

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Sammendrag

Langkjeda n-3 fettsyrer har helsebringende effekter som kan forebygge flere av de vanligste livsstilssykdommene. Soyaolje har et høyt innhold av n-6 fettsyrea linolsyre som kan omdannes til, og øke innholdet av arakidonsyre. Linolje og rapsolje har høyt innhold av oljesyre og n-3 fettsyrea α -linolensyre. Ved å øke innholdet av den flerumetta plantefettsyrea α -linolensyre i fôr til enmaga dyr, kan vi øke innholdet av n-3 fettsyrer og redusere innholdet av n-6 fettsyrer i produktene. 51 kyllinger av typen Broiler Ross 308 fordelt på tre grupper fikk tre ulike fôr med enten 5 % soyaolje, 5 % rapsolje, eller 2 % linolje og 3 % rapsolje. Levendevekter og fôrforbruk ble registrert og kyllingene ble slaktet ved 27,5 dagers alder.

Tilsetning av linolje og rapsolje i fôret påvirket ikke produksjonsresultatene sluttvekt, tilvekst og fôrforbruk. Ved å erstatte soyaolje i fôret med linolje og rapsolje ble innholdet av n-6 fettsyrer i brystmuskel redusert med 60 %, mens innholdet av n-3 fettsyrer ble doblet. Innholdet av EPA ble nesten tre ganger høyere i muskel til de kyllingene som fikk linolje og rapsolje i fôret sammenlignet med de som fikk soyaolje, mens innholdet av DPA ble nesten doblet ved tilsetning av linolje og rapsolje. På grunn av færre dobbeltbindinger er oljesyre mindre utsatt for oksidasjon. Innholdet av oljesyre i muskelfett til de kyllingene som fikk linolje og rapsolje er 30 % høyere i forhold til de kyllingene som fikk soyaolje i fôret.

Forholdet mellom linolsyre og α -linolensyre i muskel var fem ganger høyere for de kyllingene som fikk soyaolje i fôret sammenlignet med de som fikk linolje og rapsolje. Forholdet mellom oljesyre og flerumetta fettsyrer i muskel økte med 50 % ved tilsetning av linolje og rapsolje i fôret sammenlignet med soyaolje. Linolje tilsatt sammen med rapsolje i kyllingfôr er derfor god kilde til langkjeda flerumetta n-3 fettsyrer. Siden inntak av de langkjeda n-3 fettsyrene er for lavt i kostholdet vårt, og den beste kilden for disse, som er fiskeolje, på verdensbasis er en begrenset ressurs, er det av stor betydning å øke innholdet av disse fettsyrene i kjøtt.

Abstract

The long-chain n-3 fatty acids have beneficial effects that may prevent some of the most common lifestyle diseases. Soy oil has a high content of n-6 fatty acid linoleic acid which may be converted to arachidonic acid. Linseed oil and canola oil has a high content of oleic acid, and n-3 fatty acid α -linolenic acid. By increasing the content of the polyunsaturated fatty acid α -linolenic acid in diets for monogastric animals, we can increase the content of n-3 fatty

acids and lower contents of n-6 fatty acids in the products. 51 chickens of Broiler Ross 308 divided in three groups received three different diets containing either 5 % soy oil, 5 % canola oil or 2 % linseed oil and 3 % canola oil. Live weights and feed consumption were recorded, and chickens were slaughtered at 27.5 days of age.

Addition of linseed oil and canola oil in the diet did not affect the production performance like final weight, growth and feed consumption. By replacing soy oil in the diet with linseed oil and canola oil, the content of n-6 fatty acids decreased by 60 % while the content of n-3 fatty acids was doubled in muscle. The content of EPA was almost three times higher in the muscle of the chickens receiving linseed oil and canola oil in the diet compared with those fed soy oil, while the content of DPA was almost doubled by the addition of linseed oil and canola oil. Because of fewer double bonds oleic acid is less susceptible to oxidation. The content of oleic acid in muscle fat of the chickens receiving linseed oil and canola oil was 30 % higher compared to the chickens that received soy oil in the diet.

The ratio between linoleic acid and α -linolenic acid in muscle was five times higher for chickens who received soy oil in the diet compared with those fed linseed oil and canola oil. The ratio between oleic acid and polyunsaturated fatty acids in muscle increased by 50 % by the addition of linseed oil and canola oil in the diet compared with soy oil. Linseed oil and canola oil are good sources of long chain polyunsaturated n-3 fatty acids. Since these fatty acids are healthy for us, and since their main source that is fish oil in the world is a limited resource, it is of great importance to increase the concentration of these fatty acids in meat.

Forord

Jeg fikk mine første høns da jeg var tre år gammel, og siden har jeg vært lidenskapelig interessert i fjørfe. Derfor ville jeg skrive masteroppgaven på slaktekylling, og etter å ha forhørt meg etter muligheter kom jeg i kontakt med Anna Haug, førsteamanuensis ved Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap. Hun skulle gjennomføre et fôringsforsøk på kylling ved Senter for husdyrforsøk høsten 2009. Masteroppgaven min inngår i et større forsøk hvor det skal ses på hvordan ulike tilsetninger av planteoljer, histidin og selen i fôret virker på sammensetning og kvalitet på kyllingkjøtt. Jeg har sett på hvordan tre ulike planteoljer; soyaolje, rapsolje og linolje, påvirker fettsyresammensetningen i brystmuskel.

Jeg har fått muligheten til å delta aktivt i alle prosesser av prosjektet. Under forsøket i november deltok jeg i flytting av kyllingene fra batteribur over på enkeltbur, og var med på å registrere levendevekter og fôrforbruk. Dessuten hjalp jeg til under avslutningen av forsøket med å ta ut prøver til analyser. I januar var jeg med på laboratoriet ved Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap og opparbeidet prøvene til analyse av fettsyresammensetning.

Jeg vil takke alle som har bidratt til oppgaven, ikke minst Anna Haug som har vært meget hjelpelig og som alltid har tatt seg god tid når jeg har kommet innom. Det har vært en meget lærerik periode, og jeg er glad jeg fikk muligheten til å være med på dette prosjektet.

Ås, 10. mai 2010

Liv Marit Biltvedt

Innholdsliste

| | |
|--|----|
| Sammendrag..... | 1 |
| Abstract | 1 |
| Forord | 3 |
| Innholdsliste | 4 |
| 1 Innledning..... | 5 |
| 2 Bakgrunn | 9 |
| 2.1 Fordøyelse og absorpsjon av fett | 9 |
| 2.2 Fettsyrer | 10 |
| 2.3 Essensielle fettsyrer | 12 |
| 2.4 Fettsyresyntese..... | 12 |
| 3 Material og metode..... | 14 |
| 3.1 Fôret..... | 14 |
| 3.2 Forsøket | 15 |
| 3.3 Analysemetoder | 16 |
| 3.3.1 Fettsyresammensetning..... | 16 |
| 3.3.2 Statistiske analyser..... | 17 |
| 4 Resultater..... | 17 |
| 4.1 Produksjonsresultater..... | 17 |
| 4.2 Fettsyresammensetning i fôret..... | 19 |
| 4.3 Fettsyresammensetning i muskel..... | 21 |
| 4.4 Ratioer | 22 |
| 4.5 Fettinnhold..... | 23 |
| 5 Diskusjon..... | 23 |
| 5.1 Produksjonsresultater..... | 23 |
| 5.2 Fettsyresammensetning i fôret..... | 24 |
| 5.3 Fettsyresammensetning i muskel..... | 25 |
| 5.4 Ratioer | 27 |
| 5.5 Fettinnhold..... | 28 |
| 6 Konklusjon | 29 |
| 7 Litteraturliste | 30 |

1 Innledning

I vestlige land har kostholdet for høyt innhold av n-6 fettsyrer i forhold til n-3 fettsyrer, forholdet er hevdet å være rundt 15:1 (Simopoulos 2002). Det er debattert hva som er et optimalt forhold, men da vårt genom ble dannet var kanskje forholdet 1:1 (Simopoulos 2002). Dagens kosthold består av mye korn, og korn har i forhold til grønne bladplanter et høyt innhold av n-6 fettsyrer og et lavt innhold av n-3 fettsyrer og antioksidanter (Simopoulos 2002). Forholdet av eikosanoider fra arakidonsyre (C20:4 n-6) er større enn eikosanoider fra eikosapentaensyre (EPA, C20:5 n-3) på grunn av et høyere innhold av n-6 fettsyrer i kosten (Simopoulos 2002). Enkelt kan man si at eikosanoider fra EPA har mild virkning, mens eikosanoider fra arakidonsyre virker sterkere (Schmitz & Ecker 2008). I tillegg til å være utgangssyre for eikosanoider inngår også arakidonsyre i membranlipider i alle vev (Ward & Singh 2005).

Eikosanoider er en fellesbetegnelse på prostaglandiner, tromboksaner, prostasykliner og leukotriener (Nes et al. 2006). Prostaglandiner inngår i immunsystemet og påvirker hormoner, tromboksaner øker blodtrykket, mens prostasykliner senker blodtrykket og leukotriener medvirker i betennelser (Nes et al. 2006). Store mengder av eikosanoider fra arakidonsyre kan føre til allergiske og inflammatoriske lidelser, samt øke spredning av celler (Simopoulos 2002). Pasienter med kreft, hjertefeil, leddgikt, skjelettmuskulære lidelser og HIV er spesielt utsatt for eikosanoider fra n-6 fettsyrer, så ved å gi dem et kjøtt med lavere innhold av arakidonsyre og et bedre forhold mellom n-6 og n-3 fettsyrene, kan man redusere bruk av medisin (Haug et al. 2010).

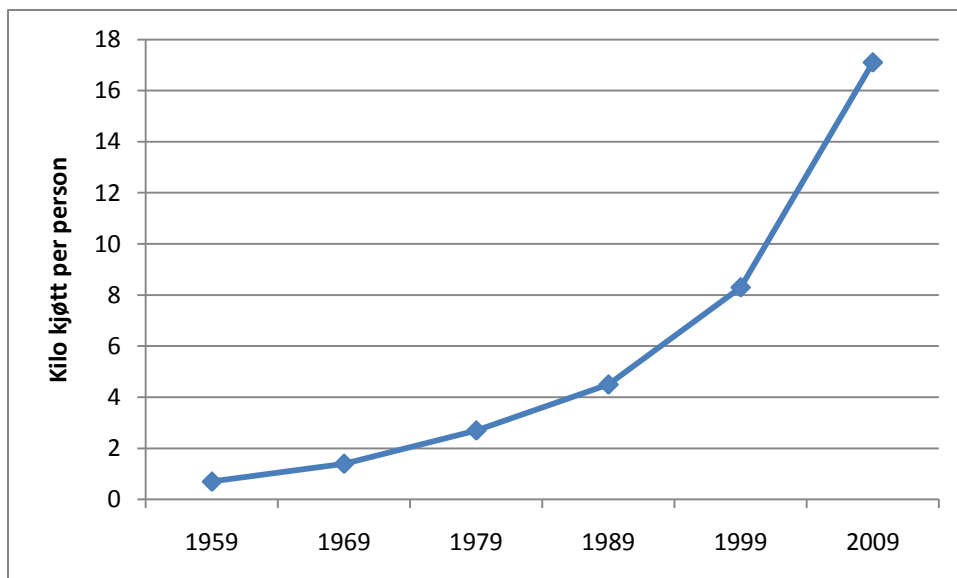
Ulike planteoljer får ulike egenskaper på grunn av forskjeller i fettsyresammensetning, tabell 1. Soyaolje har et høyt innhold av den flerumetta fettsyra linolsyre (C18:2 n-6), dessuten den enumetta fettsyra oljesyre (C18:1 n-9). Mens soyaolje utvinnes gjennom ekstraksjon, utvinnes raps- og linolje ved kaldpressing av frøene. Rapsolje har et høyt innhold av oljesyre, men også av linolsyre og α -linolensyre (C18:3 n-3). Linolje har et høyt innhold av α -linolensyre og oljesyre.

Tabell 1 Fettsyresammensetningen i soyaolje, rapsolje og linolje i gram per 100 gram vare (National Agricultural Library 2010).

| | Soyaolje | Rapsolje | Linolje |
|----------------------|----------|----------|---------|
| C16:0 palmitinsyre | 10,5 | 4,3 | 5,3 |
| C16:1 palmitolensyre | | 0,2 | |
| C18:0 stearinsyre | 4,4 | 2,1 | 4,1 |
| C18:1 oljesyre | 22,6 | 61,7 | 20,2 |
| C18:2 linolsyre | 51,0 | 19,0 | 12,7 |
| C18:3 linolensyre | 6,8 | 9,1 | 53,3 |
| C20:0 archinsyre | 0,4 | 0,7 | |
| C20:1 gadoleinsyre | 0,2 | 1,3 | |
| C22:0 behensyre | 0,4 | 0,3 | |

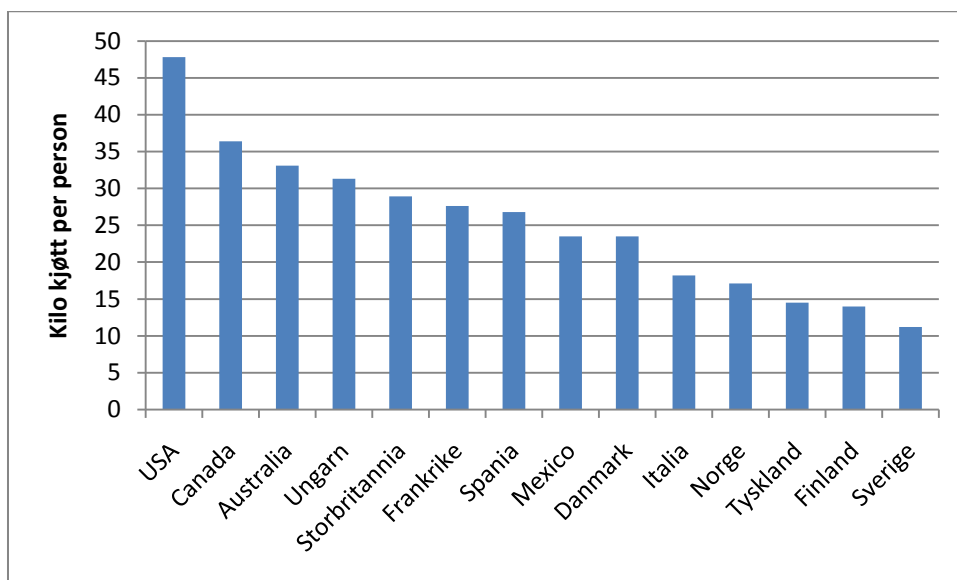
Det er ønskelig med et høyere innhold av langkjeda n-3 fettsyrer som EPA og dokosaheksaensyre (DHA, C22:6 n-3) i kostholdet. Dette er fettsyrer vi i hovedsak finner i fisk (Rymer & Givens 2005). Innholdet av de langkjeda n-3 fettsyrene kan også økes gjennom kosttilskudd. Det er imidlertid tryggere å innta EPA og DHA gjennom naturlig kosthold, hvor de tas opp sammen med næringsstoffer som selen, glutation, karnosin og taurin som hindrer oksidering in vivo, enn via piller (Haug et al. 2010).

Kylling har en sentral plass i det norske kostholdet. Forbruket av hvitt kjøtt har hatt en firedobling de siste 20 årene, og i 2009 konsumerte hver nordmann 17,1 kilo hvitt kjøtt (Opplysningskontoret for egg og hvitt kjøtt 2010). Hvitt kjøtt omfatter 80 % kylling og 20 % kalkun (Opplysningskontoret for egg og hvitt kjøtt 2010). Årsaker til stadig økning i forbruket av hvitt kjøtt, figur 1, kan være tilgjengeligheten av mange lettlagde porsjonspakninger som appellerer til folk med en travel hverdag, men fjørfekjøtt er også magert og næringsrikt, og dermed utpekt som et sunt produkt.



Figur 1 Utviklingen i forbruket av hvitt kjøtt i Norge de siste 50 årene (Opplysningskontoret for egg og hvitt kjøtt 2010).

Sammenligner man forbruket av hvitt kjøtt i Norge med andre europeiske land, figur 2, er forbruket i Norge litt under gjennomsnittet i EU med 21,3 kilo kjøtt (Opplysningskontoret for egg og hvitt kjøtt 2010). USA er det vestlige landet i verden hvor det konsumeres mest hvitt kjøtt, med hele 47,8 kilo per person per år (Opplysningskontoret for egg og hvitt kjøtt 2010).



Figur 2 Forbruk av fjørfekjøtt i noen vestlige land i 2009 (Opplysningskontoret for egg og hvitt kjøtt 2010).

Hvis vi sammenligner forbruket av hvitt kjøtt med andre kjøttslag i Norge, tabell 2, ser vi generelt at forbruket av kjøtt øker, og at svinekjøtt alltid har vært det mest spiste kjøttet (Helsedirektoratet 2010). Forbruket av kjøtt fra storfe, sau og lam har økt de siste 50 årene, men forbruket av kalv og annet kjøtt har gått ned (Helsedirektoratet 2010).

Tabell 2 Forbruket av kjøtt per innbygger i Norge de siste 50 årene (Helsedirektoratet 2010). Annet kjøtt omfatter kje, geit, hest, tamrein og kanin.

| | 1959 | 1969 | 1979 | 1989 | 1999 | 2009 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Storfe | 11,4 | 12,8 | 19,0 | 17,0 | 19,9 | 19,2 |
| Kalv | 2,2 | 1,7 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| Sau og lam | 4,3 | 4,8 | 5,5 | 5,9 | 5,3 | 5,5 |
| Svin | 14,2 | 17,4 | 21,2 | 19,5 | 23,0 | 25,4 |
| Fjørfe | 0,7 | 1,4 | 2,7 | 4,6 | 8,4 | 17,6 |
| Annet | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 0,8 | 0,5 |
| Sum | 34,0 | 39,1 | 49,7 | 48,3 | 57,7 | 68,6 |

Produksjon av kyllingkjøtt er en svært intensiv næring. På en måned er kyllingen klar til slakt og den har oppnådd en slaktevekt på litt over en kilo, som tilsvarer å doble vekta si 40 ganger. Kyllingene går fritt i store rom med flis, med et strengt lys- og temperaturprogram. Fôret er den største kostnaden i slaktekyllingproduksjon, derfor er det viktig at fôret dekker kyllingens næringsbehov til enhver tid. Kyllingene har fri tilgang på fôr, og i oppdrettet blir det benyttet tre typer fôr. De første ukene er avleiring av kroppsvev størst og kyllingene trenger et fôr med høyt innhold av protein og aminosyrer. Det er vanlig at kyllingene går på et startfôr frem til de er ti til 14 dager gamle. Deretter får de et vekstfôr med et lavere innhold av protein. Minimum en dag før slakt får kyllingene et slutfôr uten koksidiostatika. Fôr til slaktekylling tilsettes koksidiostatika for å motvirke tarmsykdommen koksidirose, og det er viktig at konsumentene ikke får i seg noe antibiotikum. Hovedbestanddelen i fjørfefôr er korn og det benyttes hvete og havre, samt mais. En mer naturlig diett for fjørfe består av et høyere innhold av grønne planter som bidrar til mer av n-3 fettsyra α -linolensyre. Siden korn og fôrfett har et høyt innhold av n-6 fettsyra linolsyre blir det derfor et unaturlig høyt forhold mellom n-6 og n-3 fettsyrer i dagens kyllingfôr.

Metta og umetta fettsyrer dannes metabolsk og påvirkes lite av fettsyresammensetningen i fôret (Wood & Enser 1997). Vi kan dermed ikke redusere innholdet av metta fettsyrer i

kyllingkjøtt noe særlig, men vi kan påvirke sammensetningen av de flerumetta fettsyrene i stor grad. Ved å tilføre mer α -linolensyre og begrense innholdet av linolsyre i kostholdet, kan vi øke innholdet av n-3 fettsyrer hos mennesker (Haug et al. 2007). I dag benyttes soyaolje i slaktekyllingfôr. Ved å erstatte tilsetning av soyaolje i fôr med andre planteoljer som er rike på α -linolensyre som rapsolje og linolje, ønsker vi å påvirke forholdet mellom de flerumetta n-6 og n-3 fettsyrene. Vi ønsker å få et lavere innhold av arakidonsyre og et høyere innhold av EPA og DHA i kjøtt. I dag er det fisk som har høyest innhold av langkjeda n-3 fettsyrer, men forbruket av fisk er lavt, spesielt blant unge mennesker. Vi ønsker at kyllingkjøtt som produseres her i landet skal være nesten like sunt som fisk med tanke på fettsyresammensetning.

2 Bakgrunn

2.1 Fordøyelse og absorpsjon av fett

Fôret består av karbohydrater, proteiner og lipider, i tillegg til mineraler og vitaminer. Proteiner er byggesteiner for kroppen, mens lipider og karbohydrater gir energi. Ved forbrenning i kroppen gir lipider dobbelt innhold av energi (38 kJ/g) sammenlignet med karbohydrater og proteiner (17 kJ/g) (Nes et al. 2006). Triglyseridene utgjør hoveddelen av lipider i matvarene, og det er triglyserider som ofte betegnes som fett. Planter inneholder også fett i form av galaktoglyserider og fosfolipider.

Triglyserider er bygd opp av glyserol og tre fettsyrer, ofte tre fettsyrer med ulik kjedelengde. Ved fordøyelse spalter enzymet pankreaslipase av to fettsyrer i triglyseridet, men den midtre fettsyra beholdes og danner monoglyserid (McDonald et al. 2002). Fett løser seg ikke i vann, men lipasen er vannløselig. I tarm foreligger fett som store dråper. Gallesalter som har både en fettløselig og en vannløselig del reduserer størrelsen på fettdråpene, slik at grenseflaten mellom vann og fett øker (Sjaastad et al. 2003). Gallesaltene danner miceller med en fettløselig kjerne som kan ta opp monoglyserider og frie fettsyrer. Gjennom micellene kan både fettsyrer og monoglyserid tas opp i epitelceller i tynntarmen. I epitelcellene danner monoglyserid og fettsyrene igjen triglyserider. Enmaga dyr absorberer fôrfettet relativt uforandret fra tynntarm og man kan påvirke produktets sammensetning gjennom fôring (Coetzee & Hoffman 2002).

Enmaga dyr avleirer noe fôrfett og andre fettforbindelser som kroppsfett, slik at fôret kan sette smak på kjøttet. Blant annet kan man ikke benytte særlig store mengder med fiskebiprodukter

(Gjefsen 1998). Ved å tilsette ekstra fett i fôret øker man energikonsentrasjonen som igjen påvirker produktivitet og fôreffektivitet. På grunn av et høyere energibehov kan dyr i vekst ha et høyere innhold av fett i fôret. Fett inndeles etter sin opprinnelse fra planter (vegetabilsk fett) eller dyr (animalsk fett). Fett fra planter finnes som regel i frø og frukt, og er som regel oljer, mens animalsk fett inneholder som regel mer metta fettsyrer og er i fast form ved romtemperatur.

2.2 Fettsyrer

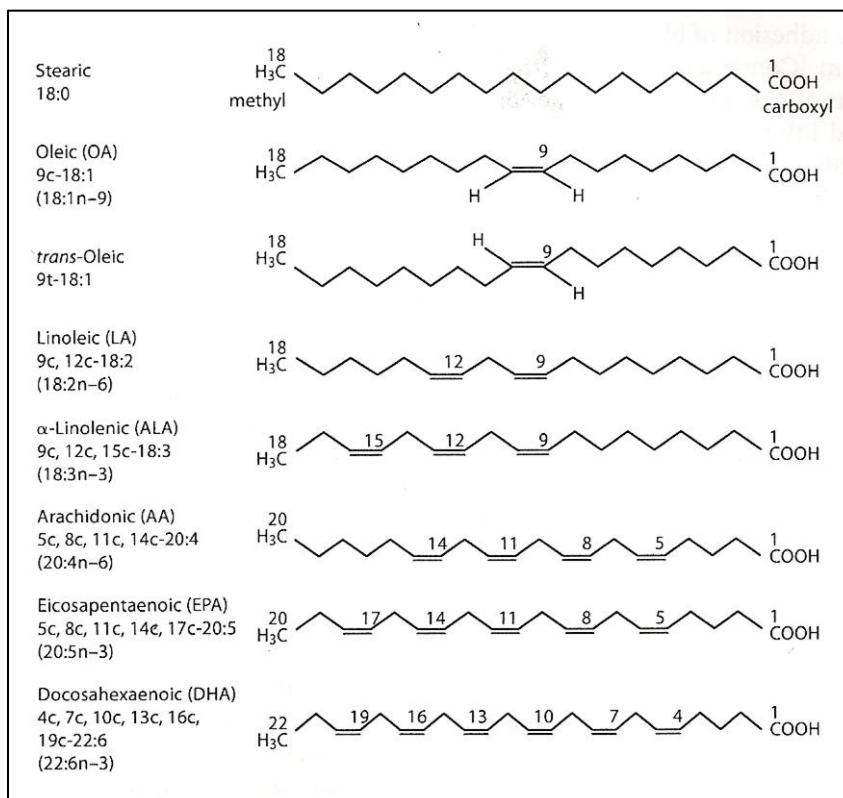
Fettsyrer består av repeterende enheter av metylgrupper (CH_2). I den ene enden av hydrokarbonkjeden er det en karboksylsyre (COOH) og i den andre enden en metylgruppe (CH_3), figur 3. Metylenden omtales også som omega (ω), siden omega er den siste bokstaven i det greske alfabetet og metylenden ligger lengst unna karboksylsyren. Betegnelsen n- kan benyttes i stedet for omega. Fettsyrer inndeles i metta og umetta fettsyrer. Metta fettsyrer består av enkeltbindinger mellom karbonatomene slik at et karbonatom er bundet til to andre karbonatomer og to hydrogenatomer. Karbonkjeden er da metta med hydrogen. Metta fettsyrer lar seg på grunn av strukturen pakke tett. Metta fettsyrer inndeles etter kjedelengde. Korte metta fettsyrer har tre til sju karbonatomer, mellomlange fettsyrer har åtte til 13 karbonatomer og lange har mellom 14 og 20 karbonatomer, veldig lange metta fettsyrer har over 21 karbonatomer (Ratnayake & Galli 2009). De vanligste metta fettsyrene er palmitinsyre ($\text{C}_{16:0}$) og stearinsyre ($\text{C}_{18:0}$), men også laurinsyre ($\text{C}_{12:0}$) og myristinsyre ($\text{C}_{14:0}$) er vanlige metta fettsyrer (Nes et al. 2006).

Umetta fettsyrer har en eller flere dobbeltbindinger. Dobbeltbindinger dannes ved at desaturaseenzymer fjerner to hydrogenatomer, og setter inn en dobbeltbinding mellom de to karbonatomene med kun ett hydrogenatom. Umetta fettsyrer deles inn i enumetta og flerumetta fettsyrer. Enumetta fettsyrer har kun en dobbeltbinding, mens flerumetta har to eller flere dobbeltbindinger. Dobbeltbindingene gjør fettsyrene mer reaktive enn fettsyrer med kun enkeltbindinger (Ratnayake & Galli 2009). Kortere kjedelengde gir lavere smeltepunkt (Nes et al. 2006). Siden flere dobbeltbindinger gjør fettsyrene mer reaktive er de mer utsatte for oksidasjon (O'Neill et al. 1998; Rymer & Givens 2005), og trenger tilsetninger av stoffer som kan redusere tendens til oksidasjon.

Korte umetta fettsyrer har 19 eller færre karbonatomer, lange mellom 20 og 24, og veldig lange har 25 karbonatomer og flere (Ratnayake & Galli 2009). Hvor dobbeltbindingen er plassert i kjeden (stillingsisomeri) og dens romlige struktur kan påvirke fettsyrenes biologiske

egenskaper (Nes et al. 2006). Når hydrogenatomene er plassert på samme side kalles det for cis, som er den vanligste formen. Trans kalles det imidlertid når hydrogenatomene er plassert på motsatt side av hverandre, og trans oppstår ved herding. Den vanligste enumetta fettsyra er oljesyre, og forekommer i omtrent like store mengder som den flerumetta fettsyra linolsyre (Ratnayake & Galli 2009). De vanligste transfettsyrene er isomere former av oljesyre (Ratnayake & Galli 2009).

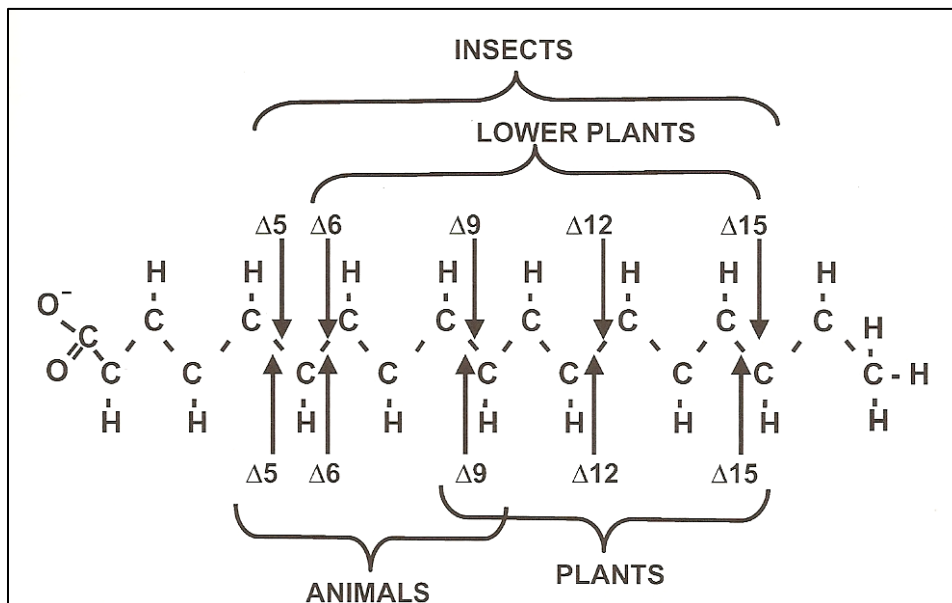
Når man skal angi kjedelengden til en fettsyre begynner man å telle fra karboksylenden, hvor karbonatomet i karboksylsyren har atomnummer en. C18:0 er notasjon for fettsyra stearinsyre, C18 står for 18 karbonatomer, og i denne fettsyra er det ingen dobbeltbindinger, så etter kolon står det null. I oljesyre med en dobbeltbinding blir da notasjonen C18:1. Plasseringen av dobbeltbindingen nevnes ved det laveste tallet mellom de to karbonatomene, telt fra karboksylenden. Det er plasseringen av den ytterste dobbeltbindingen som bestemmer de ulike n-seriene eller familiene, eksempelvis n-3, n-6 eller n-9. Det finnes ulike måter å omtale plasseringene av dobbeltbindingene, figur 3, i n-systemet nevner man kun dobbeltbindingen nærmest metylenden, C18:1 n-9. I Δ -systemet teller man antall karbonatomer mellom karboksylenden og dobbeltbindingen, og tar med dens romlige struktur, altså cis- Δ 9-C18:1.



Figur 3 Struktur over noen vanlige fettsyrer (Ratnayake & Galli 2009).

2.3 Essensielle fettsyrer

Pattedyr kan danne dobbeltbindinger i $\Delta 9$ posisjonen, men kan ikke danne dobbeltbinding nærmere metylenden. Kun planter og noen insekter kan produsere dobbeltbindinger i posisjoner over $\Delta 9$, se figur 4 (Cook & McMaster 2002). Fettsyrer som ikke kan produseres gjennom metabolske prosesser må tilføres gjennom maten, og kalles essensielle fettsyrer. Det er kun to fettsyrer som regnes som essensielle, nemlig linolsyre og α -linolensyre. Linolsyre og α -linolensyre er utgangssyrer for langkjeda flerumetta fettsyrer. Linolsyre gir opphavet til n-6 familien, mens α -linolensyre er opphavet til n-3 familien. Forlenga fettsyrer fra n-6 og n-3 familiene med kjedelengder på 20 og 22 karbonatomer trengs for utvikling av hjerne, røde blodceller, leukocytter og hud (Ratnayake & Galli 2009). Linolsyre og α -linolensyre inngår som fosfolipider i cellemembraner og er utgangspunkt for signalmolekylene eikosanoider (Nes et al. 2006).

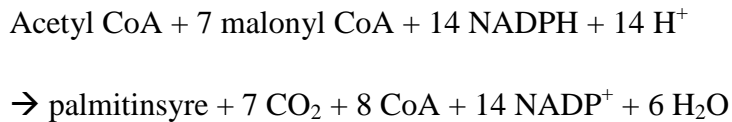


Figur 4 Ulike desaturaseenzymer i insekter, planter og dyr (Cook & McMaster 2002).

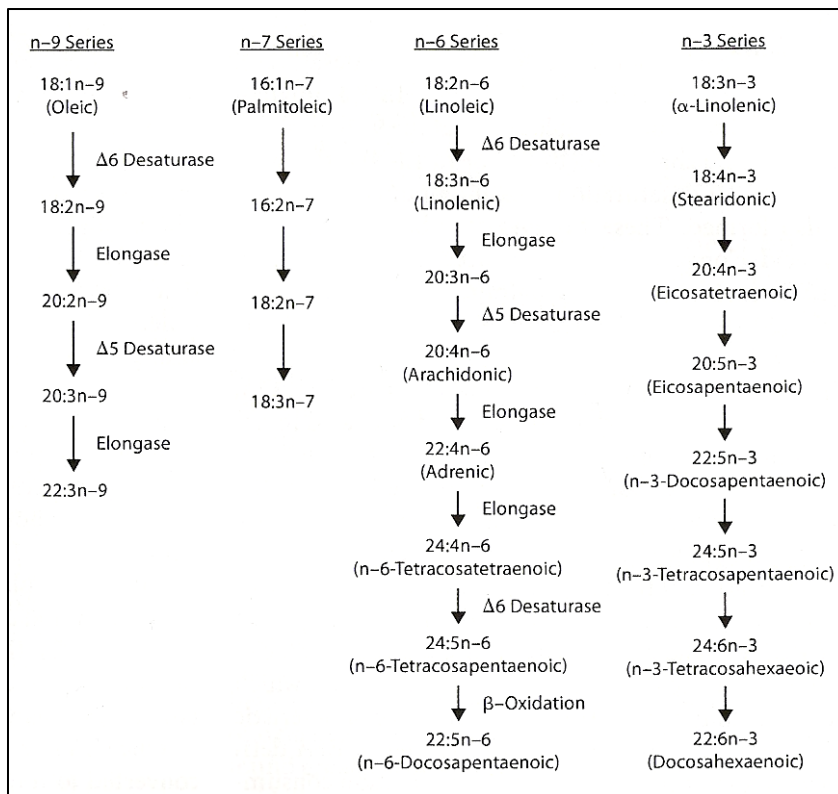
2.4 Fettsyresyntese

Fett fra kraftfôret tas opp i tynntarm og fraktes i lymfen ut i blod og videre ut i vevene. Linolsyre og α -linolensyre kan ikke syntetiseres, men metta og enumetta fettsyrer kan syntetiseres, og innholdet i vevene avhenger ikke av dietten (Wood & Enser 1997). I cytosol produseres de fleste fettsyrene kyllingen trenger gjennom de novo fettsyresyntese. Fettsyrer blir dannet gjennom tilsetning av tokarbonenheter fra acetyl CoA. Til syntesen trengs det tilstrekkelige mengder av NADPH og acetyl CoA. Først omdannes acetyl CoA til malonyl

CoA gjennom karboksylering ved acetyl CoA karboksylase (Rangan & Smith 2002). Videre danner acetyl CoA og malonyl CoA korte metta fettsyrer ved hjelp av NADPH. Den lengste syra som kan dannes gjennom de novo fettsyresyntese er palmitinsyre. Deretter kan palmitinsyre ved elongering danne stearinsyre og enda lengre metta fettsyrer. Syntetiserte fettsyrer går over i adiposevev. Reaksjonslikningen for fettsyre syntese blir som følger (Rangan & Smith 2002):



Ratnayake & Galli (2009) har beskrevet syntesen av lengre fettsyrer ut fra de essensielle fettsyrene, se figur 5. Begge de essensielle fettsyrene bruker det samme systemet med desaturaser og elongsaser, så det blir en konkurranse om enzymene. Det første som skjer er at det settes inn en dobbeltbinding i posisjon $\Delta 6$, linolsyre danner da γ -linolensyre (C18:3 n-6), og α -linolensyre danner oktadekatetraensyre (C18:4 n-3). Videre utvides kjedelengden med to karbonatomer ved elongaseenzymer, og danner dihomogamma-linolensyre (C20:3 n-6) og eikosatetraensyre (C20:4 n-3). En ny dobbeltbinding settes inn ved $\Delta 5$ -desaturase og vi har nå fått arakidonsyre og EPA. Det er større affinitet for $\Delta 6$ for α -linolensyre enn linolsyre, men det er større konsentrasjon av linolsyre i dietten så derfor dannes det mer arakidonsyre (Ratnayake & Galli 2009). Ut fra arakidonsyre og EPA utvides kjedelengden med to karbonatomer, og det dannes adrensyre (C22:4 n-6) og dokosapentaensyre (DPA, C22:5 n-3). Ytterligere to karbonatomer blir satt inn ved elongering og vi får tetrakosatetraensyre (C24:4 n-6) og tetrakosapentaensyre (C24:5 n-3). En ny dobbeltbinding blir satt inn ved $\Delta 6$ -desaturase, og danner tetrakosapentaensyre (C24:5 n-6) og tetrakosaheksaensyre (C24:6 n-3). Ved β -oksidasjon reduseres to karbonatomer, og vi får n-6 dokosapentaensyre (C22:5 n-6) og DHA. Det blir dannet lite DHA på grunn av den kjemper om $\Delta 6$ -desaturase med både oljesyre, linolsyre og α -linolensyre. DHA er en viktig komponent i hjertevev og i utviklingen av hjerne og retina hos nyfødte (Ward & Singh 2005).



Figur 5 Omsetningsveier for n-9, n-7, n-6 og n-3 familiene (Ratnayake & Galli 2009).

3 Material og metode

3.1 Fôret

Tre ulike dietter med melfôr ble benyttet i forsøket. Diettene var basert på hvete, havre, maisgluten og soyamel, og de inneholdt henholdsvis 5 % soyaolje, 5 % rapsolje eller 2 % linolje og 3 % rapsolje. Dietten med lin- og rapsolje er satt sammen etter erfaringer fra tidligere forsøk (Haug et al. 2007). I tillegg er alle fôrene tilsatt histidin og selen som begge innehar antioksidative egenskaper (Haug et al. 2008a; Haug et al. 2008b). Oversikt over alle ingrediensene er vist i tabell 3. Fôret ble produsert ved ForTek.

Tabell 3 Prosentvis diettsammensetning i de tre fôrene.

| | Soyaolje | Rapsolje | Lin- og rapsolje |
|-------------------|----------|----------|------------------|
| Hvete | 45 | 45 | 45 |
| Havre | 15 | 15 | 15 |
| Maisgluten | 10 | 10 | 10 |
| Soyamel | 17 | 17 | 17 |
| D-fett | 3 | 3 | 3 |
| Soyaolje | 5 | 0 | 0 |
| Rapsolje | 0 | 5 | 3 |
| Linolje | 0 | 0 | 2 |
| Histidin | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Selen | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Kolinklorid | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Monokalsiumfosfat | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Malt kalkstein | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| Natriumklorid | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Natriumbikarbonat | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Mineral premix | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Vitamin A | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Vitamin E | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| Vitamin ADBK | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| Vitamin D3 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| L-lysin | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| DL-metionin | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| L-threonin | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

Mineralpremixen i fôret er fra Felleskjøpet og inneholder 20,9 % kalsium, 50 000 mg/kg jern, 40 000 mg/kg mangan, 70 000 mg/kg sink, 10 000 mg/kg kobber(II) sulfat, 500 mg/kg jod, 200 mg/kg natriumselenit og 63,3 % kalksteinsmel.

3.2 Forsøket

Forsøket ble gjennomført i kyllinghuset til Senter for husdyrforsk. Det ble benyttet 60 daggamle Broiler Ross 308 hanekyllinger fra Nortura Samvirkekylling. Kyllingene ble

tilfeldig fordelt i tre grupper og satt på batteribrett. De tre diettene ble fordelt på de tre gruppene. Etter 13 dager ble kyllingene veid, og 17 kyllinger fra hver gruppe ble satt på enkeltbur, mens de med dårligst tilvekst ble tatt ut av forsøket. Som vist av Haug og medarbeidere (2010) trengs det ca 15 kyllinger per gruppe i et fôringsforsøk med ulike oljer for at man skal kunne avdekke effekter av fôret på fettsyresammensetningen i muskel. Den 20. dagen ble vekten til kyllingene igjen registrert, og ved 27 eller 28 dagers alder ble kyllingene slaktet. Levendevekten på kyllingene ble registrert før avliving. Avlivingen foregikk ved å svimeslå kyllingene, kutte strupen, og deretter henge de opp til avblødning. Til fettsyreanalyse ble $\frac{1}{4}$ av høyre brystfilet tatt ut og frosset ned ved -20°C .

Det ble benyttet vanlig temperaturprogram for kyllinger med 32°C de tre første dagene, for deretter å senke temperaturen med en halv grad hver dag frem til temperaturen var 21°C ved 21 dagers alder. Det første døgnet hadde kyllingene lys i 24 timer, de neste seks døgnene 23 timer lys, og deretter daglig to mørkeperioder på fire timer, mellom klokken 17-21 og 00-04. Etter to uker ble dyra fôret enkeltvis og fôropptaket ble registrert ved veiing ved tre ukers alder og ved avslutning av forsøket. Siden det ble benyttet melfôr måtte maten innimellom ristes ned fra veggene i boksen for å unngå substratpreferanse.

3.3 Analysemetoder

3.3.1 Fettsyresammensetning

Fettsyresammensetningen i fôr og muskel ble bestemt ved gasskromatografi. Fatty acid metyl esters (FAME) ble preparert etter beskrivelser av O'Fallon (2007), men i stedet for 1 gram ble det tatt ut 0,8 gram prøve fra muskel. Prøven ble skåret i tynne strimler og tilsatt 0,8 ml av intern standard C13:0 i Pyrexrør med skrukork. Videre ble det tilsatt 0,56 ml 10 N KOH i vann og 4,24 ml MeOH. Prøvene stod i vannbad på 55°C i halvannen time hvor de måtte håndristes i fem sekunder hvert tjuende minutt. Prøvene ble så avkjølt til romtemperatur og tilsatt 0,464 ml av 24 N H_2SO_4 i vann. Prøvene ble igjen satt i vannbad i halvannen time med håndristing hvert tjuende minutt. Prøvene ble så avkjølt og tilsatt 2,4 ml heksan for så å bli ristet i fem minutter. Etter fem minutter med sentrifugering ble heksanlaget til slutt pippetert av.

Separasjon av FAME ble utført ved smeltet silisiumdioksid kapillær kolonne (200 m x 0,25 mm i.d. x 0,25 μm). Bæregassen var H_2 og trykket 309,4 kPa. Utgangstemperaturen i ovnen var 70°C og etter fire minutter økte temperaturen med 20°C i minuttet til 160°C , og etter 15 minutter økte temperaturen med 3°C i minuttet til 230°C . Analysene ble utført ved

automatisk injeksjon av 1 μ L av hver prøve med et split ratio på 30:1, strømningsraten av bæregassen H₂ var på 68,4 ml per minutt og temperaturen 280 °C. Temperaturen på flamme inoiserings injektoren med H₂ var 290 °C.

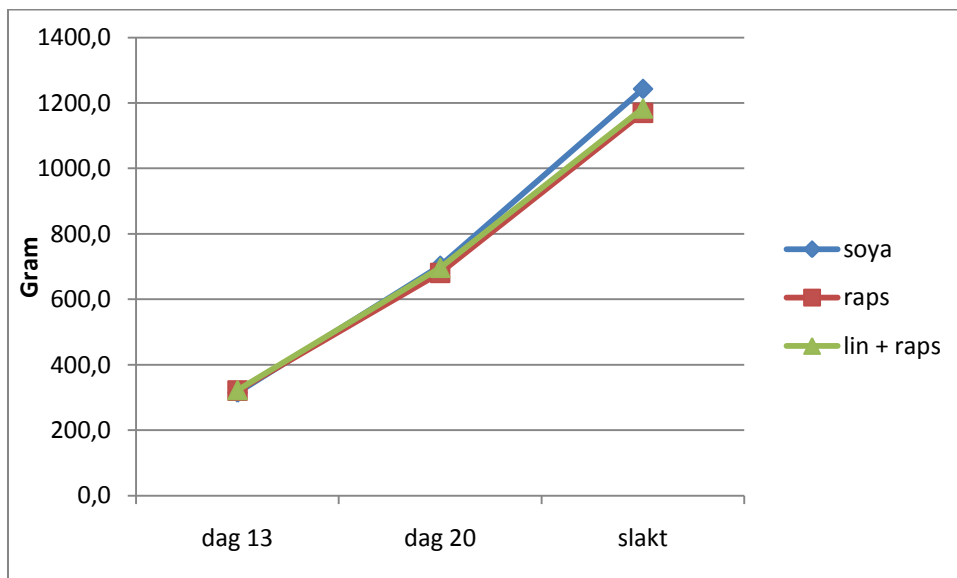
3.3.2 Statistiske analyser

Enveis variansanalyse ble utført ved bruk av GLM prosedyrer ved SAS programvare (SAS Institute 2002). Signifikante forskjeller mellom diettene ble bestemt ved bruk av Ryan-Einot-Gabriel-Welsch multiple range test, ved en signifikans på under 5 % (P<0,05). Som et mål på tilfeldig variasjon ble kvadratrot av gjennomsnittlig standard feil (RSD) benyttet.

4 Resultater

4.1 Produksjonsresultater

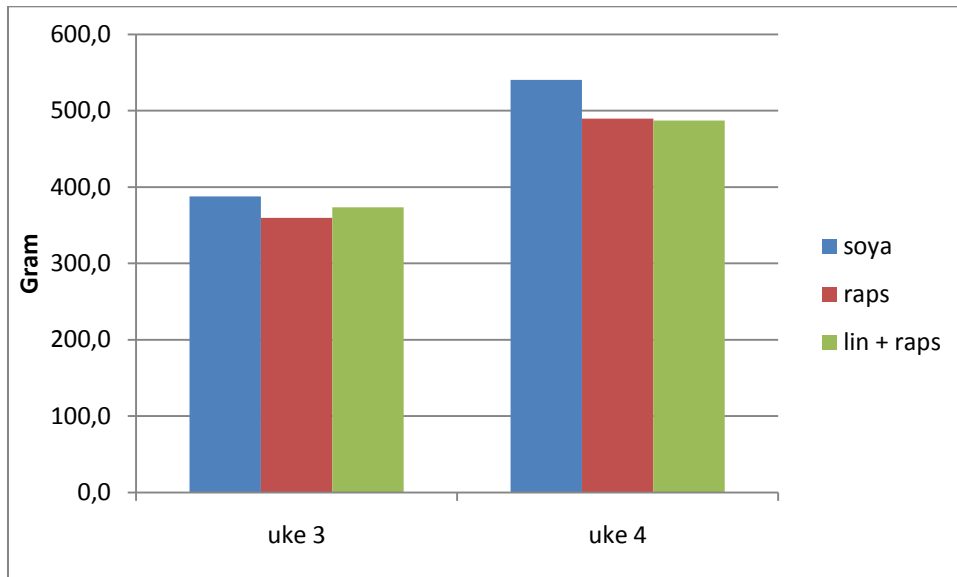
I gruppa som fikk soyaolje i føret døde ingen av kyllingene, mens i gruppa som fikk rapsolje døde to stykker og i gruppa med lin- og rapsolje døde en kylling. Ved å se på vektutviklingen til kyllingene, figur 6, lå alle tre gruppene likt ved veiing etter to og tre uker på henholdsvis ca 320 og 690 gram. Den gjennomsnittlige levendevekten på kyllingene ved 27,5 dagers alder var for de kyllingene som hadde fått soyaolje i føret 1243 gram, for de med rapsolje 1170 gram og de med lin-og rapsolje 1183 gram.



Figur 6 Levendevokter ved veiing dag 13, dag 20 og før avliving for de tre diettene.

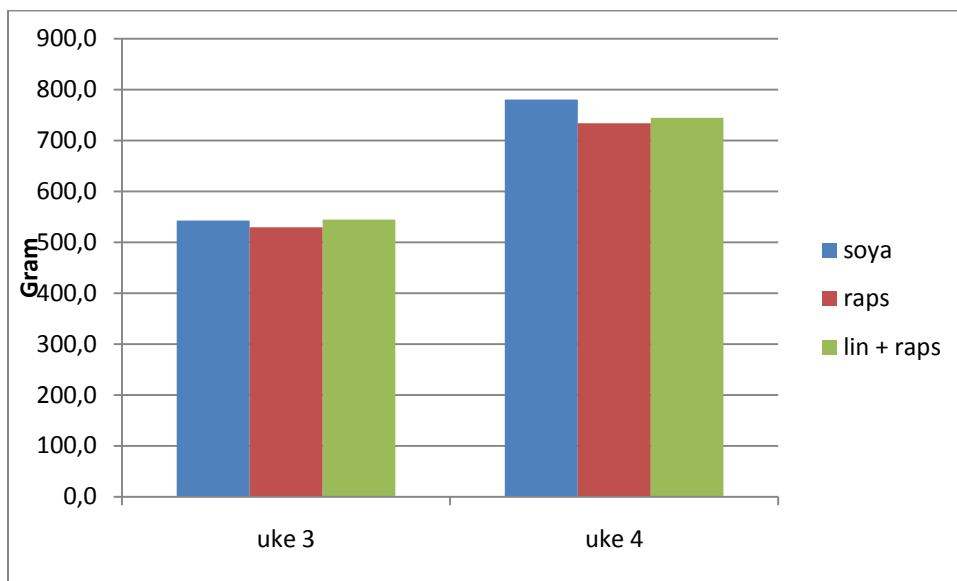
Tilveksten til kyllingene, figur 7, viser at det var en tendens (P>0,05) til at de kyllingene som fikk soyaolje hadde best tilvekst både den tredje og den fjerde uka. Det ser også ut til å være

en tendens ($P>0,05$) til at de kyllingene som fikk lin- og rapsolje hadde bedre tilvekst den tredje uka, men at forskjellen utjevner seg den fjerde uka. I den tredje uka lå den daglige tilveksten rundt 50-55 gram, mens i den fjerde uka rundt 75-80 gram.



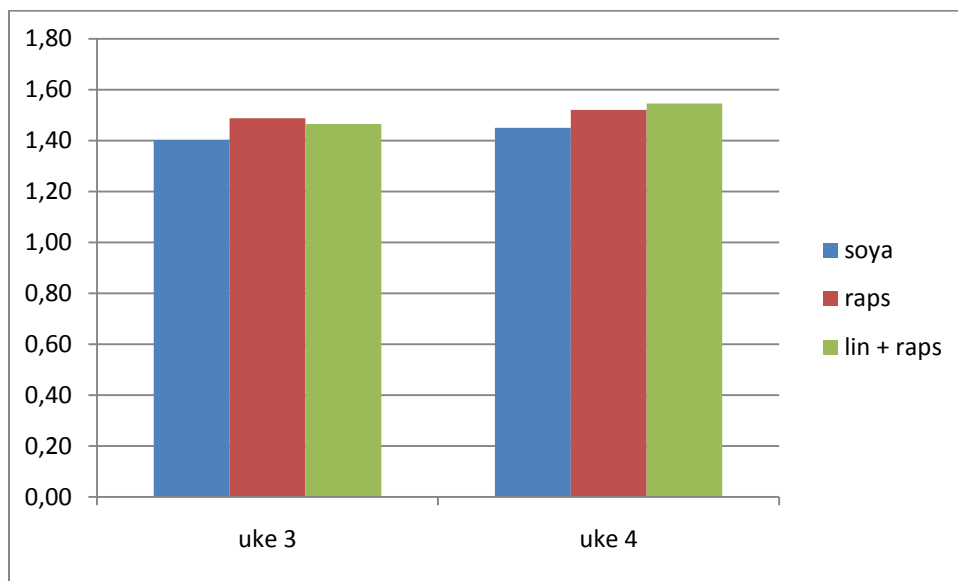
Figur 7 Tilvekst for de tre diettene i tredje og fjerde uke.

Figur 8 viser fôrforbruket til kyllingene. Det var lite som skilte fôrforbruket mellom de tre gruppene den tredje uka, mens det var tendens ($P>0,05$) til at de kyllingene som fikk soyaolje i fôret hadde et høyere fôrforbruk den fjerde uka. I gjennomsnitt åt kyllingene 77 gram fôr om dagen den tredje uka og 115 gram fôr om dagen den fjerde uka.



Figur 8 Fôrforbruket til de tre diettene i tredje og fjerde uke.

Fôreffektiviteten (fôrforbruk/tilvekst), figur 9, viser at de kyllingene som fikk soyaolje utnyttet fôret best i begge periodene. Den tredje uka hadde de kyllingene som fikk rapsolje i fôret signifikant dårligere fôreffektivitet enn de to andre gruppene, mens i den fjerde uka hadde de kyllingene som fikk lin- og rapsolje i fôret signifikant dårligere utnyttelse av fôret sammenlignet med de to andre gruppene.



Figur 9 Fôreffektiviteten (fôrforbruk/ tilvekst) for de tre diettene i tredje og fjerde uke.

4.2 Fettsyresammensetning i fôret

Tabell 4 viser fettsyresammensetningen i de tre diettene. Fôret med 5 % soyaolje hadde høyest innhold av linolsyre, deretter oljesyre, palmitinsyre og stearinsyre.

Fettsyresammensetningen i fôret tilsatt 5 % rapsolje hadde høyest innhold av oljesyre, deretter følger linolsyre, palmitinsyre og α -linolensyre. Den samme tendensen viser fôret med lin- og rapsolje, men dette fôret hadde et høyere innhold av α -linolensyre.

Tabell 4 Fettsyresammensetning i de tre diettene oppgitt i gram per 100 gram FAME.

| | Soyaolje | Rapsolje | Lin- og rapsolje |
|-----------------------------------|----------|----------|------------------|
| C14:0 myristinsyre | 0,797 | 0,743 | 0,756 |
| C14:1 c9 myristoleinsyre | 0,067 | 0,067 | 0,070 |
| C15:0 pentadekansyre | 0,128 | 0,128 | 0,128 |
| C16:0 palmitinsyre | 16,006 | 13,054 | 13,283 |
| C16:1 c9 palmitolensyre | 0,867 | 0,879 | 0,947 |
| C17:0 margarinsyre | 0,262 | 0,267 | 0,265 |
| C18:0 stearinsyre | 6,726 | 6,022 | 6,395 |
| C18:1 t6-11 | 0,592 | 0,632 | 0,617 |
| C18:1 c9 oljesyre | 25,444 | 41,828 | 37,090 |
| C18:1 c11 vaccensyre | 1,518 | 2,089 | 1,706 |
| C18:2 n-6 linolsyre | 39,686 | 24,132 | 23,114 |
| C18:3 n-6 γ -linolensyre | 0,026 | 0,041 | 0,076 |
| C18:3 n-3 α -linolensyre | 4,463 | 6,666 | 12,805 |
| C20:0 archinsyre | 0,238 | 0,361 | 0,290 |
| C20:1 n-9 gadoleinsyre | 0,327 | 0,640 | 0,371 |
| C20:2 n-6 eicosadiensyre | 0,105 | 0,111 | 0,129 |
| C20:3 n-6 dihomogamma-linolensyre | 0,213 | 0,179 | 0,157 |
| C20:3 n-3 dihomogamma-linolensyre | 0,261 | 0,157 | 0,136 |
| C20:4 n-6 arakidonsyre | 0,095 | 0,124 | 0,101 |
| C20:5 n-3 eikosapentaensyre | 0,144 | 0,082 | 0,063 |
| C22:5 n-3 dokosapentaensyre | 0,058 | 0,034 | 0,033 |
| C22:6 n-3 dokosaheksaensyre | 0,270 | 0,155 | 0,127 |

4.3 Fettsyresammensetning i muskel

Tabell 5 viser en gjennomsnittlig oversikt over fettsyresammensetningen i brystmuskel for de tre diettene. De kyllingene som fikk soyaolje i fôret hadde et signifikant høyere innhold av metta fettsyrer i muskel, gjennom et høyere innhold av palmitinsyre. Alle kyllingene hadde ca 9 % stearinsyre i muskelfettet. På grunn av et signifikant høyere innhold av oljesyre fikk de kyllingene som fikk rapsolje og lin- og rapsolje i fôret et signifikant høyere innhold av enumetta fettsyrer i brystmuskel. Det var signifikante forskjeller mellom alle tre gruppene i innhold av flerumetta fettsyrer i muskel, med høyest innhold i muskel til de kyllingene som fikk soyaolje i fôret og lavest i de som fikk rapsolje. De kyllingene som fikk soyaolje hadde et signifikant høyere innhold av linolsyre i muskelfettet sammenlignet med de to diettene med frøljer, men de kyllingene som fikk lin- og rapsolje i fôret hadde et høyere innhold av α -linolensyre i muskel. Det var et signifikant lavere innhold av arakidonsyre i muskel til de kyllingene som fikk lin- og rapsolje. Innholdet av EPA i muskel var signifikant forskjellig mellom alle tre diettene, med høyest innhold i muskel i de kyllingene som fikk lin- og rapsolje og lavest i de som fikk soyaolje. Dessuten var det et signifikant lavere innhold av DPA i muskel til de kyllingene som fikk soyaolje i fôret.

Tabell 5 Gjennomsnittlig fettsyresammensetning i brystmuskel oppgitt i gram per 100 gram FAME. Ulike bokstaver markerer signifikans. RSD viser tilfeldig variasjon.

| | Soyaolje | Rapsolje | Lin- og rapsolje | RSD |
|---|----------|----------|------------------|-------|
| C14:0 myristinsyre | 0,491a | 0,429b | 0,478a | 0,066 |
| C14:1 c9 myristoleinsyre | 0,068a | 0,061a | 0,074a | 0,018 |
| C15:0 pentadekansyre | 0,108a | 0,104a | 0,109a | 0,009 |
| C16:0 palmitinsyre | 18,242a | 16,663b | 16,636b | 0,678 |
| C16:1 c9 palmitolensyre | 1,962a | 1,772a | 2,040a | 0,507 |
| C17:0 margarinsyre | 0,225a | 0,216a | 0,217a | 0,022 |
| C18:0 stearinsyre | 9,367a | 9,391a | 9,089a | 1,190 |
| C18:1 t6-11 | 0,471b | 0,509a | 0,516a | 0,047 |
| C18:1 c9 oljesyre | 23,217b | 31,161a | 30,281a | 3,756 |
| C18:1 c11 vaccensyre | 2,301c | 3,644a | 3,045b | 0,617 |
| C18:2 n-6 linolsyre | 23,640a | 15,038b | 14,948b | 1,407 |
| C18:3 n-6 γ -linolensyre | 0,138a | 0,092b | 0,086b | 0,020 |
| C18:3 n-3 α -linolensyre | 1,774b | 2,345b | 5,418a | 0,861 |
| C20:0 archinsyre | 0,059b | 0,068a | 0,064a | 0,007 |
| C20:1 n-9 gadoleinsyre | 0,314b | 0,494a | 0,305b | 0,041 |
| C20:2 n-6 eikosadiensyre | 0,889a | 0,512b | 0,440b | 0,207 |
| C20:3 n-6 dihomo- γ -linolensyre | 0,712a | 0,691a | 0,609a | 0,182 |
| C20:3 n-3 dihomo- α -linolensyre | 0,176b | 0,198b | 0,356a | 0,074 |
| C20:4 n-6 arakidonsyre | 4,807a | 4,310a | 2,992b | 1,227 |
| C20:5 n-3 eikosapentaensyre | 0,438c | 0,888b | 1,281a | 0,240 |
| C22:5 n-3 dokosapentaensyre | 1,454b | 2,398a | 2,784a | 0,752 |
| C22:6 n-3 dokosaheksaensyre | 2,197a | 2,287a | 2,559a | 0,824 |

4.4 Ratioer

Ved å se på forholdene mellom noen av fettsyrene i brystmuskelfettet, tabell 6, ser vi at det var signifikante forskjeller i ratioene mellom n-6 og n-3 fettsyrene, linolsyre og α -linolensyre, samt arakionsyre og EPA for de tre diettene. Kyllingene som fikk soyaolje i fôret hadde et signifikant lavere forhold mellom oljesyre og de flerumetta fettsyrene i muskel.

Tabell 6 Forhold mellom ulike fettsyrer i muskel. Ulike bokstaver markerer signifikans. RSD viser tilfeldig variasjon.

| | Soyaolje | Rapsolje | Lin- og rapsolje | RSD |
|----------------------------------|----------|----------|------------------|-------|
| n-6/n-3 | 5,142a | 2,484b | 1,581c | 0,536 |
| Linolsyre/ α -linolensyre | 14,301a | 6,679b | 2,887c | 2,734 |
| Arakidonsyre/EPA | 11,063a | 4,909b | 2,350c | 1,340 |
| Oljesyre/flerumetta fettsyrer | 0,645b | 1,085a | 0,978a | 0,166 |
| γ -linolensyre/linolsyre | 6,862a | 6,381a | 4,938b | 1,419 |

4.5 Fettinnhold

Fettinnhold i brystmuskel ble estimert ut fra tilsatt mengde intern standard (C13:0) til å være ca 1,5 gram per 100 gram brystmuskel.

5 Diskusjon

5.1 Produksjonsresultater

Av de kyllingene som fikk soyaolje i fôret døde ingen kyllinger, mens av de som fikk rapsolje døde to stykker, og av de som fikk lin- og rapsolje døde en kylling. Alle tre kyllingene døde i den tredje leveuka. Ingen av kyllingene ble obdusert. De to kyllingene på rapsoljedietten veide litt under snittet i gruppa da de døde (60-90 gram), mens den som fikk lin- og rapsolje hadde mindre enn 50 % av levendevekten sammenlignet med de andre i gruppa. Ved Senter for husdyrforsøk opplyste de at det ikke var uvanlig at tre kyllinger døde i denne type forsøk.

Ut fra gjennomsnittlige produksjonstall i Norge for 2008 (Animalia 2010) og antakelser om at slaktevekten er 65 % av levendevekten (Lopez-Ferrer et al. 2001) burde en kylling på standard fôr hatt en levendevekt på nesten 1400 gram og en slaktevekt rundt en kilo etter 27,5 dager. Fôret med 5 % soyaolje er nærmest likt fôr som blir benyttet i kommersiell produksjon. Allikevel var levendevekten til de kyllingene som fikk soyaolje i fôret nesten 200 gram lavere enn gjennomsnittet i 2008. De kyllingene som fikk frøoljer i fôret lå ytterligere 60-70 gram lavere i levendevekt sammenlignet med de kyllingene som fikk soyaolje. Den beregnede slaktevekta for kyllingene i forsøket ble 808, 761 og 769 gram for henholdsvis de kyllingene som fikk soyaolje, rapsolje og lin- og rapsolje i fôret. Daglig tilvekst for de kyllingene som fikk soyaolje var 29,4 gram, for de som fikk rapsolje 27,7 gram og for de som fikk lin- og

rapsolje 28,0 gram per dag. Det er nesten 10 gram under den gjennomsnittlige daglige tilveksten i Norge på 37,5 gram (Animalia 2010). Årsaker til at vi fikk lavere produksjonsresultater kan være at vi benyttet et melfôr, og melfôr gir dårligere fôropptak enn pellets og granulert fôr (Gonzalez-Esquerria & Leeson 2000b). Dessuten benyttet vi det samme fôret gjennom hele perioden, slik at fôret ikke var skreddersydd kyllingenes behov for proteiner og andre næringsstoffer til enhver tid. Vi hadde heller ikke tilsatt koksidiostatika i fôrene. Siden vi ikke vet fôrforbruket til kyllingene de to første ukene er det vanskelig å sammenligne de øvrige produksjonsresultatene mot gjennomsnittet i Norge.

Siden det ikke var noen signifikante forskjeller ($P > 0,05$) i sluttvekt, tilvekst og fôrforbruk mellom gruppene, kan det tyde på at de ulike planteoljene ikke har hatt noen innvirkning på produksjonsresultatene. Likevel hadde de kyllingene som fikk rapsolje signifikant dårligere fôreffektivitet (fôrforbruk/tilvekst) den tredje uka, og i den fjerde uka hadde de kyllingene som fikk lin- og rapsolje signifikant dårligere fôreffektivitet sammenlignet med de andre gruppene. De kyllingene som fikk soyaolje i fôret hadde best fôreffektivitet begge ukene. Den tredje uka var utnyttelsen til de kyllingene som fikk soyaolje i fôret 6 % bedre sammenlignet med de som fikk rapsolje, og den fjerde uka var utnyttelsen til de som fikk soyaolje 7 % bedre enn de som fikk lin- og rapsolje i fôret. Siden sluttvektene ikke var forskjellig kan det se ut som tilveksten var ulik i ulike faser av forsøket.

Forsøk utført av Bond og medarbeidere (1997) viste at bruk av linfrø i fôret reduserte tilveksten. Gonzalez-Esquerria og Leeson (2000a) viste at 10 % linfrø i dietten førte til et høyere fôrforbruk, og en lavere fôreffektivitet og produktivitet. Redusert vekst ved linfrø kan derfor skyldes antinærings faktorer i frøene (Bond et al. 1997), og dette kan muligens utelukkes ved bruk av linolje.

5.2 Fettsyresammensetning i fôret

Fettsyresammensetning er den eneste forskjellen mellom fôrene, og ved å sammenligne fettsyresammensetningen i diettene, tabell 4, ser vi at det er hovedsakelig mellom oljesyre, linolsyre og α -linolensyre de største forskjellene ligger. Disse forskjellene gjenspeiler seg i fettsyresammensetningen i de ulike oljene. Som nevnt er soyaolje rik på linolsyre, frøoljene er rike på oljesyre da spesielt rapsolje, og linolje har et høyt innhold av α -linolensyre. Fôret med soyaolje hadde et høyere innhold av metta fettsyrer på 24 % mot 21 % for begge frøoljene. Innholdet av enumetta fettsyrer var forskjellig i alle tre diettene. Rapsolje hadde det høyeste innholdet av enumetta fettsyrer på 46 %, mens fôret med lin- og rapsolje hadde 41 % og fôret

med soyaolje hadde 29 %. Mengde flerumetta fettsyrer var også forskjellig mellom alle tre diettene med ca 45 %, 32 % og 37 % for henholdsvis diettene med soyaolje, rapsolje og lin- og rapsolje. Lopez-Ferrer og medarbeidere (2001) fant at et høyere innhold av flerumetta fettsyrer i fôret øker fôropptaket og sluttvektene. Det stemmer med våre resultater, de kyllingene som fikk soyaolje og lin- og rapsolje i fôret hadde et høyere innhold av flerumetta fettsyrer, og disse kyllingene hadde også høyere sluttvekter enn de kyllingene som fikk rapsolje i fôret. Det er for øvrig vist at kyllinger fordøyer metta fett dårligere enn umetta fett (Lessire et al. 1982). Fôret med soyaolje hadde et høyere innhold av n-6 fettsyrer med 40 % mot 25 og 24 % for henholdsvis fôret med rapsolje og fôret med lin- og rapsolje. Fôret med lin- og rapsolje hadde en høyere andel av n-3 fettsyrer på 13 %, mot 7 % for fôret med rapsolje og 5 % for fôret med soyaolje.

5.3 Fettsyresammensetning i muskel

Fettsyrene som det var mest av i fôret; palmitinsyre, stearinsyre, oljesyre, linolsyre og α -linolensyre, var det også mest av i muskel, tabell 4 og 5. Fettsyresammensetningen i fôret virker inn på fettsyresammensetning i muskel (Scaife et al. 1994). For alle tre gruppene var det i alt 26-28 % av de metta fettsyrene palmitinsyre og stearinsyre i muskelfettet. Det kan skyldes at kyllingene produserer palmitinsyre gjennom de novo syntese, og stearinsyre kan dannes ved elongering av palmitinsyre. Metta fettsyrer fra fôret kan bli gjort umetta slik at den enumetta fettsyra oljesyre i muskel kan dannes ved desaturering av stearinsyre. Lopez-Ferrer og medarbeidere (2001) mente at de novo syntesen av enumetta fettsyrer i kroppen kan under visse forhold ha større betydning enn inntaket av oljesyre fra fôret. I tillegg har alle kyllingene i forsøket vårt produsert betydelige mengder av arakidonsyre, EPA og DHA i muskel gjennom elongering og desaturering av de essensielle fettsyrene linolsyre og α -linolensyre.

De kyllingene som fikk soyaolje i fôret hadde et signifikant høyere innhold av palmitinsyre og linolsyre i muskel enn kyllingene på de to fôrene med frøljer, videre hadde kyllingene som fikk soyaolje i fôret et signifikant lavere innhold av oljesyre, EPA og DPA i muskel. I fôrene våre er innholdet av arakidonsyre lavt; ca 0,1 %. Arakidonsyre i muskel stammer enten fra fôret eller den er syntetisert fra linolsyre. Innholdet av arakidonsyre var høyest i muskel til de kyllingene som fikk tilsatt soyaolje i fôret, men innholdet av arakidonsyre var også høyt i de kyllingene som fikk rapsolje. Samtidig hadde kyllingene som fikk rapsolje i fôret et betydelig lavere innhold av α -linolensyre i fôret, slik at det kan ha vært en større andel linolsyre som ble omsatt til arakidonsyre i muskelfettet. Dette kan skyldes lavere konkurranse om $\Delta 6$ -

desaturasen. Scaife og medarbeidere (1994) fant at dietter basert på soyaolje økte andelen av linolsyre og arakidonsyre, og reduserte andelen oljesyre og EPA i kyllingmuskel. Videre fant de at rapsolje i fôret økte innholdet av oljesyre og α -linolensyre i muskel, men reduserte innholdet av palmitinsyre, stearinsyre og EPA. Rapsolje øker innholdet av α -linolensyre i muskel (Coetzee & Hoffman 2002), og tilsetning av rapsolje i fôret øker innholdet av enumetta fettsyrer i kjøtt, hovedsakelig i form av oljesyre, samtidig som det reduserer innholdet av flerumetta fettsyrer (Lopez-Ferrer et al. 1999).

Flere forsøk har vist at tilsetning av linfrø eller linolje i fôret kan øke innholdet av den flerumetta fettsyra α -linolensyre og dens derivater, og redusere forholdet mellom n-6 og n-3 fettsyrer i muskel (Betti et al. 2009; Bond et al. 1997; Crespo & Esteve-Garcia 2001; Haug et al. 2007; Lopez-Ferrer et al. 1999; Lopez-Ferrer et al. 2001). Kyllingene som fikk lin- og rapsolje i fôret hadde et signifikant høyere innhold av α -linolensyre og et lavere innhold av arakidonsyre i muskel enn de to andre gruppene. Årsaker til at fôret med linolje gir kjøtt med lave konsentrasjoner av n-6 fettsyrene kan være på grunn av endret konkurransen om Δ -5 og Δ -6 desaturase mellom n-3 og n-6 fettsyrene (Crespo & Esteve-Garcia 2001). Gonzalez-Esquerra og Leeson (2000a) fant ved å tilsette 10 % linfrø i fôret økte innholdet av α -linolensyre i kyllingene, men av de langkjeda n-3 fettsyrene var det kun DPA som økte. De mente at vi får et økt innhold av α -linolensyre i muskel ved å fôre med linfrø, men at linfrø ikke øker produksjonen av langkjeda n-3 fettsyrer. Vårt forsøk viser at de kyllingene som fikk lin- og rapsolje i fôret hadde tre ganger så høyt innhold av EPA i muskel sammenlignet med de kyllingene som fikk soyaolje, mens de kyllingene som fikk rapsolje hadde dobbelt så høyt innhold av EPA i muskel sammenlignet med de som fikk soyaolje i fôret. Dette viser at å tilsette frøoljer rike på α -linolensyre i fôret har et potensial til å gi kyllingkjøtt et betydelig økt innhold av EPA. Dette er viktig i dagens situasjon der tilgjengeligheten av EPA fra fiskefett er begrenset på verdensbasis på grunn av høy pris og liten tilgjengelighet. For DPA i muskel derimot var ikke forskjellene så store mellom de som fikk rapsolje og de som fikk rapsolje sammen med linolje i fôret, men innholdet er betydelig høyere enn for de som fikk soyaolje. Det var ingen signifikante forskjeller mellom innholdet av DHA i muskel i de tre gruppene.

Kyllinger har en viss mulighet til å syntetisere flerumetta n-3 fettsyrer fra α -linolensyre og våre resultater viser at EPA ble syntetisert og bygd inn i muskel selv om innholdet av EPA i fôret var svært lite. Våre resultater styrker dermed teorien om at planteoljer som rapsolje og linolje kan øke innholdet av lange n-3 fettsyrer gjennom at α -linolensyre omdannes til EPA og DHA (Crespo & Esteve-Garcia 2001; Lopez-Ferrer et al. 2001). Siden kyllinger har en

begrenset kapasitet til å desaturere og elongere linolensyre mener Lopez-Ferrer og medarbeidere (1999) at man ikke har noen garanti for en effektiv syntese av langkjeda n-3 fettsyrer ved bruk av dietter rike på α -linolensyre, men at man heller bør tilsette EPA, DPA og DHA direkte. Våre resultater viser derimot at det er mulig å benytte vegetabiliske oljer som linolje og rapsolje i fôret for å øke innholdet av EPA og DHA i muskel, og dette er i samsvar med Bou og medarbeidere (2004).

Faren for oksidasjon øker ved høyere innhold av umetta fett som α -linolensyre i forhold til linolsyre i fôret (Rymer & Givens 2005). Ved å øke andelen umetta fett i fôret økes også faren for at flerumetta fett blir oksidert, og oksidasjon kan føre til harsk smak og lukt på kjøttet. Ved å tilsette 8,2 % fiskeolje i fôret påvirker man smaken, men ved samme andel linolje ble smaken akseptabel (Lopez-Ferrer et al. 1999). Vi har ennå ikke undersøkt smaken på kyllingfiletene i vårt forsøk, men etter ni måneders lagring skal brystfiletene til sensorisk analyse.

5.4 Ratioer

Forekomsten av kroniske sykdommer som åreforkalkning, muskelspenninger, fedme, diabetes og ulike former for kreft er økende, og den drastiske endringen i kostholdet vårt er en mulig årsak til dette (Simopoulos 2002). På grunn av det høye innholdet av n-6 fettsyrer i vårt vestlige kosthold, ønsker vi redusert inntak av n-6 fettsyrer, da spesielt arakidonsyre, og øke inntaket av EPA og DHA (Simopoulos 2002). I vårt forsøk var det signifikante forskjeller i forholdet mellom n-6 og n-3 fettsyrene i de ulike gruppene, tabell 6. Forholdet mellom n-6 og n-3 fettsyrene var tre ganger så høyt hos de kyllingene som fikk soyaolje i fôret sammenlignet med de som fikk lin- og rapsolje, mens det var dobbelt så høyt hos de kyllingene som fikk soyaolje i fôret sammenlignet med de som fikk rapsolje. Vi ser dermed at tilsatt linolje i fôret (2 %) påvirker ratio, og gir det mest gunstige forholdet mellom n-6 og n-3 fettsyrene.

Ved å se på forholdet mellom de essensielle fettsyrene (C18:2 n-6/C18:3 n-3), tabell 6, ser vi at det var nesten fem ganger så høyt i muskel til de kyllingene som fikk soyaolje i fôret sammenlignet med de som fikk lin- og rapsolje, og det var dobbelt så høyt i de som fikk soyaolje sammenlignet med de som fikk rapsolje. Tilsetning av linolje i fôret har dermed halvert forholdet mellom linolsyre og α -linolensyre i muskel. Siden arakidonsyre og EPA er utgangspunkt for de to eikosanoidfamiliene er det interessant å se på forholdet mellom arakidonsyre og EPA. Dette forholdet er avgjørende siden arakidonsyre og EPA konkurrerer om enzymer i syntesen av eikosanoider og synteseproduksjon fra arakidonsyre øker forekomst

av kroniske betennelser og trobosedannelse (Simopoulos 2002). Som for de essensielle fettsyrene blir forholdet mellom arakidonsyre og EPA i muskel nesten fem ganger så høyt for de som fikk soyaolje i fôret sammenlignet med de som fikk lin- og rapsolje, og dobbelt så høyt i forhold til de som fikk rapsolje i fôret. Også her gir fôret med lin- og rapsolje det gunstigste forholdet.

En annen måte å bedre fettsyresammensetningen i kyllingkjøtt er å øke innholdet av oljesyre (enumetta) i forhold til de flerumetta fettsyrene, siden den også delvis kjemper om de samme plassene i membranlipidene (Crespo & Esteve-Garcia 2001). Oljesyre vil gi stabile membraner som ikke oksideres så lett siden oljesyre er stabil mot oksidasjon sammenlignet med flerumetta fettsyrer (Haug et al. 2007). Som tabell 6 viser økte særlig innholdet av oljesyre i muskel i de kyllingene som fikk rapsolje i fôret, men også i de som fikk lin- og rapsolje i forhold til de som fikk soyaolje i fôret. Forholdet mellom oljesyre og flerumetta fettsyrer blir dermed signifikant høyere i diettene med frøoljer i forhold til soyaolje, og dette er en ønsket effekt.

Ratio mellom arakidonsyre og dihomo- γ -linolensyre kan være en indikator på aktiviteten til $\Delta 5$ -desaturase (Ratnayake & Galli 2009). De kyllingene som fikk lin- og rapsolje i fôret hadde et signifikant lavere ratio mellom arakidonsyre og dihomo- γ -linolensyre i muskel enn de som fikk soyaolje eller rapsolje, tabell 6. Det kan tyde på at økt innhold av α -linolensyre kan ha hemmet $\Delta 5$ -desaturase i omdanningen av arakidonsyre fra linolsyre i de kyllingene som fikk lin- og rapsolje.

5.5 Fettinnhold

Bruk av intern standard (C13:0) for å estimere innholdet av fett i gram per 100 gram brystmuskel er en usikker metode. For å ha hatt helt sikre tall burde vi ha analysert for fettinnhold i muskel. Fettinnholdet i kyllingmuskel var ca 1,5 gram per 100 gram våtvekt muskel, og dette samsvarer med Matvaretabellen (Rimestad 2001). Langkjeda n-3 fettsyrer kommer vanligvis fra fisk. Ved å sammenligne innholdet av langkjeda n-3 fettsyrer i kylling med innholdet i torsk og laks (National Agricultural Library 2010), tabell 7, ser vi at innholdet av EPA i kyllingmuskel ligger lavere enn innholdet av EPA i torsk og laks. Innholdet av DPA er høyere i kylling enn i torsk, men allikevel langt unna innholdet i laks. Den samme trenden er det for DHA, alle tre diettene ligger høyt over torsk, men langt unna innholdet i laks. Dette viser at kylling har et stort potensial for tilførsel av langkjeda n-3 fettsyrer i kostholdet.

Tabell 7 Sammenligning av utvalgte fettsyrer i kyllingbrystmuskel, atlantisk torsk og laks oppgitt i gram per 100 gram vare (National Agricultural Library 2010).

| | Soyaolje | Rapsolje | Lin- og rapsolje | Atlantisk torsk | Atlantisk laks, oppdrettet |
|--------------|----------|----------|------------------|-----------------|----------------------------|
| Arakidonsyre | 0,055 | 0,045 | 0,036 | | 0,062 |
| EPA | 0,005 | 0,009 | 0,016 | 0,064 | 0,862 |
| DPA | 0,017 | 0,025 | 0,034 | 0,010 | 0,393 |
| DHA | 0,502 | 0,537 | 0,551 | 0,120 | 1,104 |
| n-6/n-3 | 4,423 | 1,967 | 1,327 | | |

Type muskelfiber kan virke inn på fettsyresammensetningen i ulike vev (Betti et al. 2009). Våre resultater er kun ut i fra fettsyresammensetningen i brystfiltene. Gonzalez-Esquerra og Leeson (2000a) fant at ulike fettsyrene deponeres ulikt i kroppen, innholdet av α -linolensyre er høyest i vinger og lår, mens langkjeda n-3 fettsyrer deponeres mest i brystmuskel. Det stemmer bra med det Azcona og medarbeidere (2008) fant, det er høyere innhold av palmitinsyre, arakidonsyre og de lange umetta n-3 fettsyrer i bryst sammenlignet med lår. Samtidig fant de ut at innholdet av linolsyre og α -linolensyre var høyest i lår. Dermed kan vi ha fått litt høyere resultater av EPA og DHA enn hva som er gjennomsnittlig for hele kyllingen.

6 Konklusjon

Det er mulig å lage et sunnere kyllingkjøtt ved å erstatte soyaolje i fôret med linolje og rapsolje. Vi oppnår ikke like høyt innholdet av EPA som i fisk, men forsøket har vist at vi kan øke innholdet av EPA og bedre forholdet mellom n-6 og n-3 fettsyrer ved å tilsette slike planteoljer i fôr til slaktekyllinger. Vi har benyttet kylling i forsøket siden kyllinger er hensiktsmessige forsøksdyr som vokser raskt og er enkle å oppstalle, men det er ønskelig å gjøre tilsvarende forsøk på gris.

For at man skulle begynt å produsere fôr med planteoljer som linolje og rapsolje måtte nok myndighetene kommet med et krav om å redusere forholdet mellom n-6 og n-3 fettsyrene i kjøtt. Rapsolje og linolje er nemlig dyrere enn soyaolje, og siden folk ofte er mer opptatte av pris enn kvalitet, er det ikke ønskelig å bidra til økte matpriser. Imidlertid er det kanskje ikke behov for å benytte disse frøoljene i hele oppdrettsperioden. Det er vist at man får effekt innen to uker ved fôring av linfrø (Betti et al. 2009). Ved kun å fôre med tilsetninger som øker

innholdet av n-3 fettsyrer i siste del av oppdrettet reduserer man kostnadene (Gonzalez-Esquerra & Leeson 2000a; Zuidhof et al. 2009).

Forsøket viser at både dietten med rapsolje og dietten lin- og rapsolje ga de ønskelige effektene; fôret med lin- og rapsolje ga det høyeste innholdet av EPA og det laveste innholdet av arakidonsyre i brystmuskel, samt økte innholdet av oljesyre i brystmuskel med 30 % sammenlignet med de kyllingene som fikk soyaolje i fôret. Vi mener derfor at fôret med både lin- og rapsolje er det beste alternativet. Det er problematisk å tilsette linolje i fôr siden holdbarheten til linolje dårlig. For å unngå at fôret harskner må det være nylagd, og oppbevares mørkt og lufttett. Allikevel gir slaktekyllingproduksjon nettopp muligheten til å benytte linolje i fôr, på grunn av en kort oppdrettsperiode. Vi mener at det snarest bør bli tilsatt lin- og rapsoljer i vekstfôret for at kyllingkjøttet skulle fått en fettsyresammensetning som er sunnere for mennesker.

7 Litteraturliste

Animalia. (2010). Status i norsk kjøtt- og eggproduksjon. I: Johnsen, A. M. S. (red.). *Kjøttets tilstand 2009*.

Azcona, J. O., Garcia, P. T., Cossu, M. E., Iglesias, B. F., Picallo, A., Perez, C., Gallinger, C. I., Schang, M. J. & Canet, Z. E. (2008). Meat quality of Argentinean "Camperos" chicken enhanced in omega-3 and omega-9 fatty acids. *Meat Science*, 79 (3): 437-443.

Betti, M., Perez, T. I., Zuidhof, M. J. & Renema, R. A. (2009). Omega-3-enriched broiler meat: 3. Fatty acid distribution between triacylglycerol and phospholipid classes. *Poultry Science*, 88 (8): 1740-1754.

Bond, J. M., Julian, R. J. & Squires, E. J. (1997). Effect of dietary flaxseed on broiler growth, erythrocyte deformability, and fatty acid composition of erythrocyte membranes. *Canadian Journal of Animal Science*, 77 (2): 279-286.

Bou, R., Guardiola, F., Tres, A., Barroeta, A. C. & Codony, R. (2004). Effect of dietary fish oil, alpha-tocopheryl acetate, and zinc supplementation on the composition and consumer acceptability of chicken meat. *Poultry Science*, 83 (2): 282-292.

- Coetzee, G. J. M. & Hoffman, L. C. (2002). Effects of various dietary n-3/n-6 fatty acid ratios on the performance and body composition of broilers. *South African Journal of Animal Science*, 32 (3): 175-184.
- Cook, H. W. & McMaster, C. R. (2002). Fatty acid desaturation and chain elongation in eukaryotes. I: Vance, D. E. & Vance, J. E. (red.) *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*, s. 607. Amsterdam: Elsevier.
- Crespo, N. & Esteve-Garcia, E. (2001). Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry Science*, 80 (1): 71-78.
- Gjefsen, T. (1998). *Fôringslære*. 2 utg. Oslo: Landbruksforl. 376 s.
- Gonzalez-Esquerra, R. & Leeson, S. (2000a). Effects of menhaden oil and flaxseed in broiler diets on sensory quality and lipid composition of poultry meat. *British Poultry Science*, 41 (4): 481-488.
- Gonzalez-Esquerra, R. & Leeson, S. (2000b). Studies on the metabolizable energy content of ground full-fat flaxseed fed in mash, pellet, and crumbled diets assayed with birds of different ages. *Poultry Science*, 79 (11): 1603-1607.
- Haug, A., Eich-Greatorex, S., Bernhoft, A., Wold, J. P., Hetland, H., Christophersen, O. A. & Sogn, T. (2007). Effect of dietary selenium and omega-3 fatty acids on muscle composition and quality in broilers. *Lipids in Health and Disease*, 6.
- Haug, A., Eich-Greatorex, S., Bernhoft, A., Hetland, H. & Sogn, T. (2008a). Selenium bioavailability in chicken fed selenium-fertilized wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica Section a-Animal Science*, 58 (2): 65-70.
- Haug, A., Rodbotten, R., Mydland, L. T. & Christophersen, O. A. (2008b). Increased broiler muscle carnosine and anserine following histidine supplementation of commercial broiler feed concentrate. *Acta Agriculturae Scandinavica Section a-Animal Science*, 58 (2): 71-77.
- Haug, A., Olesen, I. & Christophersen, O. (2010). Individual variation and intraclass correlation in arachidonic acid and eicosapentaenoic acid in chicken muscle. *Lipids in Health and Disease*, 9 (1): 37.
- Helsedirektoratet. (2010). Utviklingen i norsk kosthold. Matforsyningsstatistikk og Forbruksundersøkelser.

- Lessire, M., Leclercq, B. & Conan, L. (1982). Metabolisable energy value of fats in chicks and adult cockerels. *Animal Feed Science and Technology*, 7 (4): 365-374.
- Lopez-Ferrer, S., Baucells, M. D., Barroeta, A. C. & Grashorn, M. A. (1999). n-3 enrichment of chicken meat using fish oil: Alternative substitution with rapeseed and linseed oils. *Poultry Science*, 78 (3): 356-365.
- Lopez-Ferrer, S., Baucells, M. D., Barroeta, A. C., Galobart, J. & Grashorn, M. A. (2001). n-3 enrichment of chicken meat. 2. Use of precursors of long-chain polyunsaturated fatty acids: Linseed oil. *Poultry Science*, 80 (6): 753-761.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D. & Morgan, C. A. (2002). *Animal nutrition*. 6 utg. Harlow: Prentice-Hall. 693 s.
- National Agricultural Library. (2010). *USDA National Nutrient Database for Standard Reference*. Tilgjengelig fra: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/> (lest 16.04.2010).
- Nes, M., Müller, H., Pedersen, J. I. & Eeg-Larsen, N. (2006). *Ernæringslære*. Oslo: Gyldendal akademisk. 416 s.
- O'Fallon, J. V., Busboom, J. R., Nelson, M. L. & Gaskins, C. T. (2007). A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *Journal of Animal Science*, 85 (6): 1511-1521.
- O'Neill, L. M., Galvin, K., Morrissey, P. A. & Buckley, D. J. (1998). Comparison of effects of dietary olive oil, tallow and vitamin E on the quality of broiler meat and meat products. *British Poultry Science*, 39 (3): 365-371.
- Opplysningskontoret for egg og hvitt kjøtt. (2010). *Tall og fakta om hvitt kjøtt*. Tilgjengelig fra: <http://www.egg.no/Article.aspx?artid=9481&bgstyle=books&mnu1id=4503&mnu2id=4526&mnu3id=4550&mnu4id=> (lest 20.04.2010).
- Rangan, V. S. & Smith, S. (2002). Fatty acid synthesis in eukaryotes. I: Vance, D. E. & Vance, J. E. (red.) *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*, s. 607. Amsterdam: Elsevier.

- Ratnayake, W. M. N. & Galli, C. (2009). Fat and Fatty Acid Terminology, Methods of Analysis and Fat Digestion and Metabolism: A Background Review Paper. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 55 (1-3): 36.
- Rimestad, A. H. (2001). *Matvaretabellen*. Oslo: Gyldendal undervisning. 84 s.
- Rymer, C. & Givens, D. I. (2005). n-3 fatty acid enrichment of edible tissue of poultry: A review. *Lipids*, 40 (2): 121-130.
- SAS Institute. (2002). *SAS 9.1*.
- Scaife, J. R., Moyo, J., Galbraith, H., Michie, W. & Campbell, V. (1994). Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty-acid composition and growth of female broilers. *British Poultry Science*, 35 (1): 107-118.
- Schmitz, G. & Ecker, J. (2008). The opposing effects of n-3 and n-6 fatty acids. *Progress in Lipid Research*, 47 (2): 147-155.
- Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56 (8): 365-379.
- Sjaastad, Ø. V., Hove, K. & Sand, O. (2003). *Physiology of domestic animals*. [Oslo]: Scandinavian Veterinary Press. 735 s.
- Ward, O. P. & Singh, A. (2005). Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production. *Process Biochemistry*, 40 (12): 3627-3652.
- Wood, J. D. & Enser, M. (1997). Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *British Journal of Nutrition*, 78 (1): S49-S60.
- Zuidhof, M. J., Betti, M., Korver, D. R., Hernandez, F. I. L., Schneider, B. L., Carney, V. L. & Renema, R. A. (2009). Omega-3-enriched broiler meat: 1. Optimization of a production system. *Poultry Science*, 88 (5): 1108-1120.