

Undersøgelse af betydningen af alge- og ærteprotein for produktivitet og dyrevelfærd – Rapport med udgangspunkt i praktiske forsøg

Sarah Støjer Sällberg¹, Jette Søholm Petersen¹, Niels Provstgård¹, Sanna Steinfeldt², Wender LP Bredie³

1: SEGES Innovation P/S, Husdyr, Aarhus, Danmark

2: Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, Monogastrisk Ernæring, Aarhus Universitet, Danmark

3: Institut for Fødevarer, Sektion for Design og Forbrugeradfærd, Københavns Universitet, Frederiksberg C, Danmark

Forord

Denne rapport er udarbejdet som en del af ProLocAL projektet, støttet af det danske Økologiske RDD7-program, koordineret af ICROFS, med en bevilling fra GUDP under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, samt af en bevilling fra Fjerkræafgiftsfonden. Stor tak til Rokkedahl, Teknologisk Institut og Innovationscenter, samt Økologisk Landbrug for bidragene til udarbejdelsen af de undersøgelser der er foretaget forud for denne rapport.

ABSTRACT

This study investigated algae- and pea protein as possible substitutes to soy protein for organic broilers. A controlled experiment was conducted with three different feed treatments: (1) Control with soy as the primary protein source, (2) The microalgae *Scenedesmus sp.* and pea protein as substitute for soy protein, and (3) Pea protein as substitute for soy protein. Broiler productivity and welfare were measured in the experimental period in terms of feed consumption, growth, live weight, feed efficiency, mortality, foot pad conditions, and plumage conditions. Test group 2 and 3 were compared to the control. Differences between the control and the test groups were not statistically significant for most of the parameters, although the algae-pea group (2) had increased growth ($p < 0.001$) compared to the control. The highest final live weight of 1801.2 g was obtained by the algae-pea group. The algae-pea group had a 4.84 % improvement in Feed Conversion Ratio (FCR) for the entire experimental period and 6.28 % improved FCR from day 24 to 47, when the test feed treatments were provided, compared to the control. The pea group had a 6.53 % worse FCR over the entire experimental period, but for the period where the experimental feed was provided (day 24 to 47), the FCR was 4.62 % improved, compared to the control. The test feed treatments did not affect the broilers' welfare negatively, based on mortality, foot pad, and plumage conditions, suggesting potential health benefits from the diets. The climate impact seemed to be lowered by the algae- and pea protein feed compared to the control, when effect of direct Land Use Change (dLUC) was included in the calculations. However, the climate impact increased when dLUC was excluded. The broilers had good productivity, and the welfare was not impacted negatively, and it was possible to reduce the climate impact. This indicates that the substitution of soy protein with locally produced algae- and pea protein has a potential for organic broilers, since productivity and welfare showed a tendency to be improved.

SAMMENDRAG

Dette forsøg er en del af ProLocAL projektet, som undersøgte alge- og ærteprotein som mulige erstatninger for sojaprotein til økologiske slagtekyllinger. Et kontrolleret forsøg blev gennemført med tre forskellige foderblandinger: (1) Kontrol med soja som primær proteinkilde, (2) Mikroalgen *Scenedesmus sp.* og ærteprotein som erstatning for sojaprotein, og (3) Ærteprotein som erstatning for sojaprotein. Kyllingernes produktivitet og dyrevelfærd blev målt i forsøgsperioden ud fra foderoptagelse, tilvækst, levende vægt, foderudnyttelse, dødelighed, trædepude- og fjerdragt tilstand. Sammenligning af kontrol- og forsøgsgrupper viste, at alge-ærtegruppen havde øget tilvækst i slutperioden ($p < 0,001$) sammenlignet med kontrollen. Den højeste gennemsnitlige slutvægt på 1801,2 g blev opnået af alge-ærtegruppen. Alge-ærtegruppen havde en forbedring i foderudnyttelsen (FCR) på 4,84 % for hele vækstperioden og på 6,28 % for dag 24 til 47, hvor forsøgsfoderet blev anvendt. Ærtegruppen en forbedring i FCR på 4,62 % i perioden hvor de fik forsøgsfoder (dag 24 til 47). Forsøgsfoderet påvirkede ikke slagtekyllingernes velfærd negativt baseret på dødelighed, trædepuder og fjerdragt, hvilket tydede på potentielle sundhedsmæssige fordele ved forsøgsfoderet. Klimapåvirkningen syntes at være reduceret ved brug af alge-ærteprotein i foderet sammenlignet med kontrollen, når effekten af direct Land Use Change (dLUC) blev medregnet. Dog steg klimapåvirkningen, når dLUC blev udeladt. Slagtekyllingerne havde en god produktivitet og velfærden blev ikke påvirket negativt, og det var muligt at sænke klimaaftrykket. Dette indikerer, at erstatning af sojaprotein med lokalt produceret alge- og ærteprotein har potentiale for økologiske slagtekyllinger, da produktiviteten og velfærden viste en tendens til forbedring.

Indholdsfortegnelse

ABSTRACT.....	2
INTRODUKTION	5
METODE	6
RESULTATER.....	11
FODERFORBRUG	11
VÆKST	12
FODERUDNYTTELSE.....	15
KLIMA	17
DØDELIGHED	18
TRÆDEPUDER	18
FJERDRAGT.....	19
DISKUSSION	20
FODERFORBRUG	20
VÆGT OG TILVÆKST.....	21
FODERUDNYTTELSE.....	22
KLIMA	22
VELFÆRD	23
<i>Dødelighed</i>	<i>23</i>
<i>Trædepudevurderinger</i>	<i>23</i>
<i>Fjerdragtvurderinger</i>	<i>23</i>
SAMMENDRAG	24
BEGRÆNSNINGER	FEJL! BOGMÆRKE ER IKKE DEFINERET.
KONKLUSION	24
REFERENCER	26

INTRODUKTION

I takt med et voksende verdensbefolkningstal, er efterspørgslen på protein fra husdyrproduktion steget, herunder fjerkræproduktion (Rojas-Downing, et al., 2017). Samtidig har der været en voksende global opmærksomhed på klimaforandringer og bæredygtighed, som skaber et behov for at implementere strategier, der reducerer klimaaftrykket fra blandt andet fjerkræproduktionen.

Hvis kyllinger overforsynes med protein, øges risikoen for at deres nitrogen udskillelse øges og derfor er det vigtigt at anvende et foder, som har en velafbalanceret aminosyreprofil, da det forbedrer næringsstofudnyttelsen, understøtter vækst og bidrager til en forbedret foderudnyttelse (Rotz, 2020; Grossi, et al., 2024). Inklusion af mikroalge- og ærteprotein i økologisk fjerkræfoder kan reducere behovet for soja som primær proteinkilde og sikre, at der anvendes en velafbalanceret aminosyreprofil for fjerkræ (Abdel-Wareth, et al., 2024). Mikroalgerne har en god aminosyreprofil for fjerkræ og er derfor oplagt at undersøge som alternativ proteinkilde til soja. Hvis mikroalger kan leve op til, eller overgå, de næringsmæssige fordele ved soja, kan de potentielt nedsætte klimaaftrykket. Det kan give inspiration til hvordan slagtekyllingeproduktionen kan optimeres. For at undersøge mulighederne i at anvende mikroalger som foder til økologiske kyllinger, blev ProLocAL projektet dannet. Formålet med ProLocAL projektet var at reducere klimaaftrykket fra økologisk slagtekyllingeproduktion, ved at fodre kyllinger med mikroalger og lokalt dyrkede bælgplanter i stedet for importerede proteinkilder.

ProLocAL projektet blev støttet med midler fra GUDP og Fjerkræafgiftsfonden. Den overordnede projektleder var Sanna Steinfeldt fra Aarhus Universitet (AU) og de øvrige projektdeltagere var: Teknologisk Institut (TI), Københavns Universitet (KU), SEGES Innovation (SEGES), Innovationscenter for Økologisk Landbrug (ICOEL), Vestjyllands Andel (VA) og Rokkedahl Landbrug (RL). TI stod for dyrkning og høst af mikroalger samt ekstrudering af algepasta og ærteprotein. AU undersøgte fordøjeligheden af mikroalgeprotein samt effekten af at fodre økologiske slagtekyllinger med stigende mængder af alge- og ærteprotein, KU udførte sensorisk bedømmelse og smags samt kemisk analyse af kyllingekød, RE og SEGES stod for at udføre et praktisk boksforsøg med økologiske kyllinger, hvor foder med alge- og ærteprotein blev sammenlignet med kontrolfoder samt foder med ærteprotein uden alger. SEGES stod for at analysere og opgøre resultater fra det praktiske boksforsøg og beregne klimaaftryk fra foder og kyllinger. ICOEL bidrog med viden om økologisk bælgplanteproduktion og optimering af økologisk kyllingefoder. Vestjyllands Andel bidrog med substrat til algeproduktion og viden om foderproduktion.

I nærværende rapport ses resultaterne fra ProLocAL projektets praktiske boksforsøg – dvs. metoder, resultater, analyse, diskussion og konklusion.

METODE

Den eksperimentelle del af forsøget blev gennemført som et praktisk boksforsøg ved Røkkedahl Landbrug. I det praktiske forsøg blev 540 Rustic gold slagtekyllinger produceret på tre forskellige voksefoderblandinger. Kyllingerne blev opdrættet i separate bokse inde i en eksisterende slagtekyl-ling stald (Figur 1). Der var ni bokse med 60 tilfældigt udvalgte kyllinger i hver. Boksenes størrelse sikrede overholdelse af den danske lovgivning om maksimalt 21 kg/m². Forsøget omhandlede øko-logiske kyllinger, men da det var et fodringsforsøg, der blev udført i vinterperioden, havde kyllin-gerne ikke udendørs adgang. Kyllingerne havde adgang til foder og vand ad libitum døgnet rundt.



Figur 1: Boks set up. Vandstrengen går tværs igennem boksen og videre ud i stalden til de øvrige kyllinger. En fodersilo er placeret i hver boks

De ni bokse fik tildelt standardiseret startfoder i perioden 0-24 dage. Efterfølgende fik de deres respektive forsøgsfoderblandinger som voksefoder. Alle voksefoder blandingerne var piller på 3,5 mm. Tre bokse fik tildelt kontrolfoder, som var standard voksefoder med soja som primær protein-kilde, tre bokse fik tildelt forsøgsfoder med alge-ærte protein som erstatning for soja og tre bokse fik tildelt forsøgsfoder med ærteprotein som erstatning for soja (Figur 2).



Figur 2: De tre foderbehandlinger: (1) Kontrolfoder, med soja som primær proteinkilde, (2) alge-ærteprotein som erstatning for soja, (3) ærteprotein som erstatning for soja

Tabel 1 viser sammensætningen af de tre foderbehandlinger. Der blev benyttet 11,3 % alge-ærteprotein i foderblanding 2. Foderblandingen bestod af 20 % af mikroalgen *Scenedesmus sp.* Og 80 % ærteprotein, altså var der 2,26 % alge og 9,04 % ærte. Alge-ærte proteinblandingen blev ekstruderet for at nedbryde cellevægge og anti-nutritionelle faktorer (ANF) og derved blev proteinet lettere tilgængeligt for kyllingernes fordøjelse, som beskrevet af Steinfeldt (2025).

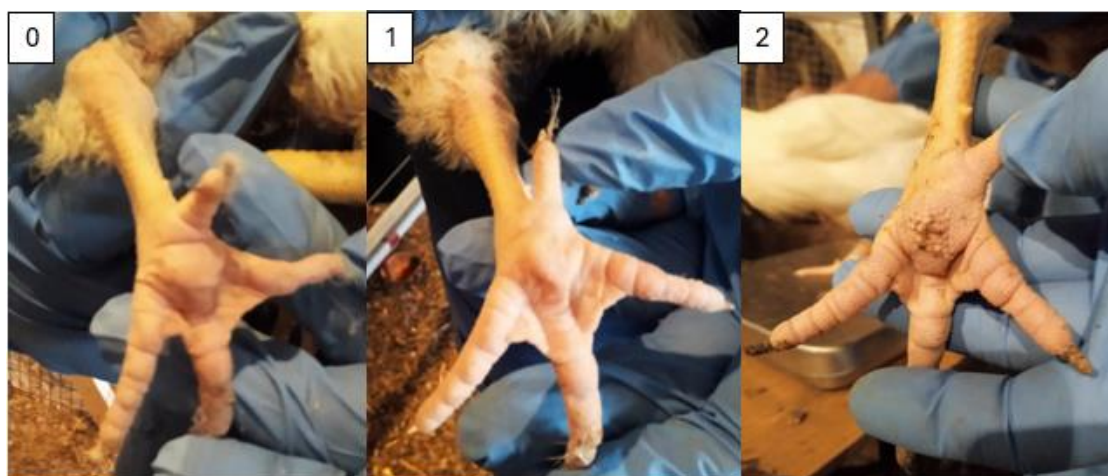
Tabel 1: Sammensætning af forsøgsvoksefoderblandinger til økokyllinger.

Blanding	Standard voksefoder	Sojafrit voksefoder med algeprotein	Sojafrit voksefoder med ærteprotein
Råvare, % af blanding			
Hvede	47,96	35,51	35,13
Byg	2,00	2,00	2,00
Majs	12,93	15,00	15,00
Solsikkekage	4,00	4,00	6,00
Sojabønner	4,00		
Fiskemel	5,85	5,85	5,85
Ærter	2,00	2,00	

Majsgluten	2,38		
Rapsfrø	0,70	1,42	4,50
Alge/ærte protein		12,00	
Ærteprotein			9,60
Sojakage	13,42		
Kartoffelprotein	2,13	4,50	4,50
Afskallet havre		15,00	15,00
Vegetabilsk olie	0,50	0,50	0,45
Vitaminer + mineraler*	2,13	2,22	1,97
Methionin, g/kg	4,2	4,1	4,1
Methionin + Cystin, g/kg	7,8	7,7	7,9
Lysin, g/kg	12,1	13,5	13,7
Calcium, g/kg	6,7	6,7	6,5
P-total, g/kg	5,8	6,4	5,8

*:Indeholder: Vitaminer og mineraler (CaCO₃, MCP, MgO, NaCl, NaHCO₃)

Forsøgsfoderet blev afvejet inden tildeling, og restmængden af foder i siloerne blev vejet på dag 29, 36, 43, og 47. På vejedage blev kyllingerne vejet i grupper, hvor antal kyllinger i gruppen varierede efter størrelse på kyllingerne. Kyllingerne blev vejet på dag 8, 24, 29, 36, 43, og 47 på en elektronisk vægt. Foder- og kyllingevejedata blev brugt til at beregne foderindtag, tilvækst, og foderudnyttelse. Som velfærdsindikatorer blev der fokuseret på dødelighed, trædepude- og fjerdragtvurderinger. Dødelighed blev registreret ved at notere dato for kyllingers død og vægt. Registreringen blev brugt til at korrigere for døde kyllinger ved beregning af produktivitet. Trædepudevurderingerne blev foretaget af en trænet person og vurderet på dag 47, hvor 0 point blev givet til kyllinger uden læsioner, 1 point til kyllinger med få læsioner, og 2 point til kyllinger med alvorlige læsioner (Figur 3).



Figur 3: Trædepudescore: (0) ingen læsioner, (1) moderate læsioner, (2) alvorlige læsioner

Fjerdragtvurderinger blev foretaget af den samme person, som foretog trædepudevurdering. Fjerdragten blev vurderet på 10 parametre: Hoved, nakke, ryg, kloak, bryst, ben, abdomen, hale, primære fjer, og overordnet fjerdækning. Kyllingerne med 0 point havde intakte fjer og var rene, 1 point kyllinger havde svagt ruflede fjer og/eller manglende fjer, mens 2 point havde tydeligt ruflede fjer og/eller manglende eller beskidte fjer (Figur 4). Fjerdragtsvurderingen var baseret på Welfare Quality assessment protocol for poultry (Lorm, 2009).



Figur 4: Fjerdragtvurderinger: (0) intakte fjer og ren, (1) ruflede fjer og evt. manglende fjer, (2) ruflede fjer, manglende fjer og beskidt

Kyllingerne blev slagtet kommercielt ved Røkkedahl Foods og derefter sendt til Københavns Universitet til kødkvalitets undersøgelser og forbrugertests.

Produktiviteten blev vurderet gennem statistiske analyser i softwareprogrammet R, med et signifikansniveau på $p < 0,05$. Der blev benyttet en simpel lineær model, hvor forsøgsgruppe og gennemsnits vægt på dag 24 var inkluderet som en faktor/kovariabel, eventuelt krydset med måleperioderne (0-24 dage, 24-47 dage, 0-47 dage). For dødelighed blev en simpel logistisk regression benyttet.

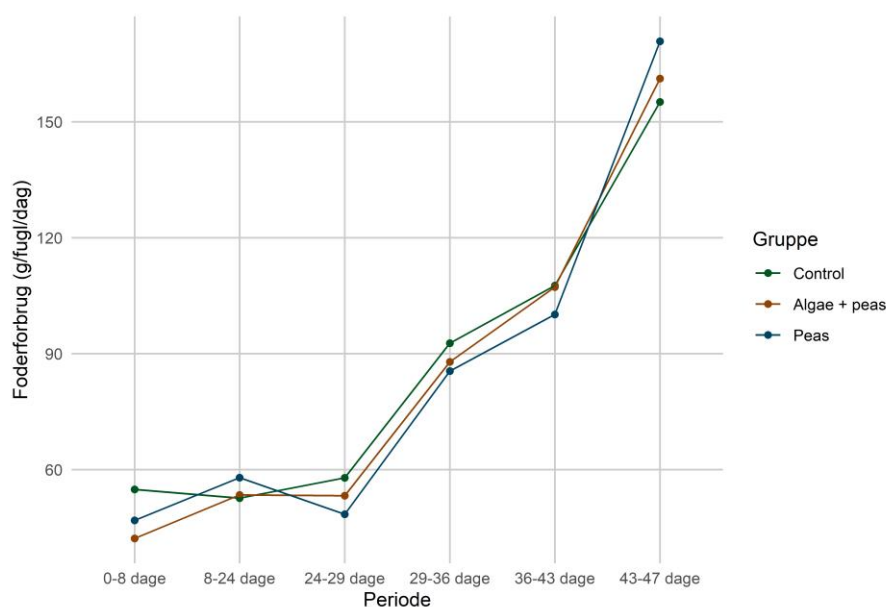
Trædepude- og fjerdragtvurderingerne blev vurderet via parvise sammenligninger og binære udkom med en logistisk regressions model.

For at bestemme kyllingernes klimaaftryk blev der regnet på de tre anvendte foderblandinger. Til beregning af klimaaftryk i dette projekt anvendtes Global Warming Potential (GWP) værdier for foderråvarer, korigeret for Danmarks andel af lavbundsjord, inklusive humus og et konstant klimaaftryk, grundet transport af råvaren. Klimaaftrykket blev beregnet ved hjælp af SEGES foderklimadatabase (Krustrup, et al., 2024), samt personlig kommunikation med Niels Morten Sloth (Sloth, 2024). Der blev anvendt GWP-værdier for konventionelle råvarer til estimering, da der endnu ikke var nogen tilgængelige værdier for økologiske råvarer. Tabelværdier for GWP af ekstruderet ærte- og algeprotein blev hentet fra referencerne Asscherickx et al. (2022) og Castanheira and Freire (2013). Resultaterne blev indtastes som tre scenarier i kyllingemodulet fra ESGreenTool Climate 1. Hvorefter klimaaftrykket per kg levende kylling blev estimeret, med og uden direct Land Use Change (dLUC), inklusive transport og andel af lavbundsjord i Danmark (humus).

RESULTATER

Foderoptagelse

Kyllingernes foderoptagelse var lig hinanden og målt i g foder / kylling / dag; (1) 155,1, (2) 161,2 g og (3) 170,8 g og da forskellen er så lille, kigges der på de tendenser der ses ud fra dette.

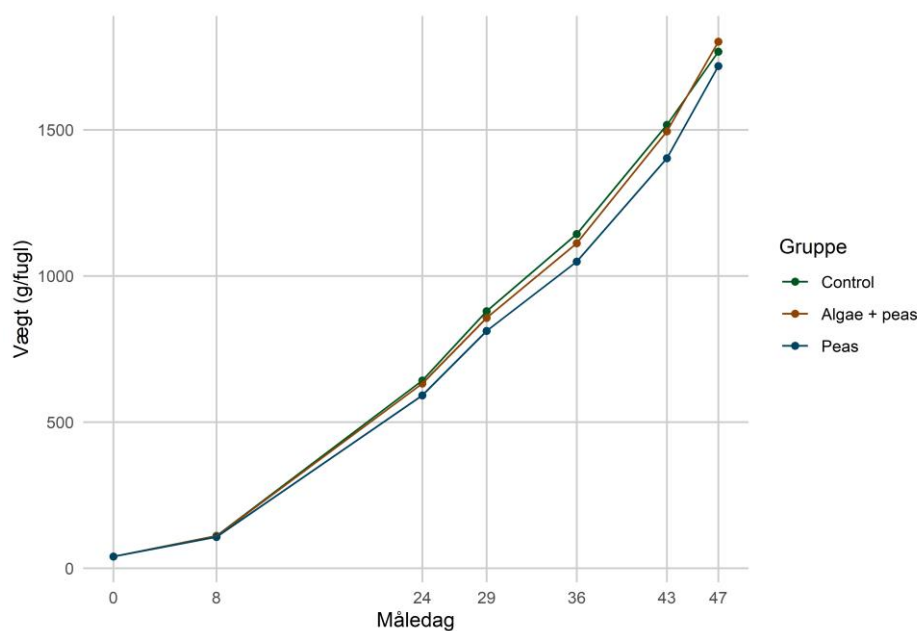


Figur 5: Foderforbrug målt i g foder/kylling/dag i seks forskellige perioder

Da forsøgsfoderet blev tildelt (dag 24), så man at foderoptaget for alle forsøgsgrupper stagnerede og derefter steg fra dag 29 (Figur 5), og at gruppe 2 og 3 havde en længere tilvænningsperiode end kontrollen og først på dag 36 havde et foderoptag der var højere end for kontrolgruppen. På dag 36 kunne der observeres en compensation, som resulterede i at forsøgsgruppe 2 og 3 sluttede med det højeste foderoptag. Denne stigning hænger sammen med den stigende vægt, der ses på Figur 6.

Vækst

Kontrolgruppen havde den højeste vægt og ærtegruppen den laveste, størstedelen af tiden, som det ses på Figur 6. Der blev observeret kompensatorisk vækst for alge-ærtegruppen fra dag 43 til 47.



Figur 6: Levende kropsvægt (g/kylling) på de seks fordelte vejedage

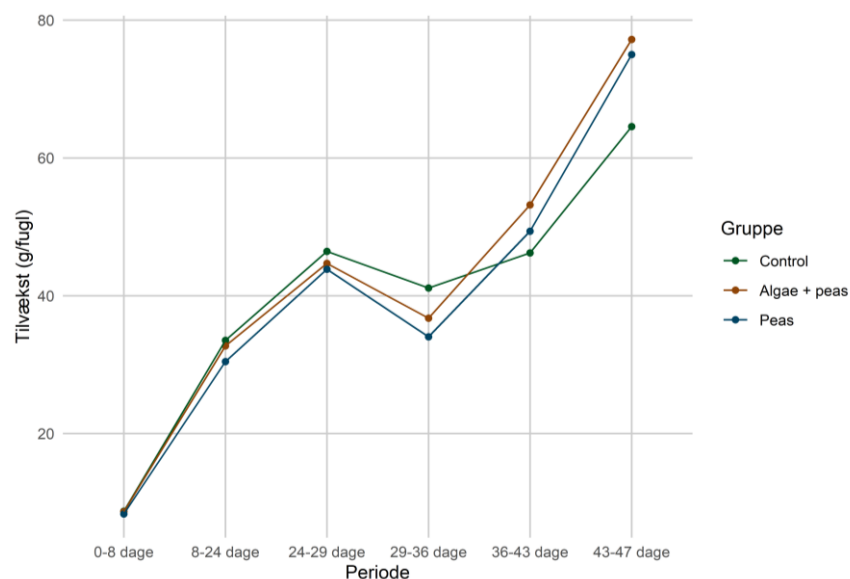
I Tabel 2 ses et overblik over kyllingernes vægt fra dag 36 til 47, hvor der blev observeret en forskel mellem forsøgsgrupperne og kontrolgruppen. Den første kolonne er kyllingernes alder, de efterfølgende tre kolonner er den gennemsnitlige vægt for kontrolgruppen og forsøgsgrupperne, med tilhørende p-værdier, som indikerede hvorvidt forsøgsgruppen afveg fra kontrollen. Den sidste kolonne er en sammenligning mellem forsøgsgrupper 2 og 3, ikke som vægt, men som p-værdi. Alle grupperne startede med en vægt på 40 g. På dag 36 så man det første tydelige indtryk af at ærtegruppen havde en lav vægt i forhold til kontrolgruppen ($p = 0,031$), også på dag 43 ($p = 0,003$). Alge-ærtegruppen havde en vægt der lå tæt på kontrollen frem til dag 43, dog endte alge-ærtegruppen med en højere slutvægt end kontrollen ($p = 0,039$). Det indikerede at alge-ærtedefoderet havde en positiv effekt på kyllingernes tilvækst. Derudover ses der i Tabel 2 en tendens til at alge-ærtedefoderet resulterede i

en højere tilvækst end ærtefoderet ($p < 0,05$). Ærtefoderet alene reducerede tilvækst over tid, men algerne modvirkede den effekt og endte med en højere slutvægt.

Tabel 2: Periodevis LS-mean for de tre forsøgsbehandlinger målt i gram pr. kylling. Yderst til højre repræsenteres p-værdier for sammenligning mellem forsøgsbehandling 2 og 3.

Alder, dage	Kontrol, vægt i g	Alge-ært, vægt i g	Ært, vægt i g	Alge-ært vs. Ært, p-værdier
36	1143,5	1111,8 ($p = 0,280$)	1048,7 ($p = 0,031$)	0,221
43	1516,8	1494,4 ($p = 0,528$)	1402,5 ($p = 0,003$)	0,013
47	1767,1	1801,2 ($p = 0,039$)	1718 ($p = 0,890$)	0,034

Som forventet, steg tilvæksten (Figur 7) signifikant fra dag 36 til 47 ($p < 0,05$). Kyllingernes tilvækst blev mindre når de gik fra startfoder til voksefoder og faldt mest for de to forsøgsgrupper. Forsøgsgrupperne havde efter dag 36 en stigning i tilvækst, især forsøgsgruppe 2 og 3. Alge-ærtegruppen steg betydeligt i tilvækst, hvilket hænger sammen med foderoptag (Figur 5) og vægt (Figur 6). Beregningerne var korrigeret for døde og frasorterede kyllinger, samt for vægtforskel på dag 24.



Figur 7: Vækstrate over tid (g/kg/dag)

I Tabel 3 er et overblik over kyllingernes tilvækst fra dag 36 til 47, hvor der blev observeret en stor forskel mellem forsøgsgrupperne og kontrolgruppen. Den første kolonne viser kyllingernes alder, de efterfølgende tre kolonner er den gennemsnitlige daglige tilvækst, med tilhørende p-værdier. Den sidste kolonne er en sammenligning mellem forsøgsgruppe 2 og 3, som p-værdi. Nederste række er et estimat af den gennemsnitlige tilvækst pr dag for de tre grupper i hele forsøgsperioden (dag 0-47).

I perioden fra dag 36 til 43 havde alge-ærtegruppen en betydeligt højere daglig tilvækst end kontrolgruppen ($p = 0,020$). Og i perioden fra dag 43 til 47 havde både ærtegruppen og alge-ærtegruppen betydeligt højere tilvækst end kontrolgruppen ($p = 0,001$ og $p = 0,0001$, respektivt). For hele forsøgsperioden (dag 0 til 47) havde de to forsøgsgrupper en forbedret tilvækst, sammenlignet med kontrollen som havde en tilvækst på 36,1 g/dag. Alge-ærtegruppen havde en tilvækst på 37,4 g/dag og ærtegruppen havde en tilvækst på 37 g/dag.

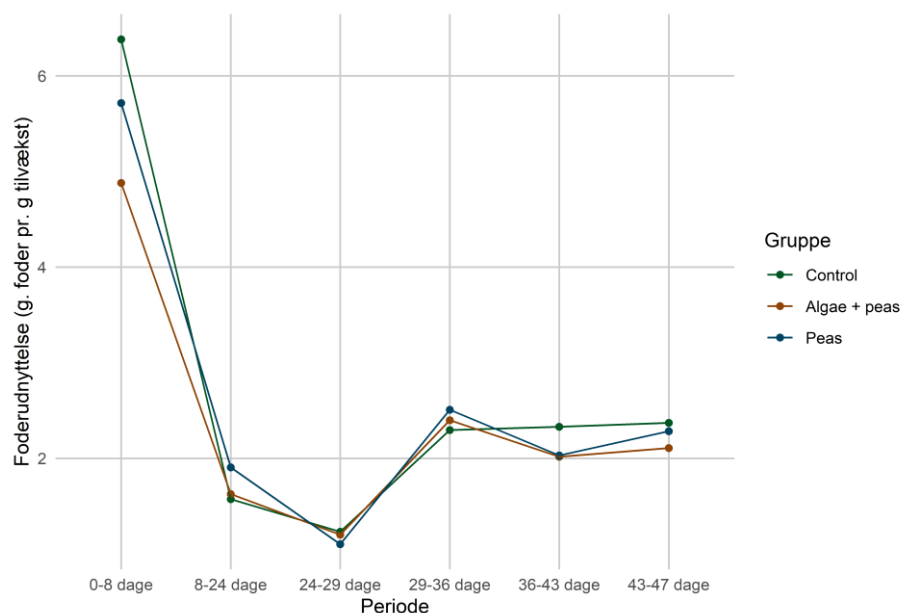
Tabel 3: Daglig tilvækst, g pr. kylling pr. dag. Vist som gennemsnit LS-mean for de tre forsøgsbehandling i 3 perioder. P-værdier i parentes viser sandsynlighed for at der ikke var forskel mellem

kontrol og behandling 2 og 3. Yderst til højre ses p-værdier for sammenligning mellem forsøgsbehandling 2 og 3.

Periode, dage	Kontrol, g tilvækst/kyl- ling/dag	Alge-ært, g tilvækst/kyl- ling/dag	Ært, g tilvækst/kyl- ling/dag	Alge-ært vs. Ært, p-værdier
36-43	46,2	53,2 (p = 0,020)	49,4 (p = 0,107)	0,57
43-47	64,6	77,2 (p = 0,000)	75 (p = 0,001)	0,938
0-47	36,1	37,4	37	

Foderudnyttelse

Foderudnyttelsen (FCR) var forskellig alt efter om man kiggede på hele forsøgsperioden (dag 0 til 47) eller den del af perioden hvor kyllingerne blev tildelt forsøgsvoksefoderet. På Figur 8 er FCR-værdierne illustreret. På figuren kan man se, at FCR var lavere for forsøgsgruppe 2 og 3 i den sidste periode, sammenlignet med kontrollen, altså var de mere effektive til at omsætte foder til vækst end kontrolgruppen i den sidste periode af forsøget.



Figur 8: Foderudnyttelse for slagtekyllinger i forsøgsperioden 0-47 dage (g foder/g vækst)

Allerede på startfoderet fra dag 0 - 24 havde alge-ærtegruppen en bedre foderudnyttelse end kontrollen ($p = 0,044$). Ud fra FCR-værdierne var der en tendens til at de to forsøgsfodertyper kunne forbedre FCR, selvom p -værdierne ikke viste nogen signifikante afvigelser fra kontrollen. I Tabel 4 ses fordelingen af FCR-værdier og tilhørende p -værdier. For hele forsøgsperioden (dag 0-47) havde alge-ærtegruppen den laveste FCR (1,968), mens ærtegruppen havde den højeste (2,203). Det vil sige at sammenlignet med kontrollen havde alge-ærtegruppen en 4,84 % forbedret FCR, mens ærtegruppen var 6,53 % forværret. Kiggede man udelukkende på den del af forsøgsperioden hvor kyllingerne blev tildelt forsøgsfoderet (dag 24-47) så det lidt anderledes ud. I den sidste periode havde alge-ærtegruppen stadig den laveste FCR (1,97) og kontrollen havde den højeste FCR (2,102). Dermed var alge-ærtegruppens FCR 6,28 % forbedret, og ærtegruppens FCR var 4,62 % forbedret i forhold til kontrollen. Begge forsøgsgrupper havde altså i perioden, hvor forsøgsvoksefoderet blev tildelt, en bedre FCR end kontrolgruppen.

Tabel 4: Foderudnyttelse mod kontrollen vist for dag 0-47 og for dag 24-47, med tilhørende p-værdier

	Dag 0-47		Dag 24-47	
	FCR	p-værdi	FCR	p-værdi
Kontrol	2,068	NA	2,102	NA
Alge-ært	1,968	0,251	1,97	0,449
Ært	2,203	0,293	2,005	0,703

Kødkvalitet og brystkød udbytte

Kødkvaliteten af slagtekyllinger fodret med mikroalger blev undersøgt af Lee, et al. (2025). på baggrund af Steinfeldt (2025), som testede flere inklusionsniveauer af mikroalgen *Scenedesmus sp.* Lee, et al. (2025) påviste, at kød fra de kyllinger der blev fodret med mikroalger, havde tendens til højere indhold af de essentielle fedtsyrer EPA og DHA, samt mættede fedtsyrer. Lee et al. (2025) undersøgte hvordan foder med mikroalger påvirkede flere faktorer. Kød- og hudfarve var mere gul-lig ved inklusion af mikroalger. Smagen blev påvirket i retning af en ristet tangsmag, når inklusionsniveau af mikroalger stiger. Carotenoidindholdet (Lutein, Zeaxanthin, beta caroten) steg ved mikroalgeinklusion. De grønne pigmenter Chlorophyll og Pheophytin steg ved højere mikroalge inklusioner. Hvis inklusionsniveauet af mikroalger blev for højt (3,6 %) har det en negativ effekt på saftighed. Der blev testet holdbarhed på kontrolgruppen og høje mikroalgeinklusionsniveauer (3,6 %), som indikerede kortere holdbarhed for gruppen tildelt mikroalge voksefoder, det er dog ikke testet for inklusionsniveauer omkring 2 %.

Lee, et al, (2025) fandt desuden at brystkød udbyttet, for kyllinger fra alge-ærtegruppen var betydeligt højere end for kontrollen ($p = 0,025$). Brystkød udbyttet fordelte sig således: (1) 29,0 %, (2) 29,9 % og (3) 28,3 %.

Klima

I forbindelse med dette forsøg blev der udarbejdet en rapport om påvirkningen af klimaaftrykket, som Global Warming potential (GWP) (Petersen & Provstgård, 2024), som viste at hvis der blev

beregnet i enheden kg CO₂-eq pr kg, med dLUC, så faldt klimaaftrykket for alge-ærte- og ærtedefoderet i forhold til kontrollen; (1) 1,448, (2) 1,094 og (3) 1,091. Blev foderets GWP derimod beregnet i enheden kg CO₂-eq per kg, uden dLUC, steg klimaaftrykket for de to alternative forsøgsfoderblandinger i forhold til kontrolfoderet; (1) 0,750, (2) 1,056 og (3) 1,054. Foderets klimaaftryk, beregnet med dLUC, havde et GWP der var 24 % lavere end kontrolfoderet (Petersen & Provstgård, 2024).

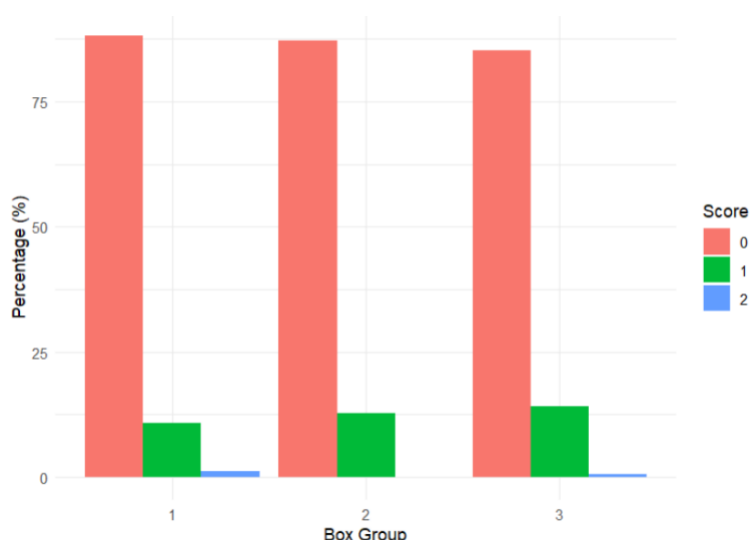
Petersen & Provstgård (2024) estimerede derefter kyllingernes klimaaftryk og viste at alge-ærteprotein reducerede klimaaftrykket pr kg kylling med 21 % når de blev opdrættet på alge-ærteprotein som erstatning for soja, når det er beregnet inklusiv dLUC. Hvis der blev regnet uden dLUC, steg klimaaftrykket pr kg kylling med 17 %, når soja blev erstattet med alge-ærteprotein.

Dødelighed

Overordnet set var dødeligheden meget lav for alle grupper i de forskellige perioder, hvilket var positivt, men gjorde det mere vanskeligt at påvise statistisk sikre forskelle. Der var ingen statistisk signifikante forskelle. Generelt lå dødeligheden under 2%, med undtagelse af kontrolgruppen, der fra dag 29 til 36 havde en dødelighed på 2,2%. Over hele forsøgsperioden var dødeligheden for kontrolgruppen 3,3%, for ærtegruppen 2,8% og for alge-ærtegruppen 1,1%.

Trædepuder

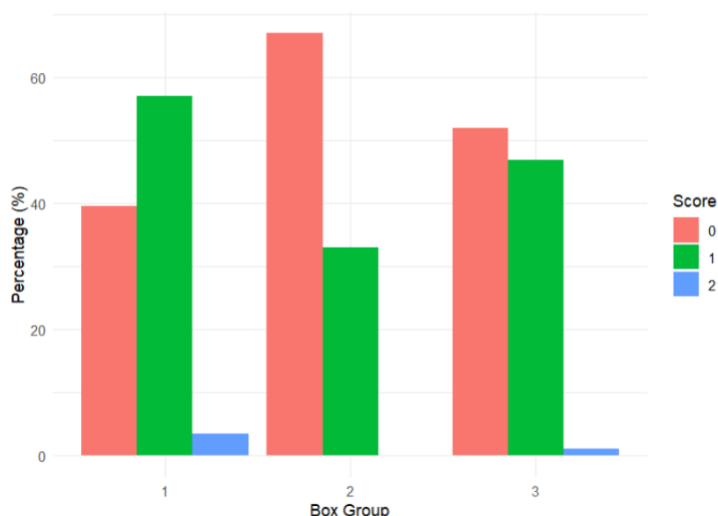
De undersøgte fodertyper havde ingen statistisk signifikant betydning for kyllingernes trædepude scorer. Som det ses på Figur 9 lå alle tre grupper tæt i fordelingen af 0, 1 og 2 point i det danske point system for trædepudevurderinger. Det bør bemærkes at ingen kyllinger i alge-ærtegruppen fik en trædepudescore over 1. Der kan være en sandsynlighed for at trædepuderne påvirkes af foderblandingerne, men idet alle grupper havde meget fine og acceptable overordnede point, var der ingen effekt af foderblandingen i dette forsøg.



Figur 9: Bar plot af distributionen for trædepudescore i procent. Gruppen ud af x-aksen (1 kontrol, 2 alge-ært, 3 ært) og procent ad y-aksen.

Fjerdragt

Variationen i fordelingen af 0, 1, og 2 point fra fjerdragsbedømmelsen ses i Tabel 6. Heraf fremgår, at der var flest kyllinger med en fjerdragt der scorede 0 point i alge-ærtegruppen og flest med score 1 og 2 point i kontrolgruppen. Parvise sammenligninger i Tabel 6 viste at ærtegruppen havde signifikant positiv effekt på fjerdragten i forhold til kontrolgruppen ($p = 0,021$), mens alge-ærtegruppen havde en yderst signifikant positiv indvirkning på fjerdragten i forhold til kontrollen ($p < 0,0001$). Kontrolgruppen opnåede altså dårligere fjerdragtscores end de andre grupper. Alge-ærtegruppen havde ydermere signifikant bedre fjerdragt end ærtegruppen ($p = 0,009$).



Figur 10: Bar plot af distributionen for fjerdragtscore i procent. Gruppen ud af x-aksen (1 kontrol, 2 alge-ært, 3 ært) og procent ad y-aksen.

Tabel 6: Fordelingen af fjerdragt vurderinger, samt beregninger af procentfordelingen heraf. Der er foretaget parvise sammenligninger for at vurdere om der var statistisk sikre forskel mellem fodergrupperne.

Fjerdragt score									
	0			1			2		
	Kontrol	Alge-ært	Ært	Kontrol	Alge-ært	Ært	Kontrol	Alge-ært	Ært
Antal	70	120	92	101	59	83	6	0	2
%	39,55	67,04	51,98	57,06	32,96	46,89	3,39	0,00	1,13
Parvis sammenligning									
	Alge-ært vs. kontrol			Ært vs. kontrol			Alge-ært vs. Ært		
p-værdi	<0,0001			0,021			0,009		

DISKUSSION

Dette forsøg gik ud på at mindske klimaaftrykket fra økologiske slagtekyllinger, ved at benytte alternative proteinkilder, uden at det påvirker produktivitet og velfærd negativt, eller potentielt forbedrer produktivitet og velfærd. Forsøget indikerede at bælgplantebaseret foder havde en fordøjelighed der var sammenlignelig med sojabønner. Dette er i overensstemmelse med Leiber, et al., (2015) og Salahuddin, et al. (2024). Det tydede også på at algeprotein havde potentiale til at forbedre slagtekyllingers produktivitet. Dette blev også fundet af Abdel-Wareth, et al., (2024) og Safaa (2021). Forudgående undersøgelser i ProLocAL projektet af Steinfeldt (2025) testede forskellige inklusionsniveauer af algeprotein i voksefoder til økologiske slagtekyllinger, og fandt en indikation for øget fordøjelighed og nitrogen udnyttelse. Disse resultater blev grundlaget for det valgte inklusionsniveau af alger i dette forsøg.

Udover foderet med algeprotein, blev der lavet en foderblanding med ærteprotein. Dette skyldes at algeproteinet blev ekstruderet sammen med ærter og det var derfor oplagt at undersøge hvad ærterne alene havde af effekt. Ærteprotein er en mulig erstatning for sojaprotein, dog kræver det et højt inklusionsniveau at imødekomme kyllingernes næringsbehov for methionin. Det kan skabe problemer, da et for højt niveau af ærteprotein kan påvirke vækst og foderudnyttelse negativt (Janocha, et al., 2022). Det var vigtigt at nedbryde cellevæggen fra algeproteinerne, som har et højt indhold af polysakkarider, for at frigøre de ønskede næringsstofferne (Spínola, et al., 2022). Derfor blev alge-ærteproteinet ekstruderet i en blanding med ærteprotein.

Foderoptag

Som udgangspunkt har slagtekyllinger et foderoptag på 158 g/dag omkring dag 47 (Aviagen, 2024). Når forsøgsfoderblandingerne tildeles, æder kontrolgruppen mest og ærtegruppen mindst. Dog er foderoptaget i slutfasen (dag 43 til 47) fordelt således: (1) 155,1 g/dag, som er inden for normen, (2) 161,2 g/dag og (3) 170,8 g/dag, hvilket er en del over normen. Det havde dog ikke en stor betydning i dette forsøg, da forsøgsgrupperne samlet set havde et lavere foderoptag over hele forsøgsperioden. Til gengæld var det vigtigt at bemærke, da foderoptagelsen kan have betydning i praksis, hvis kyllingerne skal leve længere end de 47 dage. I modsætning til forsøget af Safaa (2021), viste dette forsøg et overordnet lavere foderoptag for slagtekyllinger fodret med mikroalgen *Scenedesmus sp.*, det var dog vanskeligt at sige hvorfor denne forskel opstod, men det kan skyldes at algerne i dette forsøg er blandet med ærter. Sandsynligvis havde ærterne en fremtrædende smag, som kyllingerne

skulle vænne sig til. Ud fra forsøgsdata har ærteprotein kyllingerne indtaget mere foder end alge-ærte kyllingerne.

Andelen af ærter burde ikke påvirke resultaterne negativt, da begge forsøgsblandinger er inden for den anbefalede andel på max på 10% (Johansen & Jensen, 2024). Inklusionsniveauet af mikroalger afhænger af hvilken type alge der benyttes. Et inklusionsniveau på 1-2% alger har vist sig at øge kropsvægt og mindske FCR, mens 10% af den grønne tang *Ulva rigida* reducerede foderoptag og vækst (Coudert, et al., 2020). Et inklusionsniveau omkring 2% var derfor, med de nuværende litteraturstudier, optimalt at arbejde med.

Den praktiske betydning i datasættet var lav, men det giver en idé om de tendenser der opstår med forsøgsfoderblandingerne.

Vægt og tilvækst

Generelt vejer konventionelt fodrede Rustic Gold slagtekyllinger op til 2414 g kropsvægt på dag 47 (Aviagen, 2024). I dette forsøg er den højeste gennemsnitlige slutvægt for en gruppe 1801 g, men nogle enkelte kyllinger passerede 2 kg i kropsvægt. Både forsøg af Abdel-Wareth, et al. (2024) og Safaa (2021) observerede forbedret vækst, når der fodres med mikroalger og det er den samme tendens der ses i dette forsøg. Den øgede vægt for forsøgsgruppe 2 og 3, som ses i Tabel 2, kunne skyldes kompensatorisk vækst og at kyllingernes fordøjelsessystem var mere udviklede, til bedre udnyttelse af næringsstoffer.

Alge-ærtegruppen havde højere tilvækst end kontrollen fra dag 43 til 47 og endte med den højeste gennemsnitlige kropsvægt af alle forsøgsgrupperne. Det kunne skyldes væksthæmmende komponenter i mikroalgen og dens antioxidante og antiinflammatoriske funktioner (Abdel-Wareth, et al., 2024), som også kan forbedre foderudnyttelsen, da disse egenskaber bidrager til bedre tarmfunktion og en mere effektiv fordøjelse (Uguz & Sozcu, 2023). Dette indikerede en forbedret immunologisk respons, derved et stærkere immunsystem. Over hele forsøgsperioden (dag 0 til 47) havde kontrolgruppen en vækst på 36,1 g/dag, alge-ærtegruppen 37,4 g/dag og ærtegruppen 37 g/dag, hvilket er inden for maksimumgrænsen for økologiske slagtekyllinger (38 g/dag) ifølge den danske lovgivning (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2024).

Da der ikke var statistisk signifikant forskel mellem slutvægt, kunne det ikke konkluderes at forsøgsfoderet havde en positiv effekt på kyllingernes vægt, der var dog en tydelig tendens til at alge-ærtegruppen præsterede bedre end de andre to grupper på vægt og tilvækst. Dette kunne potentielt være fordelagtigt i praksis hos slagtekyllingeproducenterne, hvor højere slutvægt giver et højere

afkast. Hvis denne tendens forekommer i fremtidige forsøg og algeproduktionen opskaleres, kan det altså være økonomisk fordelagtigt at bruge alge-ærtefoderet fremfor kontrollen.

Foderudnyttelse

Aviagen (2018; 2024) rapporterer at standard FCR for de langsomt voksende økologiske slagtekyllinger (ranger classic, ranger gold og rustic gold) er 1,8-2,1. I dette forsøg for hele forsøgsperioden var FCR; (1) kontrolgruppen 2,068, (2) alge-ærtegruppen 1,968 og (3) ærtegruppen 2,203. Den eneste der havde højere FCR end Aviagens standard, var ærtegruppen. Dette har økonomisk betydning, fordi FCR er en vigtig indikator for fodereffektiviteten og har indflydelse på produktionsomkostningerne. Ud fra ovenstående havde alge-ærtegruppen forbedret FCR med 4,84 %, mens ærtegruppen havde forværret FCR med 6,53%, potentielt påvirket af forsøgets design.

Tog man udgangspunkt i den del af forsøgsperioden hvor kyllingerne blev tildelt forsøgsfoder (dag 24 til 47) var FCR; (1) 2,102, (2) 1,97 og (3) 2,005. I denne periode havde alge-ærtefoderet forbedret FCR med 6,28% og ærtefoderet havde forbedret FCR med 4,62%. Det tydede på at startfoder havde en negativ indflydelse på ærtegruppen. Alge-ærtegruppen havde forbedret FCR i hele forsøgsperioden. Modsat Safaa (2021) viste dette forsøg, at FCR blev forbedret når mikroalgen *Scenedesmus sp.* indgik i foderet, hvilket også blev fundet i andre forsøg (Abdel-Wareth, et al., 2024; Uguz & Sozcu, 2023). Den forbedrede foderudnyttelse for alge-ærtegruppen kan skyldes at algen var kombineret med ærteprotein, som er rig på lysin, og moderate ærteinklusioner i slagtekyllingefoder har vist at kunne forbedre FCR (Janocha, et al., 2022).

Klima

Forsøgsgruppernes indflydelse på klimaet blev undersøgt af Petersen & Provstgård (2024). Foder står for 70% af klimaafttrykket fra en slagtekylling og afhænger af råvaresammensætning, forarbejdning og anvendelse af additiver. Derudover blev klimaafttrykket påvirket af kyllingens foderoptag og tilvækst. Ud fra undersøgelserne på klimaafttryk fandt man at kyllinger fodret med alge-ærteprotein som erstatning for soja kunne sænke kyllingens GWP med omkring 21%, hvis dLUC var inkluderet. Ekskluderer man dLUC, øges kyllingens klimaafttryk med 17%. Det skyldes formentlig at dyrkningen af soja er præciseret og effektiviseret gennem mange år og dermed mere effektiv end algeproduktionen. Det blev observeret at alge-ærteprotein foderet var bedre for klimaet end ærteprotein foderet, da det havde en højere forbedrende effekt på klimaafttrykket, når man inkluderer dLUC og samtidig havde en mindre effekt på det forværede klimaafttryk, når man ekskluderer

dLUC, i forhold til ærtegruppen. Årsagen til at forsøgsfoderet med ærteprotein uden algerne gav et højere klimaaftryk, kunne skyldes at kyllingerne voksede langsommere og spiste mere foder end gruppen med alge-ærteprotein og kontrolgruppen.

Velfærd

Dødelighed

Generelt var dødeligheden lav og det var derfor vanskeligt at bruge denne parameter som en indikator for velfærd. Dødeligheden var; (1) 3,3 %, (2) 1,1 % og (3) 2,6 %. Det viste en tendens til at alge-ærtegruppen havde en betydeligt lavere mortalitet, formentlig grundet de sundhedsfremmende effekter i mikroalger (Abdel-Wareth, et al., 2024).

Trædepudevurderinger

Vurdering af graden af trædepude læsioner er en udbredt metode til velfærdsvurderinger. Det danske trædepudevurderingssystem tildeler point som 0, 1 eller 2 point for en trædepudevurdering og for at blive anset som værende med okay velfærd på trædepudetilstanden, må en flok på 100 kyllinger ikke overstige 40 point (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2025). I dette forsøg var de samlede trædepudescore for de tre fodergrupper langt under 40 point pr 100 kyllinger; (1) 11,86 point, (2) 12,84 point og (3) 14,69 point. Alle grupper kan altså vurderes til at have en tilfredsstillende velfærd, ud fra trædepudetilstanden. Generelt havde strøelsen god kvalitet.

Fjerdragtvurderinger

Fjerdragten vurderes ved at kigge på fjerenes kvalitet og renligheden. Beskidte fjer indikerer dårlig strøelses kvalitet (Wilcox, et al., 2023). Hvis foderet ikke er optimalt balanceret, kan næringsstof optagelsen være lav og ikke fordøjede kulhydrater kan påvirke strøelsen til at blive mere klistret (Shepherd & Fairchild, 2010). Derudover kan foderet påvirke dannelsen af fjer gennem de svovlholdige aminosyrer, især methionin (Chen, et al., 2020), som mikroalgen *Scenedesmus sp.* har et højt indehold af (Pedersen, 2024). Fjerdragten var betydeligt bedre for ærtegruppen i forhold til kontrolgruppen ($p = 0,021$). Ærteprotein er rig på lysin, methionin og cystein, som alle er en stor del af fjerdannelsen (Chen, et al., 2020). Alge-ærtegruppen havde en betydeligt bedre fjerdragst end kontrolgruppen ($p < 0,0001$) og signifikant bedre end ærtegruppen ($p = 0,009$). Dette kan skyldes det høje methionin og cystein indhold. Fjerdragst kvalitet er derved proportionelt relateret til methionin og cystein indtaget.

Sammendrag

Mikroalger alene kan ikke erstatte sojaprotein fuldkomment, da inklusionsniveauet ikke bør overskride 2 % (Coudert, et al., 2020) og det er ikke nok til at opfylde slagtekyllingernes næringsstofbehov. Derudover indikerede forsøget at ærteprotein heller ikke kunne erstatte soja fuldkomment, da det ville kræve høje inklusionsniveauer, resulterende i en overforsyning af protein og derved en negativ effekt på produktivitet. De to alternative proteinkilder i kombination, ærteprotein og *Scenedesmus sp.* mikroalge protein viste potentiale til at erstatte sojaprotein. Selvom kombinationen af de to i dette forsøg ikke viste en statistisk signifikans på andet end fjerdragten, indikerede resultaterne en tendens til forbedret foderoptag, tilvækst, sluttvægt og foderudnyttelse. Velfærdsvurderingerne indikerer ydermere at kombinationen af ærte- og algeprotein har potentiale til at øge velfærden, hvad angår dødelighed og trædepude- og fjerdragtvurderinger.

KONKLUSION

Dette forsøg har undersøgt hvorvidt alge- og ærteprotein kan erstatte sojaprotein i økologisk slagtekyllingefoder. Resultaterne indikerede at mikroalgeprotein ikke kan erstatte sojaprotein 100%. Ærteprotein kan heller ikke fuldt erstatte sojaprotein. For begge proteinkilder er det gældende at inklusionsniveauet skal være meget højt for at imødekomme kyllingernes næringsmæssige behov for essentielle aminosyrer, og det høje inklusionsniveau risikerer at reducere produktiviteten. En kombination af de to alternative proteinkilder virkede til at have potentiale, da resultaterne fra de kyllinger der fik foder med alge-ærteprotein, var sammenlignelige med resultater fra kyllinger der fik standardfoder med sojaprotein. Potentielt kan alge-ærtefoderet overgå standardfoderet. Forsøgsgruppen der fik tildelt foder med alge-ærteprotein som primær proteinkilde viste tendenser til at have forbedret produktivitet, hvad angår tilvækst (øget med 12,7 g), foderindtag (reduceret med 2,98 %) og foderudnyttelse (forbedret med 4,84-6,28 %). Forsøgsgruppe 2 havde bedre generel velfærd (bedre fjerdragtvurdering i forhold til kontrollen og lavere dødelighed). Alt imens fordøjeligheden af foderet og kødkvaliteten var sammenlignelig eller forbedret med hensyn til indhold af brystkød i forhold til kyllinger fodret med soja som primær proteinkilde (Lee, et al., 2025; Steenfeldt & Pedersen, 2025). Endvidere, har foderet baseret på alge-ærteprotein potentiale til at sænke klimaaftrykket for de producerede kyllinger (21 %, hvis man inkluderer dLUC jf. Petersen & Provstgård (2024). Derudover virker forbrugerne åbne overfor det producerede kød (Lee, et al. 2025).

For mikroalgerne forbliver stor skala produktion en udfordring, men opskalering vil være nødvendig, hvis fremtidige forsøg viser yderligere potentiale i at anvende mikroalgeprotein i økologisk slagtekyllingefoder. Fra et velfærds perspektiv ses signifikante forskelle i fjerdragts kvalitet, som var betydeligt forbedret for kyllinger fodret alge-ærtefoderet. For produktiviteten er der forbedring af FCR og derved bedre udnyttelse af proteinet i foderet. Resultaterne tyder på at nitrogen og ammoniakudledningen er reduceret, hvilket er med til at støtte en mere bæredygtig produktion (Steenfeldt, 2025).

Yderlige undersøgelser bør foretages, som kan bygge videre på de tendenser, der ses i dette forsøg. Dernæst bør den økonomiske udfordring for landmanden undersøges og hvordan man gennem opskalering kan mindske omkostningerne og klimaaftrykket ved at fodre med mikroalger.

Anerkendelser

Dette forsøg er en del af ProLocAL projektet, som blev støttet af GUDP og Fjerkræafgiftsfonden. Mange tak til Rokkedahl Landbrug for at vi måtte udføre forsøget hos dem. Også tak til Danish Agro og Aarhus Universitet for hjælpen med at optimere og fremstille forsøgsfoderblandingerne.

Fjerkræafgiftsfonden



REFERENCER

- Abdel-Wareth, A. A. A., Williams, A. N., Salahuddin, M., Gadekar, S., Lohakare, J., 2024. Algae as an alternative source of protein in poultry diets for sustainable production and disease resistance: present status and future considerations. *Front. Vet. Sci.* Volume 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1382163>
- Aviagen, 2018. Ranger Gold Broiler: Performance Objectives, s.l.: *Aviagen*.
- Aviagen, 2024. Rustic Gold product overview, s.l.: *Aviagen*.
- Asscherickx, L., Katrien, B. An, V., 2022. LCA study for pea products: Summary report. *Vito*.
- Castanheira, E. G., and Freire, F., 2013. Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. *Journal of Cleaner Production* 54 (2013) 49-60.
- Chen, M., Xie, W., Jiang, S., Wang, X., Yan, H., Gao, C., 2020. Molecular Signaling and Nutritional Regulation in the Context of Poultry Feather Growth and Regeneration. *Front. Physiol.* 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01609>
- Coudert, E., Elisabeth, E. & Berri, C., 2020. Use of algae in poultry production: a review. *World's Poultry Science Journal*. 76(4), 1-20. <http://dx.doi.org/10.1080/00439339.2020.1830012>
- ESGreenTool Climate, 2024. EsgreenTool – landbrugets digitale ESG-løsning udbudt af SEGES Innovation. Se mere på dette link: ESGreenTool
- Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., Williams, A. G., 2018. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Anim Front.* 12;9(1): 69-76. DOI: 10.1093/af/vfy034. PMID: 32071797; PMCID: PMC7015462.
- Janocha, A., Milczarek, A. & Głuchowska, J., 2022. Efficiency of peas in broiler chicken feeding. *Animal Science and Genetics*. 18(1), pp. 11-23. DOI: 10.5604/01.3001.0015.7767
- Johansen, N. F. & Jensen, S. K., 2024. Dyrkning og fodring med bælgssæd - for økologiske fjerkræ-producenter. *Dansk Innovationscenter for Økologisk Landbrug*, 1 Januar 2024.
- Johansen, N. F., Jensen, S. K. & Petersen, J. S., 2024. Foder med algeprotein og bælgplanter til økologiske slagtekyllinger. *FJERKRÆ*, May 2024.

Krustrup, A.K., Sloth, N.M., Grove, S. S., Udesen, F. 2024. Klimafoderdatabase.dk. Notat nr. 2439, udgivet d. 12. december 2024 af *SEGES Innovation P/S*.

Lee, A. X. H., Bredie, W. L. P., Lange, B., 2025. Meat Quality & Consumer Test of Chickens Fed with Microalgae Protein [Interview] (26th of February 2025).

Lee, A. X. H., Bredie, W. L. P., Lange, B., Steinfeldt, S., Petersen, J. S., Sällberg, S. S., 2025. Effect of algae and pea protein on carcass quality (breast meat yield), meat quality, shelf life, and consumer acceptance – Results from practical trials. *SEGES Innovation P/S*.

Leiber, F., Gelencsér, T., Stame, A., Amsler, Z., Wohlfahrt, J., Früh, B., Maurer, V., 2015. Insect and legume-based protein sources to replace soybean cake in an organic broiler diet: Effects on growth performance and physical meat quality. *Renewable Agriculture and Food Systems*, pp. 21-27.
<https://doi.org/10.1017/S1742170515000496>

Lorm, A. d., 2009. Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry, Leystad: Welfare Quality Consortium.

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2025. Bekendtgørelse om dyrevelfærds,æssige mindstekrav til hold af slagtekyllinger og rugeægproduktion til produktion af slagtekyllinger samt om uddannelse ved hold af slagtekyllinger. *Fødevarestyrelsen*. Juli 2025.

Olsen, M. F. L., Pedersen, J. S., Thomsen, S. T., Martens, H. J., Petersen, A., Jensen, P. E., 2021. Outdoor cultivation of a novel isolate of the microalgae *Scenedesmus* sp. And the evaluation of its potential as a novel protein crop. *Physiologia Plantarum*. 173(2), p. 483-494.
<https://doi.org/10.1111/ppl.13532>

Pedersen, J. S., 2024. Mikroalger – Fremtidens protein til økologiske fjerkræ? 17. *Dansk Teknologisk Institut*.

Petersen, J. S. & Provstgård, N., 2024. Foder som virkemiddel til at sænke slagtekyllingers klimaftryk – med økologiske slagtekyllinger som eksempel. Aarhus: *SEGES Innovation P/S*.

Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, P. A., Harrigan, T., Woznicki, S. A., 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Elsevier*. 145-163.
<https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

- Rotz, C. A., 2020. Environmental Sustainability of Livestock Production. *Meat and Muscle Biology*TM 4(2): 11, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.22175/mmb.11103>
- Safaa, H. M., 2021. Application of Defatted Scenedesmus Obliquus Biomass for Broiler's Nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 23(02), pp. 001-008. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1366>
- Salahuddin, M. et al., 2024. Flight toward Sustainability in Poultry Nutrition with Black Soldier Fly Larvae. *Animals*. 14(3), 510. <https://doi.org/10.3390/ani14030510>
- Shepherd, E. M. & Fairchild, B. D., 2010. Footpad dermatitis in poultry. *Department of Poult Sci*. 89(10):2043-51. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00770>
- Sloth, N.M. Personlig meddelelse om klimafoderdatabasen.
- Spínola, M. P., Costa, M. M. & Prates, J. A. M., 2022. Digestive Constraints of *Artrospira platensis* in Poultry and Swine Feeding. *Foods*. 11(19), 2984. <https://doi.org/10.3390/foods11192984>
- Steenfeldt, S., 2025. ProLocAl Workshop [Interview] (26. February 2025).
- Steenfeldt, S., & Pedersen, J. S. (2025). Freshwater algae as a new protein source for organic broilers, [Poster], espn, 23rd to 26th of June 2025. Maastricht, The Netherlands
- Uguz, S. & Sozcu, A., 2023. Nutritional Value of Microalgae and Cyanobacteria Produced with Batch and Continuous Cultivation: Potential Use as Feed Material in Poultry Nutrition. *Animals*. 13(21), 3431. <https://doi.org/10.3390/ani13213431>
- Wen, C., Yan, W., Zheng, J., Ji, C., Zhang, D., Sun, C., Yang, N., 2018. Feed efficiency measures and their relationships with production and meat quality traits in slow growing broilers. *Poult Sci*. 1;97(7):2356-2364. <https://doi.org/10.3382/ps/pey062>
- Wilcox, C. H., Sandilands, V., Mayasari, N., Asmara, I. Y., 2023. A literature review of broiler chicken welfare, husbandry, and assessment. *World's Poultry Science Journal*. 80(1):1-20. <http://dx.doi.org/10.1080/00439339.2023.2264824>