statens legemiddelverk. (2019). *Mangel på Borgal vet injeksjonsvæske*. Tilgjengelig fra: <https://legemiddelverket.no/nyheter/mangel-pa-borgal-vet-injeksjonsveske> (lest 25.10.19).
- Stein, H. H., Fuller, M., Moughan, P., Sève, B., Mosenthin, R., Jansman, A., Fernández, J. & De Lange, C. (2007). Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livestock science*, 109 (1-3): 282-285.
- Stokes, C. R., Bailey, M., Haverson, K., Harris, C., Jones, P., Inman, C., Pié, S., Oswald, I. P., Williams, B. A. & Akkermans, A. D. (2004). Postnatal development of intestinal immune system in piglets: implications for the process of weaning. *Animal Research*, 53 (4): 325-334. doi: <https://doi.org/10.1051/animres:2004020>.
- Suman, G., Nupur, M., Anuradha, S. & Pradeep, B. (2015). Single cell protein production: a review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 4 (9): 251-262.
- Svihus, B. (2010). Effect of digestive tract conditions, feed processing and ingredients on response to NSP enzymes. I: Bedford, M. R. & Partridge, G. (red.) *Enzymes in farm animal nutrition*, s. 129-159. Wallingford: CABI.
- Svihus, B. & Zimonja, O. (2011). Chemical alterations with nutritional consequences due to pelleting animal feeds: A review. *Animal Production Science*, 51 (7): 590-596. doi: <https://doi.org/10.1071/AN11004>.
- Tonk, M. & Vilcinskis, A. (2017). The medical potential of antimicrobial peptides from insects. *Current topics in medicinal chemistry*, 17 (5): 554-575.
- Varley, M. A. (1995). *The neonatal pig: development and survival*: CAB international.
- Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., Van Huis, A., Lakemond, C., Ottevanger, E., Bosch, G. & Van Boekel, T. (2012). Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets: a feasibility study. *Wageningen UR Livestock Research*.
- Veldkamp, T. & Bosch, G. (2015). Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*, 5 (2): 45-50.
- Veterinærinstituttet. (2014). *Diaré hos griser etter avvenning*. I: Reitehaug, E. (red.). Tilgjengelig fra: <http://multiconsult.eurest.no/nor/Temasider/Svin/Fakta-om->

svinesykdommer/Mage-tarmlidelser/Diare-hos-griser-etter-avvenning.html (lest 09.10.2019).

- Vhile, S., Skrede, A., Ahlstrøm, Ø. & Hove, K. (2005). Comparative apparent total tract digestibility of major nutrients and amino acids in dogs (*Canis familiaris*), blue foxes (*Alopex lagopus*) and mink (*Mustela vison*). *Animal Science*, 81: 141-148. doi: <https://doi.org/10.1079/ASC42220141>.
- Vhile, S., Skrede, A., Ahlstrøm, Ø. & Hove, K. (2007). Yttrium oxide (Y₂O₃) as an inert marker in digestibility studies with dogs, blue foxes and mink fed diets containing different protein sources. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 91 (9-10): 381-389. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2006.00665.x>.
- Wang, S., Zeng, X., Yang, Q. & Qiao, S. (2016). Antimicrobial peptides as potential alternatives to antibiotics in food animal industry. *International journal of molecular sciences*, 17 (5): 603. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms17050603>.
- Warriss, P. D. (2010). *Meat Science: An Introductory Text*. 2 utg. Wallingford, United Kingdom: CABI Publishing.
- Weary, D. M., Jasper, J. & Hötzel, M. J. (2008). Understanding weaning distress. *Applied Animal Behaviour Science*, 110 (1): 24-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.025>.
- Widdowson, E. & Crabb, D. (1976). Changes in the organs of pigs in response to feeding for the first 24 h after birth. *Neonatology*, 28 (5-6): 261-271.
- Wiseman, J. (2006). Variations in starch digestibility in non-ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 130 (1-2): 66-77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.018>.
- Xu, R.-J. & Cranwell, P. D. (2003). *The neonatal pig: gastrointestinal physiology and nutrition*: Nottingham University Press Nottingham, UK.
- Yang, L. G., Song, Z. X., Yin, H., Wang, Y. Y., Shu, G. F., Lu, H. X., Wang, S. K. & Sun, G. J. (2016). Low n-6/n-3 PUFA Ratio Improves Lipid Metabolism, Inflammation, Oxidative Stress and Endothelial Function in Rats Using Plant Oils as n-3 Fatty Acid Source. *Lipids*, 51 (1): 49-59. doi: 10.1007/s11745-015-4091-z.
- Zimonja, O., Stevnebø, A. & Svihus, B. (2007). Nutritional value of diets for broiler chickens as affected by fat source, amylose level and diet processing. *Canadian Journal of Animal Science*, 87 (4): 553-562. doi: <https://doi.org/10.4141/CJAS07044>.
- Aabakken, L. W., Bjarne A. (2019). *Fordøyelse*. I Store medisinske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/ford%C3%B8yelse> (lest 28.11.2019).



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway