

OMEGA-3 FEDTSYRER TIL FORBEDRING AF REPRODUKTION, PRODUKTIVITET OG SUNDHED HOS SØER OG AFKOM

Thomas Sønderby Bruun^a, Sabine Stoltenberg Grove^a, Anja Varmløse Strathe^b og Charlotte Lauridsen^c

^a SEGES Svineproduktion

^b Institut for Veterinær- og Husdyrvidenskab, Københavns Universitet

^c Institut for Husdyrvidenskab, Aarhus Universitet

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Forholdet mellem omega-6 og omega-3 fedtsyrer i sofoderet er typisk højt. Der er et potentiale i at anvende omega-3 fedtsyrer i forbindelse med reproduktion og sundhed, hvor tilskud af fedtsyrerne EPA og DHA vurderes at have den største effekt.

Sammendrag

Denne litteraturundersøgelse blev gennemført for at vurdere potentialet i anvendelse af fedtkilder, som sikrer en bedre forsyning af omega-3 fedtsyrer til søer i hele deres cyklus. Søer kan ikke selv producere omega-6 (n-6) fedtsyren linolsyre (LA, C18:2) og omega-3 (n-3) fedtsyren α -linolensyre (ALA, C18:3) og har derfor behov for et vist niveau af disse fedtsyrer i foderet. Begge fedtsyrer kan omdannes til andre metabolitter, som har livsvigtige biologiske funktioner, og både niveauet af fedtsyrerne og forholdet mellem n-6 og n-3 har betydning. Dansk sofoder har oftest et højt niveau af n-6 i forhold til n-3. Formålet med litteraturundersøgelsen var at give en samlet vurdering af forsøg med både forskellige forhold mellem n-6 og n-3, forskellige n-3 kilder og doseringer til drægtige og diegivende søer med henblik på at sikre en optimal forsyning med n-3 fedtsyrer til både søer og afkom.

Selv om de mange forsøgsresultater ikke er entydige, lyder konklusionen, at det er relevant at sikre sig et rimeligt niveau af ALA i foderet. Litteraturundersøgelsen definerer dog ikke det optimale forhold mellem n-6 og n-3 til henholdsvis drægtige og diegivende søer. Ligeledes fastlægger undersøgelsen ikke den ideelle koncentration pr. kg foder eller pr. dag af ALA, eikosapentaensyre (EPA) eller dokosaheksaensyre (DHA) for at kunne sikre optimal reproduktion og sundhed. Mange forsøg er baseret på få gentagelser, og grundlæggende er der ikke gennemført dosis-responsforsøg, som afgør behovene til reproduktion, sundhed og produktivitet. Der er derfor et uudnyttet potentiale i at sikre

afkommet en bedre n-3 forsyning via placentalt overførsel af n-3 fedtsyrer. Da råmælk og mælkens indhold af immunoglobuliner samtidig kan påvirkes ved tilsætning af n-3 til foderet, særligt i form af EPA og DHA, er det et vigtigt indsatsområde i ernæringen af den højproduktive sø.

Forsøgsresultaterne tyder samlet på, at der måske kan opnås positive effekter på sundhed hos søer og deres afkom ved et lille tilskud af marineolier fra alger eller fisk. Måske kan denne effekt opnås ved et niveau på bare 0,1-0,2 % olie fra fisk eller alger i foderet.

De fleste fodermidler indeholder en meget højere koncentration af LA end ALA, og der således altid tilstrækkeligt med LA i foderet. Bidraget af n-3 fedtsyrer kommer primært fra olier af marin oprindelse (fiskeolie og algeekstrakter) og af enkelte vegetabiliske fedtkilder med relevans for svinefoder, f.eks. rapsolie. Disse bidrager dog ikke direkte med EPA og DHA men sikrer en bedre balance mellem n-6 og n-3 grundet et højt indhold af ALA. Evnen til at omdanne LA og ALA til henholdsvis ARA samt EPA og DHA er dog begrænset hos søen og endnu mere begrænset hos fostrene. Dette er et væsentligt argument for at tilsætte EPA og særligt DHA direkte i foderet. DHA er væsentlig for fosterudviklingen og kan allerede under ægmodningen og i det intrauterine miljø have positiv indflydelse på efterfølgende drægtighed. Det er derfor essentielt at anvende dem i hele diegivningsperioden for at sikre den optimale modning af follikler og opnå en effekt af anvendelsen af n-3 fedtsyrer på reproduktionen. Generelt vidner litteraturen om varierende og i flere tilfælde positive effekter på fostrene, når søer tildeles n-3-kilder i sen drægtighed. Dette vil medvirke til både en bedre udvikling af fostrenes hjerne og sandsynligvis kognitive egenskaber, og at søens råmælks kvalitet i flere tilfælde er påvist forbedret i form af et øget indhold af immunoglobuliner. Store mængder af fiskeolie i diegivningsperioden kan resultere i en reduceret kuldtilvækst, og en kombination af de typisk anvendte fedtkilder til søer og en mindre andel DHA vurderes at være mere oplagt.

I forhold til sundhed er det primært de anti-inflammatoriske egenskaber, der gør n-3 fedtsyrer interessante, idet deres indlejring på bekostning af n-6 kan hæmme syntesen af proinflammatoriske eicosanoider. Det er vigtigt, at foderets indhold af antioxidanter, f.eks. E-vitamin, tilpasses, da navnlig andelen af langkædede flerumættede fedtsyrer øger graden af oxidativt stress, som kan føre til uoprettelige skader på celler. Her vil en kombination af et forøget indhold af n-3 kombineret med E-vitamin i foderet virke beskyttende, og forskning tyder på, at dette også øger udnyttelsen af E-vitamin. En øget tildeling af n-3 fedtsyrer til søen vil uden tvivl sikre en bedre balance mellem anti-inflammatoriske og pro-inflammatoriske eicosanoider. Dette gavner immunforsvaret og kan dermed potentielt gavne sundheden hos både søer og deres afkom.

Baggrund

En stigende kuld størrelse hos søer kædes normalt sammen med øget pattegrisedødelighed [1], men på grund af selektion baseret på levende grise dag 5 efter faring hos DanBred [2] er dødeligheden ikke steget i samme takt, som kuld størrelsen er øget. Efter syv år med faldende pattegrisedødelighed er der imidlertid konstateret en stigning i pattegrisedødeligheden i 2017-2019 [3]. I de seneste år har flere danske projekter fokuseret på reduktion af pattegrisedødeligheden, blandt andet PattegriseLIV (2015-2016) og PattegriseLIV 2.0 (2019-2020). Derudover findes der flere afprøvninger af management (splitmalkning og kuldudjævningsstrategier) omkring faring [4-6] og brugen af tiltag, f.eks. aftørring af nyfødte grise, for at reducere varmetab, glukosetilskud og kommercielle energitilskud til svage grise [7-9] samt for at minimere andelen af pattegrise, der dør kort tid efter faring. Samtidig har der været fokus på, om det via fodringen er muligt at øge fødselsvægten, og resultaterne har enten været marginalt positiv [10] eller uden effekt på fødselsvægten [11]. Tilsvarende resultater er fundet på tværs af flere forsøg gennemført i USA [12]. Desuden er der gennemført mange afprøvninger og forsøg med f.eks. forskellige fiberkilder [13-18] og -niveauer [17,18] og med forskellige fedtkilder [15,16,19] samt -koncentrationer [20] med henblik på at forbedre

faringen, råmælks- og mælkeproduktionen og dermed pattegriseoverlevelsen. I hovedparten af forsøgene og afprøvningerne gennemført i Danmark har foderet indeholdt de kommercielle fedtkilder, der traditionelt anvendes i sofoder (f.eks. svinefedt, palmeolie, PFAD, sojaolie og i enkelte tilfælde kokosolie). Nogle af disse fedtsyrer har et relativt højt indhold af den essentielle fedtsyre omega-6 (n-6) fedtsyre linolensyre, mens alle fedtkilderne har et lavt indhold af essentielle omega-3 fedtsyrer (n-3). Dette medfører en stor overvægt af n-6 i foderets balance mellem omega-6 (n-6) fedtsyrer og n-3 fedtsyrer.

Der har igennem en længere årrække været fokus på n-3 fedtsyrer både til mennesker og forskellige dyrearter i relation til sundhed [21]. Særligt langkædede flerumættede n-3 fedtsyrer, som findes i olie fra fisk eller alger, har vist positive effekter på bl.a. forebyggelse af hjerte-kar-sygdomme. Der er udført adskillige forsøg med forskellige fedtkilder til svin, som bidrager med n-3 fedtsyrer og n-6 fedtsyrer i forskellige forhold og i forskellige koncentrationer. Senest har Roszkos et al. (2020) [22] gennemført et review af brugen af n-3 med henblik på forbedring af søers reproduktion. I dette review blev der fokuseret specifikt på, hvornår der i søernes cyklus var potentiale i at tildele n-3 fedtsyrer [22]. Konklusionerne fra dette review skal imidlertid ses i forhold til gennemførte forsøg og andre reviews, idet f.eks. Tanghe og De Smet (2013) [23], Kim et al. (2007) [21] og Wathes et al. (2007) [24] også har foretaget reviews af litteraturen med hver deres vinkler på emnet. Overordnet set er der behov for at samle viden om n-3 fedtsyrer tildelt til søer i drægtighed og laktation for at skabe et overblik over den eksisterende viden inden for søernes reproduktion, effekt på kuldtilvækst, søer og pattegrises sundhed samt den afledte pattegrisedødelighed. Eventuel supplerung af soens foder med n-3 fedtsyrer vil medføre en øget foderomkostning, og derfor ønskes eventuel brug og tilsat koncentration baseret på en fagligt opdateret viden.

Formålet med dette notat er at give en samlet vurdering af forsøg med forskellige kilder og doser af n-3 fedtsyrer forsyning til drægtige og diegivende søer med henblik på at sikre en optimal forsyning med n-3 fedtsyrer til både søer og afkom.

Materialer og metoder

Gennemgang af litteratur

Dette notat er baseret på en gennemgang af internationalt gennemførte forsøg med forskellige kilder til n-3 fedtsyrer og forskellige koncentrationer af n-3 til søer i forskellige dele af deres cyklus. Heri indgår en vurdering af forsøgenes relevans og sikkerhed, og om der er forbehold, der medfører, at resultaterne ikke skal medtages i den samlede vurdering af betydningen af og effekterne af n-3 til søer. Herunder hvor f.eks. immunologiske parametre taler for at drage sammenligninger over til human forskning eller til andre dyrearter for at få en helhedsbetragtning af potentialet i anvendelsen af n-3 kilder til søer.

Beskrivelse af fodermidlers bidrag med n-3 og n-6 fedtsyrer

I forbindelse med litteraturindsamlingen indgik også oplysninger om n-3 og n-6 fedtsyrer i forskellige fodermidler, inklusive rene fedtkilder. Denne karakterisering giver et indblik i forholdet n-6:n-3 og dermed en mulighed for at vurdere den samlede blandings forhold mellem de to typer af fedtsyrer.

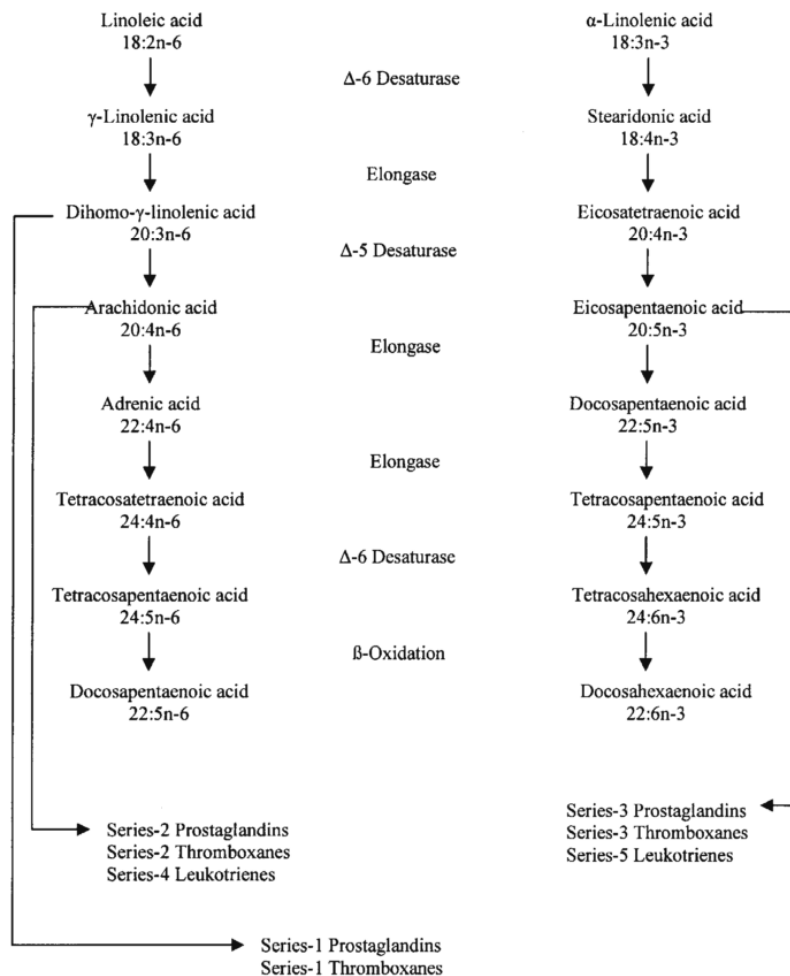
Resultater og diskussion

Essentielle n-6 og n-3 fedtsyrer

Når fedtsyrer klassificeres som n-6 og n-3 fedtsyrer, skyldes det en dobbeltbinding imellem henholdsvis sjette og syvende kulstofatom samt tredje og fjerde kulstofatom målt fra fedtsyrens methylenende, også kaldet omega (ω) eller n- [25,26]. Både n-6 fedtsyrer og n-3 fedtsyrer i form af linolsyre (LA; C18:2 n-6) og alfa-linolensyre (ALA; C18:3 n-3) anses som essentielle fedtsyrer [27,28], da grise og andre dyr samt mennesker på grund af mangel på enzymerne Δ -12 desaturase og Δ -15 desaturase ikke kan indsætte dobbeltbindinger efter det niende kulstofatom i fedtsyrerne [25]. Det danske normsæt omfatter ikke normer for essentielle fedtsyrer, da disse internationalt er meget mangelfuldt undersøgt. Der er ganske enkelt mangel på solide resultater baseret på dosis-responsforsøg, som bestemmer søers behov for LA og ALA [29]. NRC (2012) angiver et dagligt behov for LA på 2,1 g pr. dag til drægtige søer og 6,0 g pr. dag til diegivende søer, mens behovet for ALA ikke er kvantificeret [29].

Figur 1 illustrerer, hvordan syntesen af øvrige n-3 og n-6 fedtsyrer sker med udgangspunkt i ALA og LA. LA bruges som precursor for syntetiseringen af blandt andet arakidonsyre (ARA; C20:4 n-6), som i den bioaktive form PGE2 er vigtig forbindelse med helingsprocesser og indgår i tarmenes normalfysiologiske homeostase [30]. ALA fungerer som precursor for andre n-3 fedtsyrer, idet ALA via forlængelse af kulstofkæden og indsættelse af dobbeltbindinger i kulstofkæden kan omdannes til både eicosapentaenoidsyre (EPA; C20:5 n-3) og docosahexaenoidsyre (DHA; C22:6 n-3) [31,32]. Det fremgår ligeledes af Figur 1, at de samme enzymer indgår i kædeforlængelse og indsættelse af dobbeltbindinger i n-6 og n-3 fedtsyresynteserne. Enzymerne har dog større affinitet for at konvertere n-3 fedtsyrer til den næste n-3 fedtsyre i syntesekæden end konvertering af n-6 fedtsyrer til den næste n-6 fedtsyre i kæden (Figur 1) [33]. Den højere affinitet for at konvertere n-3 fedtsyrer er en klar fysiologisk fordel for dyret, idet foderblandinger baseret på byg, hvede og sojaskrå har en meget høj andel n-6 relativt til n-3 fedtsyrer. Den større affinitet for at konvertere n-3 fedtsyrer kan dog påvirkes, hvis foderet har et meget højt indhold af ALA, hvilket vil medføre en lavere grad af konvertering af ALA til EPA og videre til DHA [34]. Generelt er det dog svært for grise og andre pattedyr at konvertere LA og ALA, og den begrænsede konvertering gør direkte tilsætning af EPA og DHA aktuell for at sikre forsyningen til dyret og dets afkom.

Fra både n-3 og n-6 fedtsyrer syntetiseres eicosanoider, som består af forskellige serier af prostaglandiner, tromboxaner og leukotriener. Eicosanoidernes bioaktivitet er vigtige for en række fysiologiske responser blandt andet igangsætning af faring, nedbrydning af gule legemer, inflammationer og immunforsvaret. Selvom eicosanoider, der er dannet fra henholdsvis n-6 og n-3 fedtsyrer, har ganske ens molekylære strukturer, har de meget forskellige bioaktive egenskaber. Således har det i mange år været den overordnede betragtning, at eicosanoider fra serie-2 eicosanoiderne er pro-inflammatoriske [30], mens serie-3 eicosanoiderne er anti-inflammatoriske [32]. De dybereliggende immunologiske funktioner af prostaglandiner, tromboxaner og leukotriener vil ikke blive beskrevet i dette litteraturstudie, da der fokuseres udelukkende på de mulige sammenhænge i forhold til soens reproduktion og produktivitet.



Figur 1. Illustration af hvordan de to essentielle fedtsyrer linsyre (C18:2 n-6) og alfa-linolensyre (C18:3 n-3) kan omdannes til andre vigtige n-6 og n-3 fedtsyrer, som soen enten kan tilføres via foderet eller selv syntetiserer ved at øge kædelængden og indsætte dobbeltbindinger i kulstofkæden. Desuden angives serierne af eicosanoider, hvor de forskellige C20 fedtsyrer indgår som substrater i syntesen [32].

Fodermidlers bidrag til soens n-6 og n-3 forsyning

Ofte betragtes foderets fedtindhold ud fra den tilsatte fedtkilde, hvilket er fejlagtigt, da korn og proteinkilder også bidrager med et væsentligt indhold af fedtsyrer. Tabel 1 angiver forskellige fodermidlers og fedtkilders bidrag af n-6 og n-3 fedtsyrer i g fedtsyre pr. kg tørstof. Ud fra tabellen er det muligt at beregne det omtrentlige n-6:n-3 forhold i en given blanding. Det fremgår klart af Tabel 1, at et bidrag af EPA og DHA kun opnås ved brug af fedtkilder af marin oprindelse, og disse frarådes i foderblandinger til slagtesvin af hensyn til kvalitet af slagtekroppen, mens de kan indgå i lavere dosis til smågrise og søer.

Den væsentligste forsyning med n-3 fedtsyrer kommer alene fra fiskeolier, alger og enkelte olier af vegetabilsk oprindelse, hvilke har en meget lav n-6:n-3 ratio. Når sofoderet indeholder store mængder af korn eller majs, øges andelen af n-6 fedtsyrer og n-6:n-3 ratioen, hvilket ikke er optimalt i forhold til soens sundhed og reproduktion [21-23,31]. Det skal dog nævnes, at det optimale forhold mellem n-6 og n-3 fedtsyrer i foderet er til svin endnu ikke er defineret [30], og at officielle internationale

anbefalinger [29] som nævnt ovenfor kun adresserer indholdet af n-6 fedtsyrer i form af behovet for LA.

Table 1. Indhold af n-6 og n-3 fedtsyrerne linolsyre (LA; n-6), alfa-linolensyre (ALA; n-3), arakidonsyre (ARA;n-6), Eicosapentaensyre (EPA; n-3) og dokosehexaensyre (DHA; n-3) i råvarer og fedtkilder anvendt til sofoder.

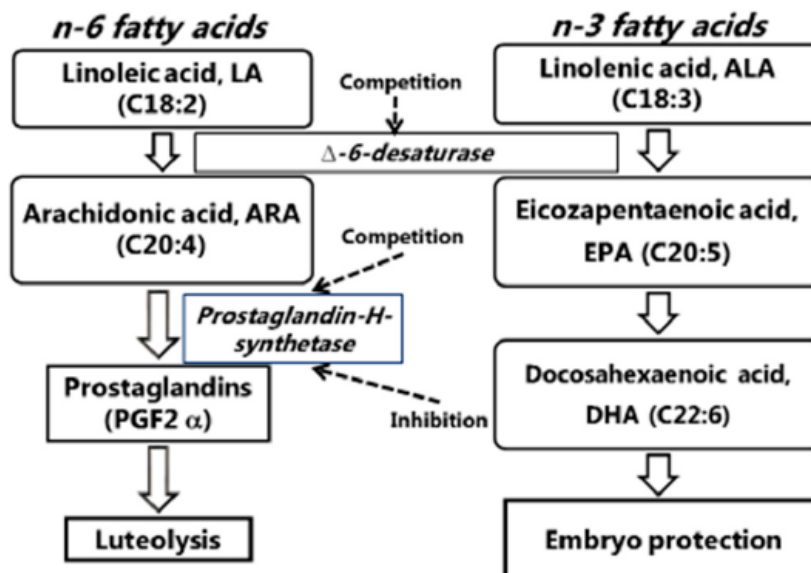
Fodermiddel	Fedtsyreindhold, g fedtsyre pr. kg tørstof					Ratio n-6:n-3	Reference
	LA C18:2 n-6	ALA 18:3 n-3	ARA C20:4 n-6	EPA C20:5 n-3	DHA C22:6 n-3		
Byg	7,5	0,6	-	-	-	13,3	[35]
Hvede	6,34	0,28	-	-	-	22,5	[36]
Havre	17,0	0,7	-	-	-	25,9	[37]
Rug	7,6	0,9	-	-	-	8,6	[35]
Triticale	8,2	0,58	-	-	-	14,0	[29]
Majs	18,4	0,57	-	-	-	32,3	[29]
Afskallet sojaskrå	12,7	1,76	-	-	-	7,1	[29]
Solsikkekrå	15,6	0,07	-	-	-	212	[29]
Rapsskrå	5,8	2,8	-	-	-	2,1	[29]
Rapskage	17,6	8,39	-	-	-	2,1	[29]
Hestebønner	5,85	0,41	-	-	-	14,2	[29]
Kokosolie	27,3	0,9	-	-	-	30,3	[38]
Svinefedt	53,5	6,8	-	-	1	7,87	[38]
Palmeolie	83	6,7	-	-	-	12,4	[38]
Sojaolie	489	51	-	-	-	9,6	[39]
Majsolie	603	10,6	-	-	-	56,9	[38]
Solsikkeolie	594	3	-	-	-	198	[39]
Rapsolie	164	83	-	-	-	2,0	[39]
Hørfrøolie	156	555	-	-	-	0,28	[39]
Hampeolie	560	174	-	-	-	3,19	[40]
Echium olie	158	326	-	-	-	0,48	[41]
Fiskeolie (menhaden)	20	14	11	130	85	0,14	[42]
Fiskeolie (sild)	14	11	4	84	87	0,10	[39]
Fiskeolie (laks)	12	6	-	120	138	0,04	[22]
Fiskeolie (tun)	5	-	1,8	92,9	208	0,02	[43]
Mikroalger (EPA + DHA)	19	1	11	165	271	0,07	[39]
Mikroalger (DHA)	3	2	8	8	440	0,02	[39]

Vigtigheden af n-3 og n-6 i forbindelse med reproduktion

I forbindelse med søers reproduktion er der forsket intenst i at klarlægge rollerne af n-3 og n-6 fedtsyrerne, og om supplering af soens foder med disse kan bruges til at forbedre reproduktionen [22,23]. Den høje kuldstørrelse der er opnået via genetisk selektion siden 1992 medfører sandsynligvis et endnu større træk på søernes reserver af n-6 og n-3 fedtsyrer under drægtigheden, og derfor er det væsentligt at få vurderet, om der er et potentiale for so og pattegrise ved at sætte fokus på anvendelsen af disse fedtsyrer i foderet til drægtige søer, idet foderet i hele perioden med fremgang i kuldstørrelse har haft en væsentlig overvægt af n-6 fedtsyrer.

Betydning af n-6 og n-3 fedtsyrer for den tidlige fosterudvikling

Generelt har forskningsindsatsen vedrørende n-6 og n-3 fedtsyrerne i forbindelse med udviklingen af oocytter og opretholdelse af drægtighed været begrænset. Oocytter indeholder en stor andel fedt, primært n-6 [22]. Ændringer af n-6:n-3 ratio kan spille en rolle i reproduktionen, blandt andet argumenterer Tanghe og De Smet (2013) for, at et reduceret forhold mellem n-6 og n-3 fedtsyrerne kan reducere udskillelsen af PGF2 α fra børslimhinden. Dette kan øge holdbarheden af de gule legemer og den tidlige embryonale overlevelse [23]. Desuden kan forholdet mellem n-6 og n-3 fedtsyrerne ændre syntesen af eicosanoider og prostaglandiner [23], hvilket inkluderer signalstoffer for opretholdelse af drægtighed (se Figur 2). Dette understøttes af Gokuldas et al. (2018), som fandt, at en øget andel n-3 fedtsyrer fra hørfrøolie kunne ændre genexpressionen af PGFS, så en lavere syntese af PGF2 α blev opnået i de første 11 dage af drægtigheden [44]. Dette vil være gavnligt for bevarelsen af de gule legemer og dermed produktionen af progesteron. Hos køer virker cytokinet interferon-tau som signalstof, der sikrer opretholdelse af det gule legeme, så drægtigheden opretholdes ved at hæmme udskillelsen af PGF2 α [45]. Samme signalstof findes hos søer og kan påvirkes af foderets indhold af n-3 fedtsyrer i sen drægtighed [46]. Det er derfor nærliggende at antage, at en højere koncentration af interferon-tau som følge af en højere mængde n-3 i foderet også kan være gavnligt for opretholdelse af de gule legemer hos søer, men der findes ingen forskningsresultater vedrørende dette.



Figur 2. Betydning af n-6 og n-3 fedtsyrer med angivelse af mulige effekter på reproduktion [22].

Betydning af n-6 og n-3 fedtsyrer på antal dage fra fravæning til løbning

Et nøgletal i søernes reproduktion er antallet af dage fra fravæning til løbning, og udgør normalt fem-syv dage [47]. Antallet af dage er påvist at hænge sammen med soens huldtab i den forudgående

diegivningsperiode, og et stort vægttab reducerer antallet af follikler i den følgende ægløsning [48]. Da størrelsen af follikler ved fravæning også påvirker antallet af dage fra fravæning til løbning [47], og da fødselsvægten er afhængig af antallet af dage fra fravæning til løbning [49], vil enhver påvirkning af intervallet kunne påvirke fødselsvægten og dermed potentielt pattegriseoverlevelsen. I et forsøg med tilsætning af 6 g pr. kg foder af n-3 fedtsyrer i diegivningsperioden blev der fundet en tendens ($P = 0,098$) til, at en stigende mængde n-3 kunne reducere antallet af dage fra fravæning til løbning [33]. Tilsvarende fandt Smits et al. (2011), at brug af 3,3 g fiskeolie pr. kg foder numerisk reducerede antallet af dage fra fravæning til løbning fra 7,8 til 6,3 dage ($P=0,13$). Resultaterne understøttes af forsøg udført af Chen et al. (2019) [50], mens Posser et al. (2018) fandt, at antal dage fra fravæning til løbning ikke blev påvirket af n-3 supplement i forskellige doseringer. Tildeling af 7 g pr. dag resulterede dog i et længere interval fra fravæning til løbning [51]. I flere af de gennemførte forsøg indgår relativt få søer pr. behandling, og med et normalt interval på tre-syv dage [52] vil det ofte være svært at få et statistisk sikkert udslag.

Betydning af n-6 og n-3 fedtsyrer for drægtighedslængden

Længden af drægtigheden kan muligvis forlænges ved tilsætning af n-3 fedtsyrer, men mekanismerne bag er dog ikke fuldt kortlagt. Baseret på undersøgelser med både mennesker flere dyrearter påpeger flere studier, at en øget tildeling af n-3 fedtsyrer potentielt kan forlænge drægtigheden [24,53-55]. Dette resultat viser sig ligeledes i enkelte forsøg med søer [54,55], hvilket skyldes, at anvendelsen af høje koncentrationer af fiskeolie eller DHA hæmmer produktionen af prostaglandiner af n-6 familien, heriblandt PGF2 α . Denne produceres ud fra ARA [23] og er ansvarlig for igangsætningen af faringen, hvorfor en lavere udskillelse af PGF2 α vil kunne udsætte faringen. Som tidligere nævnt har forholdet mellem n-6:n-3 indflydelse på, hvilke serier af eicosanoider der produceres. Derved medfører ekstra n-3 fedtsyrer en reduktion af produktionen af PGF2- α og PGE2 [22], idet n-3 fedtsyrer inkorporeres i celler og væv snarere end n-6 fedtsyrer. Desuden kan n-3 fedtsyrer have en direkte indflydelse på muskelkontraktioner i den glatte muskulatur i børen gennem Ca²⁺ kanalerne [23]. Der er dog gennemført adskillige forsøg (Tabel 2), som ikke har kunnet påvise en længere drægtighed ved øget n-3 koncentration i sofoderet.

Betydning af n-6 og n-3 fedtsyrer for insulinresistens

Under drægtigheden indtræder der ofte insulinresistens hos soen, typisk startende omkring uge 12 i drægtigheden [56]. Denne tilstand gør det sværere at optage glukose fra blodbanen og sikre fostrenes energiforsyning. Det er blevet foreslået, at n-3 fedtsyrer modvirker insulinresistens [57]. Argumentationen er, at n-3 på cellulært niveau påvirker mitokondriernes og det endoplasmatiske retikulums funktion, så insulinresistens undgås [58]. TNF- α er et proinflammatorisk cytokin og kan til en vis grad undertrykkes ved indtagelse af n-3. TNF- α spiller desuden en direkte rolle i lipidmetabolismen og glukose-homeostasen [57]. De fysiologiske baggrunde for denne insulinresistens og de potentielt positive effekter af n-3 fedtsyrer er ikke endelig klarlagt og dokumenteret, da det er nødvendigt med yderligere forskning eller større forsøg.

Overførsel af n-6 og n-3 fedtsyrer fra so til fostre under drægtigheden

Under drægtigheden overføres n-6 og n-3 fedtsyrer til fostrene, som er afhængige af denne materielle forsyning for at opretholde normal vækst og cellefunktion, idet fedtsyrerne indgår i de fosforlipider, der udgør cellernes struktur [27]. Endvidere indgår DHA som en vigtig del i flere strukturer i fostrenes hjerner og akkumuleres i hjernevæv under fostervæksten [27], specielt i den sidste tredjedel af drægtigheden [59]. I den placental overførsel af fedtsyrer er det påvist, at n-6 og n-3 fedtsyrer prioriteres højere end ikke-essentielle fedtsyrer i de transportmekanismer, der findes i placenta [27]. Det er samtidig påvist, at der sker en selektiv optagelse, således at langkædede polyumættede

fedtsyrer (LC-PUFA) med en kædelængde på 20 carbonatomer og derover optages frem for fedtsyrer med 18 carbonatomer, og selv ved en øget koncentration af LA og ALA i foderet vil andelen af LC-PUFA i fostrene være på et lavt niveau [60]. Både LA og ALA kan af fostrene modificeres til

... både LA og ALA kan af fostrene modificeres til henholdsvis ARA og EPA/DHA, dog i et begrænset omfang, da enzymaktiviteterne er lave indtil fødslen ...

henholdsvis ARA og EPA/DHA, dog i et begrænset omfang, da enzymaktiviteterne er lave indtil fødslen. Dette understøttes ligeledes af studier, der påpeger, at når soen tildeles supplerende DHA, øges aflejringen af DHA i fostrene [61] endnu mere, end hvis n-3 tilføres via ALA [27]. Tilsvarende fandt de Quelen et al. (2010), at når svinefedt blev erstattet med hørfrøolie, ville fedtet i

placenta ved faring indeholde ca. 1,2 gange mere LA ($P < 0,05$) og fire gange mere ALA ($P < 0,05$). Dette medførte, at n-6:n-3-forholdet blev reduceret fra 6,8 til 3,7 [62]. Ved aflivning af grise ved faring blev der ligeledes fundet, at grisenes krop indeholdt mere ALA ved anvendelse af hørfrøolie, idet andelen af ALA ud af den samlede mængde fedtsyrer steg 0,3 % til 5,7 % ($P < 0,05$). Samtidig steg andelen af EPA og DHA ($P < 0,001$), mens indholdet af ALA, EPA og DHA i fostrenes hjerner var upåvirkede af fedtkilden [62]. Tilsvarende fandt Luo et al. (2020), at ved at udskifte 3 % sojaolie til 0,5 % sojaolie + 2,5 % fiskeolie fra dag 85 i drægtigheden, forblev LA-koncentrationen uændret i blodet i navlestrengen hos nyfødte grise, mens ARA blev reduceret ($P < 0,05$) og EPA ($P < 0,001$) og DHA ($P < 0,01$) blev forøget. Samlet blev forholdet n-6:n-3 ændret fra 6,06:1 til 3,63:1 ($P < 0,05$) [63]. En mulig forklaring på ovenstående fund er, at aflejringen af EPA og DHA i fostrenes hjerner er højt prioriteret, og at aflejringen i resten af kroppen samt i blodet afspejler det overskud eller underskud, der kan være forårsaget af dels maternelt overført EPA og DHA og i begrænset omfang EPA og DHA modificeret ud fra ALA af fostrene selv. Der er i et enkelt studie blevet fundet delta-6-desaturase og delta-5-desaturase (enzymet til omdannelse af n-3 fedtsyrer) i fostrene allerede på dag 45 i drægtigheden [23]. Dette understreger, at fostrene har en vis kapacitet til selv at omdanne n-3 fedtsyrer efter behov.

Det vigtigt at forstå, at koncentrationen af LA, ALA, ARA og DHA er forskellige i det materielle og føtale plasma, idet både LA og ALA er højere i det materielle plasma, både i form af indholdet i triglycerider, fosfolipider og kolesterolstre, end i det føtale plasma. Omvendt er koncentrationerne af ARA og DHA henholdsvis to-fire gange højere og 1,5-5 gange højere i det føtale plasma i triglycerider, fosfolipider og kolesterolstre. Ovenstående stammer fra humane studier, og fysiologisk forventes det også at være tilfældet for søer. Samtidig vidner forholdene om, at en lav kapacitet til at konvertere LA til ARA og ALA til DHA medfører en placental overførsel af alle fire fedtsyrer. Samtidig syntetiseres en mindre andel af det føtale ARA og DHA i fostrenes lever [27], og fysiologisk forventes dette også at gælde for søer. Når der i enkelte forsøg findes negative konsekvenser ved brug af fiskeolie på fostrenes tilvækst og dermed fødselsvægt, kan det måske forklares med, at niveauet af ARA bliver meget lavt i pattegrisene som følge af supplerings med fiskeolie, der indeholder høje mængder af EPA og DHA (Tabel 1) og stort set ingen n-6 fedtsyrer. ARA har betydning for fostrenes tilvækst, idet den aktiverer vækstproteinet, syntaksin-3 [64]. Det understreger, at der ikke alene må fokuseres på tildelingen af n-3 fedtsyrer, men at ratioen mellem n-6:n-3 er væsentlig. Der er dog på baggrund af de gennemførte forsøg (Tabel 2) ikke tilstrækkelig med baggrund til at fastlægge det optimale n-6:n-3-forhold til maksimal fostertilvækst og heller ikke, hvilke koncentrationer af n-6 og n-3 der skal anvendes af hensyn til optimal fostervækst.

Betydning af n-3 på fostrenes udvikling

En korrekt udvikling af hjernen er essentiel for at få vitale grise med gode overlevelseschancer. Indholdet af DHA i hjernen er højt hos pattegrisene og udgør ca. 8-10 % af det totale fedtyreindhold [23]. Dette peger på, at DHA-tilskud til søerne i slutdrægtighed, hvor fostrenes hjerner udvikles hurtigt, eller under laktation, hvor DHA kan overføres til pattegrisene via mælken, kan have indflydelse på udviklingen af blandt andet hjernen [23]; DHA spiller en rolle i udvikling af syn, kognitive evner og

nervesystemet [21]. Der er også fundet højere mængder af serotonin i pattegrise, der er født af søer suppleret med n-3, hvilket kan have en indflydelse på søvn og kognitive evner [21]. Generelt er pattegrisenes indhold af n-3 i blodet højere og deres n-6:n-3 ratio lavere, når soen er blevet suppleret med forskellige n-3 kilder i drægtighed og/eller under laktation [40,50,54,62,65-79].

Der findes ingen forskning, der indikerer en direkte sammenhæng mellem soens og pattegrisenes n-3-status, f.eks. blev der fundet en lav korrelation mellem n-3 status i hjernen og navlestrengsblodet hos pattegrisene [79]. Dette er i sammenhæng med andre studier, der finder, at den mindste forskel i n-3 mellem forsøgs- og kontrolgruppen blev fundet i hjernen [68], men der bliver dog stadig fundet en forskel [62,73,76,77,80]. Dog kan det ifølge Gunnarsson et al. 2008 diskuteres, om en øgning af n-3 i hjernen har en direkte effekt hos pattegrisene, idet de, ved at udføre en adfærdstest, ikke finder nogen signifikante forskelle mellem de forskellige grupper pattegrise [77].

... DHA spiller en rolle i udvikling af syn, kognitive evner og nervesystemet ...

Samlet vurdering af effekter af n-3 på søernes reproduktive produktivitet

Tabel 2 angiver de effekter, der er fundet omkring reproduktion og drægtighed ved brug af forskellige fedtkilder. I rigtig mange forsøg findes ingen eller marginale udslag ved at øge n-3, men ofte er forsøgene gennemført med få gentagelser, og en eventuel positiv numerisk effekt er ikke tilstrækkelig til at resultere i et statistisk sikkert udfald, hvorfor statistiske trends også fremgår af Tabel 2.

Tabel 2. Opnåede effekter på reproduktion i form af antal dage fra fravæning til løbning, drægtighedslængde, faringsprocent, totalfødte grise pr. kuld og fødselsvægt pr. gris ved brug af forskellige fedtkilder med varierende forsyning af n-3 fedtsyrer. I tabellen er effekterne vist ved brug af pile med følgende forklaring: Ingen statistisk sikker effekt (\Rightarrow); statistisk sikker forøgelse (\Uparrow , $P < 0,05$); statistisk sikker reduktion (\Downarrow , $P < 0,05$); trend i opadgående retning (\nearrow , $P < 0,10$); trend i nedadgående retning (\searrow , $P < 0,10$).

Dosering	Ratio ¹ n-6:n-3	Tildelingstidspunkt ²	Effekter					Reference
			Fravæning til løbning	Drægtighedslængde	Faringsprocent	Totalfødte grise pr. kuld	Fødselsvægt pr. gris	
Hørfrøolie								
35 g/kg	1,6:1 (10,5:1)	D107 → FRAV	-	-	-	\Rightarrow	\Rightarrow	[81]
42,5 g/kg	15:1 (20:1)	D108 → FRAV	-	-	-	\Rightarrow	\Rightarrow	[82]
94 g/kg	10:1 (20:1)	D108 → FRAV	-	-	-	\Rightarrow	\Rightarrow	[82]
6 g/kg	5:1 (19:1)	DIE (forudgående kuld, første kuld)	\Rightarrow	-	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	[33]
6,4 g/kg	7:1 (19:1)	DIE (forudgående kuld, første kuld)	\Rightarrow	-	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	[33]

Fortsættes ...

Dosering	Ratio ¹ n-6:n-3	Tildelingstidspunkt ²	Effekter					Reference
			Fravæning til løbning	Drægtighedslængde	Faringsprocent	Totalfødte grise pr. kuld	Fødselsvægt pr. gris	
6 g/kg	5:1 (19:1)	DIE (forudgående kuld, >andet kuld)	⇩	-	⇨	⇨	⇨	[33]
6,4 g/kg	7:1 (19:1)	DIE (forudgående kuld, >andet kuld)	⇩	-	⇨	⇨	⇨	[33]
2,4 g/kg ³	7:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇨	-	-	⇨	⇨	[83]
13,8 g/kg ³	5:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇨	-	-	⇨	⇨	[83]
25,6 g/kg ³	1:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇨	-	-	⇨	⇨	[83]
2,4 g/kg ³	7:1 (7:1)	D80 → FRAV (forrige kuld)	⇨	-	-	⇨	⇨	[83]
13,8 g/kg ³	5:1 (7:1)	D80 → FRAV (forrige kuld)	⇨	-	-	⇨	⇨	[83]
25,6 g/kg ³	1:1 (7:1)	D80 → FRAV (forrige kuld)	⇨	-	-	⇨	⇨	[83]
36,8 g/kg	2,6:1 (8,6:1)	D73 → FRAV	-	⇨	-	⇨	⇨	[64]
14 g/kg	9:1 (13:1)	D108 → FRAV	-	-	-	⇨	⇨	[65]
32 g/kg	3:1 (13:1)	D108 → FRAV	-	-	-	⇨	⇨	[65]
15 g/kg	2,1:1 (8,6:1)	D28 → FRAV	-	⇨	-	⇨	⇨	[62]
27,7 g/kg ³	1:1 (12,9:1)	D68 → FRAV	-	-	-	-	⇨	[46]
8,6 g/kg ³	3,1:1 (12,9:1)	D68 → FRAV	-	-	-	-	⇨	[46]
3,5 g/kg ³	1,1:1 (12,9:1)	D68 → FRAV	-	-	-	-	⇨	[46]
30 g/kg	1,3:1 (10,7:1)	D29 → FAR	-	↑	-	⇨	⇨	[54]
Hampeolie								
25 g/kg	5,7:1 (9,5:1)	D108 → FRAV	-	-	-	-	⇨	[40]
50 g/kg	4,3:1 (9,5:1)	D108 → FRAV	-	-	-	-	⇨	[40]
Echiumolie								
36,8 g/kg	3,2:1 (8,6:1)	D73 → FRAV	-	⇨	-	⇨	⇨	[64]

Fortsættes ...

Dosering	Ratio ¹ n-6:n-3	Tildelingstidspunkt ²	Effekter					Reference
			Fravæning til løbning	Drægtighedslængde	Faringsprocent	Totalfødte grise pr. kuld	Fødselsvægt pr. gris	
Fiskeolie								
10 g/kg	-	LØB → FRAV	-	⇨	-	⇨	⇨	[84]
10 g/kg	-	LØB → FRAV (forrige kuld)	⇨	⇨	-	⇨	⇨	[84]
25 g/kg	1,5:1 (8,8:1)	D85 → FRAV	-	-	-	⇨	⇨	[63]
68 g/kg	-	D85 → FRAV	⇩	-	-	⇨	⇨	[50]
40 g/kg ⁴	-	LØB → FRAV	-	-	⇨	⇧	⇩	[85]
40 g/kg ⁵	-	LØB → FRAV	-	-	⇨	⇨	⇨	[85]
30 g/kg	4,2:1 (20,3:1)	D90 → FRAV	-	-	-	⇨	⇧	[67]
39 g/kg	5:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇨	-	-	⇨	⇨	[83]
39 g/kg ⁶	5:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇨	-	-	⇨	⇨	[83]
36,8 g/kg	3,6:1 (8,6:1)	D73 → FRAV	-	⇨	-	⇨	⇩	[64]
70 g/kg	1,2:1 (14,8:1)	D105 → FRAV	-	-	-	-	⇨	[86]
84 g/dag	-	D60 → LØB	-	-	-	⇨	⇨	[87]
84 g/dag ⁶	-	D60 → LØB	⇨	-	-	⇨	⇨	[87]
3g/kg ⁶	9,5:1 (15,1:1)	D108 → FRAV	⇨	-	⇨	⇧	-	[88]
50 g/kg	-	D109 → FAR	-	-	-	⇨	⇨	[89,90]
2 g/kg ⁴	-	D60 → FRAV	-	-	-	⇨	⇨	[91]
2 g/kg ⁵	-	D60 → FRAV	-	-	-	⇨	⇧	[91]
20 g/kg	2,1:1 (10,1:1)	D112 → FRAV	-	-	-	-	-	[92]
20 g/kg	2,1:1 (10,1:1)	D107 → FRAV	-	-	-	-	⇧ ⁷	[92]
1,65 g/kg	3,7:1 (6,8:1)	LØB → FRAV	-	-	-	⇨	⇩	[55]
17,5 g/kg	1,2:1 (13,7:1)	D60 → D92	-	-	-	⇨	⇨	[69]
5/10/20 g/kg	6,8:1/ 4,9:1/ 3,6:1 (10,2:1)	D60 → FAR	-	-	-	⇩ ⁸	⇧	[93]
17,5 g/kg	1,2:1 (13,7:1)	D92 → FAR	-	-	-	⇨	⇨	[69]
35 g/kg	-	D107 → FRAV	-	-	-	⇨	⇨	[66]

Fortsættes ...

Dosering	Ratio ¹ n-6:n-3	Tildelingstidspunkt ²	Effekter					Reference
			Fravæning til løbning	Drægtighedslængde	Faringsprocent	Totalfødte grise pr. kuld	Fødselsvægt pr. gris	
70 g/kg	-	D107 → FRAV	-	-	-	↔	↔	[66]
Algeekstrakt								
3,5 g/dag	-	D85 → LØB	↔	-	-	↔	↔	[51]
7,0 g/dag	-	D85 → LØB	↑	-	-	↔	↔	[51]
14 g/dag	-	D85 → LØB	↔	-	-	↔	↔	[51]
28 g/dag	-	D85 → LØB	↔	-	-	↔	↑	[51]
3,5 g/dag ⁶	-	D85 → LØB	-	-	-	↔	-	[51]
7,0 g/dag ⁶	-	D85 → LØB	-	-	-	↔	-	[51]
14 g/dag ⁶	-	D85 → LØB	-	-	-	↔	-	[51]
28 g/dag ⁶	-	D85 → LØB	-	-	-	↔	-	[51]
0,3 g/kg	-	D87 → FRAV	-	↔	-	↔	↔	[94]
3 g/kg	-	D87 → FRAV	-	↔	-	↔	↔	[94]
10 g/dag	-	D109 → FRAV	-	-	-	↔	↔	[90]
85 g/dag ⁶	-	D110 → LØB	-	-	↔	↑	-	[95]
85 g/dag ⁴	-	D-30 → FAR	-	-	-	↑	↓	[96]

¹ Rationen n-6:n-3 er enten oplyst i referencen eller beregnet ud fra fedtsyreanalyser af foderblandingerne, der indgik i forsøgene. Værdierne i parentes angiver kontrolgruppens ratio mellem n-6 og n-3.

² Forklaring: D=dag i drægtighed; FAR = faring; DIE = diegivningsperiode; FRAV = fravæning; LØB = løbning.

³ Det samlede indhold af hørfrøolie er beregnet ud fra det oplyste indhold af olie (13,3 %) i hørfrømel [97] og et antaget indhold på 27,7 % olie [98] i hørfrø.

⁴ Omfatter kun gyltekuld.

⁵ Omfatter kun andetkuldssøer.

⁶ Resultaterne omfatter det efterfølgende kuld.

⁷ Der blev opnået en højere fødselsvægt ved tildeling af fiskeolie i otte frem for tre dage før forventet faring (P<0,01).

⁸ Faldet i kuldstørrelsen var korreleret til stigende andel lakseolie i foderet (P<0,05).

Delkonklusion vedrørende n-3 fedtsyrer og reproduktion

Ud fra ovenstående litteraturgennemgang vurderes det største potentiale under drægtigheden at kunne opnås ved at anvende fedtkilder af marin oprindelse, der bidrager direkte med de langkædede flerumættede fedtsyrer (EPA og DHA), snarere end vegetabiliske olier, der har et højt indhold af ALA. Tildeling af navnlig DHA i diegivningsperioden vil potentielt kunne forbedre folliklernes kvalitet ved den efterfølgende brunst, og marginalt vil dette kunne reducere tiden fra fravæning til første løbning. En bedre follikelkvalitet og et bedre miljø i bør og børhorn i den tidlige drægtighed vil kunne påvirke både implantationsraten og den tidlige fosteroverlevelse.

Brugen af DHA under drægtighed vil stadig give mulighed for en vis syntese af ARA ud fra LA i fosteret, hvilket er essentielt i forbindelse med fostervæksten. Direkte tildeling af DHA til soen og dermed mulighed for direkte overførsel til fostrene vil medføre, at de desaturaser (enzymmer), der

indgår ved dannelsen af ARA ud fra LA, ikke skal udnyttes til produktion af EPA fra ALA, hvilket er en fysiologisk fordel. Dette medfører, at de positive effekter med størst sandsynlighed vil opstå ved brug af en vis mængde af fedtkilder af marin oprindelse. Jævnfør de relativt lave doseringer af fedtkilder i Tabel 1 vil de marine fedtkilder kun skulle udgøre en del af den samlede mængde tilsatte fedt til foderet til drægtige søer. Dette vil både sikre en vis daglig forsyning med n-3 fedtsyrer, og at forholdet mellem n-6:n-3 reduceres. Da ingen dosis-responsforsøg er gennemført, er det ikke muligt at afgøre, hvilken n-3 dosering eller DHA-dosering der er den optimale.

Vigtigheden af n-3 og n-6 i forbindelse med diegivning

Tildeling af fedtkilder, der er rige på n-3 fedtsyrer, påvirker mælkenes indhold af n-3 fedtsyrer og kan desuden ændre koncentrationen af immunoglobuliner i kolostrum. I følgende afsnit vil effekterne på dels mælkenes kvalitet, dels soens produktivitet blive gennemgået.

Overførsel af n-6 og n-3 fedtsyrer via kolostrum og mælk

Hos diegivende søer kan tilskud af n-6 og n-3 fedtsyrerne føre til et øget niveau af disse i soens eget væv. Ved tildeling af øget n-3 ses en markant øgning i væv [50,68,70,98], kolostrum og mælk [40,50,62,65,67,68,71,72,74,83,91,99-101]. Effekten vil som oftest kunne måles direkte i pattegrisene i form af n-3-koncentration i blod eller forskellige væv [40,50,54,62,65-79], herunder deres fedtvæv [74], og effekten kan også måles efter fravæning [78].

Fedt tilført i løbet af drægtigheden, og specielt i sen drægtighed, vil til dels blive aflejret i mælkekirtlerne og kan øge fedtindholdet i kolostrum [102]. Ved supplering af n-3 fedtsyrer i diegivningsfoderet stiger indholdet af disse ligeledes signifikant i mælken [54,99,103]. En ændring af n-6:n-3 fra omkring 8,8:1 til 1:1 ved anvendelse af hørfrøolie frem for svinefedt i diegivningsfoderet medførte en ændring i forholdet mellem n-6 og n-3 i kolostrum fra 7,9:1 til 2,9:1 ($P<0,001$). Tilsvarende resultater blev fundet i somælken dag 7, 14, 21 og 28 efter faring. De omtrentlige forøgelse, der blev fundet i mælkenes indhold af ALA, EPA og DHA ved at erstatte svinefedt med hørfrøolie, var på henholdsvis 740 %, 250 % og 120 % [62]. Da hørfrøolie ikke indeholder DHA og kun marginale mængder EPA, vidner ovenstående om, at soens kapacitet til at konvertere ALA til EPA og DHA er begrænset, hvilket er bekræftet i et forsøg med hampeolie, som blev undersøgt i forhold til sojaolie [40]. Ved brug af fiskeolie kan der imidlertid opnås et betydeligt bidrag af både EPA og DHA i somælken. Ved at udskifte 3,5 % sojaolie til 0,7 % sojaolie + 2,8 % fiskeolie i diegivningsfoderet fandt Luo et al. (2020), at indholdet af n-6 fedtsyrerne LA og ARA samt n-3 fedtsyren ALA i kolostrum og mælk faldt ($P<0,05$), mens indholdet af EPA og DHA steg ($P<0,05$) [63]. Ved brugen af sojaolie var indholdet af EPA og DHA ikke detekterbar i somælken. Dette peger derfor på, at n-3 fedtsyrer effektivt overføres til somælken, når de tildeles i soens foder.

I diegivningsperioden er pattegrisene afhængige af n-6 og n-3 fedtsyrer overført via soens kolostrum og mælk. Forsøg har vist, at hvis pattegrise i de første 18 dage efter faring tildeles ernæring uden LA og ALA, påvirkes udviklingen af hjernen negativt, og koncentrationen af neurotransmittere reduceres. Men ved tildeling af ARA (0,2 %) og DHA (0,15 %) til det LA/ALA frie foder, normaliseres udviklingen og koncentrationen af neurotransmittere. Dette skal ses som et direkte bevis for, at ARA og DHA er nødvendige for hjernens udvikling [104]. Der er imidlertid ingen forsøgsresultater, der viser, om det er en fordel, at tildelingen sker i form af LA/ALA eller ARA/DHA, og ARA vil i høj grad skulle syntetiseres af soen eller pattegrisene ud fra LA, da ARA ikke findes i de fedtkilder, der anvendes i foderet. Tildeling af en fedtkilde rig på DHA vil sandsynligvis have den fordel, at omsætningen af LA til ARA øges, når der er mindre ALA til stede, men det har ikke været muligt at finde forsøg, der understøtter denne fysiologiske overvejelse. Det er dog interessant, at Vodolazska and Lauridsen (2020) kunne påvise, at pattegrisene selv omdannede n-6 og n-3 fedtsyrerne fra somælken til mere langkædede flerumættede fedtsyrer. Således var der mere C20:5n-3 og C22:5n-3 i grise, der via somælken havde

fået tildelt et øget indhold af C18:3n-3 og C18:4n-3 [40]. Dette vidner om, at pattegrisene selv er i stand til at omsætte n-3 fedtsyrerne fra soens mælk til de mere bioaktive former.

Effekter af n-3 på pattegriseoverlevelse

Litteraturen giver ikke et generelt billede af, om n-3 fedtsyrer øger pattegrisenes overlevelse eller ej (Tabel 3). Nogle studier finder en højere pattegrisedødelighed i forsøgsgrupperne – med henholdsvis fiskeolie eller blandet tilskud af DHA, EPA og ALA til soen [50,80,105] – mens Jin et al. (2017) finder en forbedret pattegriseoverlevelse ved suppleret med fiskeolie [67]. De positive effekter, som n-3 fedtsyrer kan have på mælkenes indhold af immunoglobuliner (se senere afsnit), kan potentielt betyde et bedre immunforsvar hos pattegrisene, hvilket bidrager til en øget pattegriseoverlevelse. På tværs af flere forsøg ses en stigning i anti-inflammatoriske signaler, når søerne suppleres med n-3 fedtsyrer [22,106]. Der er dog også en del forsøg, der ikke kan påvise ændringer i pattegrisedødeligheden

... De positive effekter, som n-3 fedtsyrer kan have på mælkenes indhold af immunoglobuliner, kan potentielt betyde et bedre immunforsvar hos pattegrisene ...

[64,73,80,92,107,108], og effekten – eller mangel på samme – afhænger sandsynligvis af dosen af fedt i foderet. Rooke et al. (1998) forsøger at undersøge pattegrisenes evner til at overleve ud fra deres kognitive evner i form af en vitalitetsundersøgelse (undersøgelse af hjerterytme, åndedræt og evnen til at rejse sig

hurtigt) af alle pattegrise. Forsøget viste, at hvis søerne blev suppleret med 30 gram tunolie pr. dag, fødes pattegrise med en lavere vitalitet end kontrolgruppen, der fik tildelt 30 g sojaolie pr. dag [68]. Da faringerne blev induceret dag 113-114, kan det imidlertid betyde, at fostrene ikke var lige så udviklede i gruppen af søer, der fik tunolie, idet dette potentielt kunne øge drægtighedslængden. Således er vitaliteten i forsøget muligvis konfunderet med faringsinduktionen. Lignende karakterisering er anvendt af Tanghe et al. (2014), som fandt, at tilskud med n-3 fedtsyrer ikke havde nogen effekt på, hvor hurtigt pattegrisene var til at komme op at stå efter fødslen og til at komme til yveret. Til gengæld resulterede n-3 tilskuddet i, at fødselsintervallet mellem grisene blev statistisk sikkert forøget [109]. Tilsvarende fandt Adeleye et al. (2014), at 0,03 % og 0,3 % DHA tilskud øgede faringslængden, men at det samtidig medførte, at de fødte grise var hurtigere til at komme op at stå og markant hurtigere fandt hen til yveret og startede med at die, men at disse parametre ikke påvirkede hverken den tidlige pattegrisedødelighed eller dødeligheden indtil fravæning [94]. De kognitive evner kan medvirke til at påvirke grisenes tidlige adfærd, men forsøgene viser, at andre faktorer har stor indflydelse på evnen til at overleve. Således fås ikke et klart billede af betydningen af soens n-3-forsyning på pattegrisedødeligheden.

Effekter af n-3 på mælkeproduktionen

Forsøg viser, at anvendelsen af en høj koncentration af n-3 i form af hørfrøolie eller fiskeolie kan være negativt for mælkeproduktionen [82,83,85,99,109]. Lauridsen og Danielsen (2004) fandt, at kuldtilvæksten ved brug af 8 % fiskeolie var på samme niveau, som hvis der ikke blev tilsat fedt til diegivningsfoderet, samt at brugen af 8 % svinefedt eller 8 % solsikkeolie frem for fiskeolie formåede at øge kuldtilvæksten [99]. Fælles for forsøg med negative effekter er anvendelsen af relativt høje mængder af fedtkilder, der er rige på n-3 fedtsyrer, typisk >4 % i foderet (Tabel 3), dog med enkelte undtagelser. Resultaterne peger på, at de rene fedtkilder rige på n-3 fedtsyrer med fordel kan nøjes med at udgøre en del af den samlede mængde tilsatte fedt – under hensyntagen til ønsket om at reducere forholdet n-6:n-3.

... en øget tildeling af n-3 fedtsyrer vil reducere syntesen af prostaglandin PGF2 α , hvilket vil sikre en bedre opretholdelse af det gule legeme ...

Effekter af n-3 på efterfølgende kuld

I løbet af diegivningsperioden vil de follikler, som løsnes i næste brunst, have en vis vækst [47], og som indikeret i Tabel 2, viser flere forsøg, at brugen af n-3 fedtsyrer kan have indflydelse på både antallet af follikler men også kvaliteten af disse, når soen forud har fået en øget andel n-3 fedtsyrer.

Brugen af n-3 fedtsyrer i diegivningsperioden angives af Tanghe og De Smet (2013) at kunne påvirke den efterfølgende drægtighed positivt [23]. Forklaringen er, at en øget tildeling af n-3 fedtsyrer vil reducere syntesen af prostaglandin PGF2 α , hvilket vil sikre en bedre opretholdelse af det gule legeme [110] og en lavere udskillelse af PGF2 α i børslimhinden, hvilket forbedrer forholdene for de befrugtede oocytter i søer [111]. Når n-3 fedtsyrer både kan påvirke udviklingen af folliklerne, miljøet i børen og implantation af fostre, især hos ældre søer, hvor overlevelsesraten af embryo er dårligere end hos gylte, kan kuldstørrelsen potentielt forbedres [88]. Da både ovulationsrate og den tidlige fosteroverlevelse i implantationsfasen er afgørende for kuldstørrelsen, som efter ca. 30 dages drægtighed anses for relativt stabil [93], er disse væsentlige argumenter for de positive effekter, der kan opnås ved brug af n-3 fedtsyrer i diegivningsperioden og frem mod næste løbning [21].

Samlet vurdering af effekter af n-3 på produktivitet i diegivningsperioden

Tabel 3 viser de effekter, der er fundet omkring brugen af n-3 i forbindelse med søernes diegivningsperiode. Forskellige fedtkilder og forskellige koncentrationer af n-3 er anvendt. Tabellen indeholder resultater med statistiske opgørelser af produktiviteten i diegivningsperioden på de to parametre pattegrisetilvækst, som i nogle tilfælde dog er opgjort som kuldtilvækst, og pattegrisedødeligheden, som i nogle tilfælde kun er dokumenteret i form af flere fravænnede grise pr. kuld.

Tabel 3. Opnåede effekter på soens produktivitet i diegivningsperioden i form af effekt på kuld-/pattegrisetilvækst og pattegrisedødelighed ved brug af forskellige fedtkilder med varierende forsyning af n-3 fedtsyrer. I tabellen er effekterne vist ved brug af pile med følgende forklaring: Ingen statistisk sikker effekt (\Rightarrow); statistisk sikker forøgelse (\Uparrow , $P < 0,05$); statistisk sikker reduktion (\Downarrow , $P < 0,05$); trend i opadgående retning (\nearrow , $P < 0,10$); trend i nedadgående retning (\searrow , $P < 0,10$).

Dosering	Ratio ¹ n-6:n-3	Tildelingstidspunkt ²	Effekter		Reference
			Pattegrise- tilvækst	Pattegrise- dødelighed	
Hørfrøolie					
30,6 g/kg	15:1 (20:1)	D108 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	[82]
83 g/kg	10:1 (20:1)	D108 \rightarrow FRAV	\Downarrow	\Rightarrow	[82]
35 g/kg	1,6:1 (10,5:1)	D107 \rightarrow FRAV	\Uparrow	\Rightarrow	[81]
6 g/kg	5:1 (19:1)	DIE	\Rightarrow	\Rightarrow	[33]
6,4 g/kg	7:1 (19:1)	DIE	\Rightarrow	\Rightarrow	[33]
2,4 g/kg ³	7:1 (7:1)	D80 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	[83]
13,8 g/kg ³	5:1 (7:1)	D80 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	[83]
25,6 g/kg ³	1:1 (7:1)	D80 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	[83]
10 g/kg	2,6:1 (8,6:1)	D73 \rightarrow FRAV	\Uparrow	-	[64]
24,2 g/kg ⁴	2,6:1 (8,3:1)	D107 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	[64]
14 g/kg	9:1 (13:1)	D108 \rightarrow FRAV	\nearrow ⁵	\searrow ⁶	[65]
32 g/kg	3:1 (13:1)	D108 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\searrow ⁶	[65]
55 g/kg ⁷	1:1 (8,8:1)	D28 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	[62]
27,7 g/kg ³	1:1 (12,9:1)	D68 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Downarrow	[46]
8,6 g/kg ³	3,1:1 (12,9:1)	D68 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Downarrow	[46]
3,5 g/kg ³	1,1:1 (12,9:1)	D68 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Downarrow	[46]
10 g/kg ⁸	2:1 (10,7:1)	FRAV \rightarrow FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	[77]
30 g/kg	1,4:1 (10,2:1)	D29 \rightarrow FRAV	\Rightarrow	-	[54]

Fortsættes ...

Dosering	Ratio ¹ n-6:n-3	Tildelingstidspunkt ²	Effekter		Reference
			Pattegrise- tilvækst	Pattegrise- dødelighed	
Hampeolie					
25 g/kg	5,7:1 (9,5:1)	D108 → FRAV	⇔	⇔	[40]
50 g/kg	4,3:1 (9,5:1)	D108 → FRAV	⇔	⇔	[40]
13,9 g/kg ⁹	6,9:1 (10,5:1)	FAR → FRAV	↗	-	[98]
Echiumolie					
24,2 g/kg ⁴	3,2:1 (8,3:1)	D107 → FRAV	↗	⇔	[64]
Fiskeolie					
28 g/kg	1,9:1 (10,1:1)	D85 → FRAV	⇔	⇔	[63]
10g/kg	-	LØB → FRAV	⇔	↓	[84]
2,5 g/kg	-	D101 → FRAV	⇔	-	[101]
5,0 g/kg	-	D101 → FRAV	⇔	-	[101]
10 g/kg	-	D101 → FRAV	⇔	-	[101]
10 g/kg	-	D101 → FRAV	⇔	-	[101]
18 g/kg	6,4:1 (9,4:1)	D105 → FRAV	⇔	↘	[74]
60 g/kg	3,9:1 (8,7:1)	D105 → FRAV	⇔	↘	[74]
40 g/kg ¹⁰	-	LØB → FRAV	⇔	⇔	[85]
40 g/kg ¹¹	-	LØB → FRAV	↓	⇔	[85]
68 g/kg	-	D85 → FRAV	⇔	⇔	[50]
39 g/kg	3,7:1 (14,1:1)	D90 → FRAV	↑	↓	[67]
6,6 g/kg	7:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇔	⇔	[83]
13,0 g/kg	5:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇔	⇔	[83]
31,2 g/kg	1:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇔	⇔	[83]
6,6 g/kg ⁸	7:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇔	⇔	[83]
13,0 g/kg ⁸	5:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇔	⇔	[83]
31,2 g/kg ⁸	1:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇔	⇔	[83]
39 g/kg	5:1 (7:1)	D80 → FRAV	⇔	⇔	[83]
39 g/kg ⁸	5:1 (7:1)	D80 → FRAV	↓	↑	[83]
24,2 g/kg ⁴	3,6:1 (8,6:1)	D107 → FRAV	↓	⇔	[64]
70 g/kg	1,2: 1 (14,8:1)	D106 → FRAV	↑	⇔	[86]
84 g/dag		D60 → LØB	⇔	↑	[87]
3 g/kg	9,5:1 (15,1:1)	D108 → FRAV	⇔	⇔	[88]
100 g/dag	-	D109 → FRAV	⇔	⇔	[90]
2 g/kg ¹⁰	-	D60 → FRAV	↑	⇔	[91]
2 g/kg ¹²	-	D60 → FRAV	↗	⇔	[91]
20 g/kg	2,1:1 (10,1:1)	D112 → FRAV	⇔	⇔	[92]
20 g/kg	2,1:1 (10,1:1)	D107 → FRAV	⇔	⇔	[92]
80 g/kg	1,2:1 (12,2:1)	D108 → FRAV	⇔	⇔	[78]
39 g/kg	5:1 (8:1)	D80 → FRAV	⇔	⇔	[83]
80 g/kg	0,2:1 (8,75:1)	D108 → FRAV	↓ ¹³	⇔	[99]
17,5 g/kg	1,2:1 (13,7:1)	D63 → D91	⇔	⇔	[69]
17,5 g/kg	1,2:1 (13,7:1)	D92 → FAR	⇔	⇔	[69]
1,65 g/kg	3,7:1 (6,8:1)	LØB → FRAV	⇔	↓	[55]

Fortsættes ...

Dosering	Ratio ¹ n-6:n-3	Tildelingstidspunkt ²	Effekter		Reference
			Pattegrise- tilvækst	Pattegrise- dødelighed	
5/10/20 g/kg	6,8:1/4,9:1/ 3,6:1 (10,2:1)	D60 → FAR	-	⇒	[93]
35 g/kg	-	D107 → FRAV	⇒	-	[66]
70 g/kg	-	D107 → FRAV	⇒	-	[66]
Algeekstrakt					
3,5 g/dag	-	D85 → LØB	⇒	⇒	[51]
7,0 g/dag	-	D85 → LØB	⇒	⇒	[51]
14 g/dag	-	D85 → LØB	⇒	⇒	[51]
28 g/dag	-	D85 → LØB	⇒	↑	[51]
5 g/kg ⁸	-	FRAV → FRAV	⇒	-	[80]
0,3 g/kg	-	D87 → FRAV	⇒	⇒	[94]
3 g/kg	-	D87 → FRAV	↓	⇒	[94]
84 g/dag	-	D60 → FRAV	⇒	↑	[87]
10 g/dag	-	D109 → FRAV	⇒	⇒	[89,90]

¹ Rationen n-6:n-3 er enten oplyst i referencen eller beregnet ud fra fedtsyreanalyser af foderblandingerne, der indgik i forsøgene. Værdierne i parentes angiver kontrolgruppens ratio mellem n-6 og n-3.

² Forklaring: D=dag i drægtighed; FAR = faring; DIE = diegivningsperiode; FRAV = fravæning; LØB = løbning.

³ Det samlede indhold af hørfrøolie er beregnet ud fra det oplyste indhold af olie (13,3 %) i hørfrømel [97] og et antaget indhold på 27,7 % olie i hørfrø [98].

⁴ Fra dag 73 i drægtigheden og indtil syv dage før faring fik søerne 36,8 g af samme fedtkilde pr. kg.

⁵ Tendens (P<0,10) til højere daglige kuldtilvækst dag 0-14, men forskellen er ikke statistisk sikker ved fravæning dag 28.

⁶ Tendens (P<0,10) til højere kuld størrelse (= lavere pattegrisedødelighed) dag 14+21, men forskellen var ikke signifikant forskellig ved fravæning dag 28.

⁷ Der blev anvendt 15 g pr. kg til drægtige søer og 55 g pr. kg til diegivende søer.

⁸ Resultaterne omfatter det efterfølgende kuld.

⁹ Koncentrationen af hamepolie er beregnet ud fra et olieindhold på 2,7 % i de anvendte hampfrø [98].

¹⁰ Omfatter kun gyltekuld.

¹¹ Omfatter kun andetkuldssøer.

¹² Omfatter kun søer ældre end andet kuld.

¹³ Effekten af 8 % fiskeolie er sammenlignet med tilsvarende mængde svinefedt.

Mange af de gennemførte forsøg omfatter interessante men kun numeriske forskelle, der taler for øget brug af n-3 i søernes foder. Det er en generel svaghed ved mange af forsøgene, at de er lavet med henblik på at undersøge fysiologiske parametre, hvorfor opgørelsen af produktivitet er sekundær. Det betyder, at der ofte er relativt få søer pr. behandling, hvilket gør det sværere at påvise forskelle mellem behandlingerne. Tabel 3 giver derfor også et ganske broget billede af effekterne af at tilsætte forskellige former for n-3-holdige fedtkilder til diegivningsfoderet. Desuden er der i ingen af de gennemførte forsøg tale om, at søerne har passet høje kuld størrelser, som i dag er kendetegnende for den danske svineproduktion. Med en lavere fødselsvægt og flere grise ved yveret er der yderligere behov for at få kvantificeret effekterne af en potentiel bedre n-3 forsyning af den diegivende so.

Delkonklusion vedrørende n-3 fedtsyrer og diegivningsperioden

Samlet set konkluderes det, at foderets fedtsyresammensætning afspejles direkte i kolostrum og mælk, og at det ad den vej er muligt at påvirke udviklingen af blandt andet den tidlige udvikling af pattegrisenes hjerner. Generelt kan det ikke konkluderes, at pattegrisenes tilvækst øges ved brug af n-3 kilder, og generelt er høje koncentrationer af rene n-3 fedtkilder i form af fiskeolie ikke det optimale for mælkeproduktionen. En del forsøg indikerer, at en stor del af den positive effekt, der ventes ved at

anvende n-3 fedtsyrer til diegivende søer, sker som en afledt effekt på det efterfølgende kuld, idet follikelvækst og -kvalitet ser ud til at blive påvirket i positiv retning. Flere forsøg peger på, at pattegriseoverlevelsen kan forbedres, men samlet set giver litteraturen ikke et klart billede af, hvilken n-3 kilde, -koncentration eller hvilket forhold mellem n-6:n-3 der er det optimale at anvende i diegivningsperioden.

Vigtigheden af n-3 i forbindelse med sundhed

Definitionen af sundhed er bred, men set i forbindelse med n-3 fedtsyrer er det primært anti-inflammatoriske og generelle immunologiske egenskaber, herunder effekterne på immunoglobuliner, der overføres til grisene via soens kolostrum og mælk, der er interessante. Fedtsyrerne spiller imidlertid en stor rolle i forbindelse med oxidativt stress, da polyumættede fedtsyrer (PUFA) generelt øger risikoen for oxidationstabiliteten [112].

Generel betydning af n-6:n-3 forholdet på soens sundhed

Generelt spiller n-3 fedtsyrer en stor rolle for immunsystemet, da EPA er precursorer for eicosanoider, blandt andet prostaglandiner og leukotriener [21], som beskrevet ovenfor, men også den direkte effekt på immuncellernes differentiering og specialisering samt antibakterielle effekter. Da eicosanoider udviklet fra n-6 fedtsyrer (ARA) som tidligere nævnt er pro-inflammatoriske, kan indtagelse af n-3 fedtsyrer, der inkorporeres i cellemembranerne på bekostning af n-6 fedtsyrer, være med til at hæmme syntesen af n-6 afledte eicosanoider og i stedet resultere i en større andel af anti-inflammatoriske eicosanoider [21,30,31]. Således viste Lauridsen et al. (2007), at fodring af søer med fiskeolie sammenlignet med solsikkeolie gav anledning til reduceret PGE2-respons fra pattegrisenes mukosale immunceller efter *E. coli* lipopolysaccharid (LPS) stimulering [106]. Eicosanoider, der er syntetiseret fra EPA, er desuden mindre potente end eicosanoider fra ARA [24], og de bliver derfor associeret med et svagere immunrespons [113] men også antiinflammations respons. En konkret anbefaling til ratio af n-6:3 er dog ikke kendt. En høj ratio vil imidlertid være hæmmende for produktionen af anti-inflammatoriske eicosanoider [40]. En anden fysiologisk virkemekanisme, der kan reducere graden af inflammation, er, at n-3 fedtsyrer omdannes til PPAR- α , der spiller en essentiel rolle i undertrykkelsen af proinflammatoriske cytokiner [31]. Således viste Møller og Lauridsen (2006), at immunceller fra fravænnede grise, der fik tildelt fiskeolie sammenlignet med solsikkeolie, havde reduceret syntese af proinflammatoriske cytokiner efter *E. coli* LPS stimulering [114]. Forsøg med ungsvin fodret med 100 g hørfrø pr. kg foder viste en lavere genekspression af TNF- α (et proinflammatorisk cytokin) i muskel- og fedtvæv og milt, en lavere serumkoncentration samt en negativ korrelation med PPAR- γ expressionen i muskler [115]. Tilsvarende resultater er fundet hos søer [116]. Ligeså er niveauet af cytokiner blevet undersøgt, og Desaldeleer et al. (2014) fandt ved fodring med 52,5 g hørfrøolie pr. kg foder et generelt fald i det pro-inflammatoriske respons og et højere IL-10 niveau (antiinflammatorisk cytokin) i tarmvæv fra mesenteriske lymfeknuder efter ex vivo LPS stimulering [117]. Gener for de proinflammatoriske cytokiner IL-1 og IL-6 var også lavere udtrykt i kolonvæv fra grise fra søer, der havde fået 100 g fiskeolie pr. dag, mens tildeling af et algeekstrakt i samme soforsøg øgede TNF- α -genexpressionen i grisenes tyndtarme [90]. Den nuværende viden viser, at n-6 og n-3 fedtsyrer spiller en aktiv rolle for grisenes immunrespons, og at n-3 fedtsyre-tildeling i form af marine fedtsyrer til sofoder på bekostning af n-6 fedtsyrer kan påvirke regulering og forskellige udtryk af immunitet, der overordnet peger i retning af et anti-inflammationsrespons.

Betydning af n-3 i forbindelse med oxidativt stress

Oxidativt stress kædes sammen med flere sygdomme hos grise [112], herunder tarminfektionssygdomme [118]. Begrebet *oxidativt stress* dækker over de reducerende processer, der sker, når ilt, der omsættes i kroppens celler, når høje ukontrollerede niveauer. Ved omsætningen af ilt produceres frie radikaler og reaktive oxygenarter, hvilket er en helt normal fysiologisk reaktion, som øges, hvis kroppen skal bekæmpe infektioner og under inflammation hos nyfravænnede grise. Således øges udskillelsen af frie radikaler og reaktive oxygenarter under sygdom. Dette kan være

skadeligt for kroppens celler, navnlig hvis celler og væv mangler antioxidativ beskyttelse, og der kan ske uoprettelige skader på cellerne og immunsystemet [112]. Meget tyder på, at graden af oxidativt stress øges i sen drægtighed og lige omkring faring, hvilket kædes sammen med, at koncentrationerne af antioxidanter, herunder E-vitamin og glutathion peroxidase, i soens plasma aftager fra sen drægtighed til faring [64]. Generelt har avl for højtydende søer og hurtig vækst ligeledes medført øget oxidativt stress [118].

Der forskes intenst i at kortlægge, hvordan de negative effekter af oxidativt stress undgås, og risikoen for oxidativt stress øges ved tildeling af PUFA. Således anbefales det at tilsætte en højere koncentration af antioxidanter til foderet, hvis andelen af umættede fedtsyrer øges, idet disse fedtsyrer indlejres i kroppens celler og væv. Det er velkendt, at tildeling af E-vitamin til foderet øger koncentrationen af α -tokoferol i cellerne og beskytter de indlejrede fedtsyrer mod oxidativt stress [119]. Denne vekselvirkning betyder, at en øget andel af n-3 PUFA potentielt kan forøge behovet for E-vitamin hos grise [112,120]. F.eks. fandt Lauridsen et al. (2013) [106], at tilsætning af fiskeolie til foderet sammenlignet med solsikkeolie resulterede i lavere plasma α -tokoferol-koncentration.

... Således anbefales det at tilsætte en højere koncentration af antioxidanter til foderet, hvis andelen af umættede fedtsyrer øges ...

Et forsøg udført af Palade et al. (2019) viste, at den oxidative status hos soen, primært i form af højere aktivitet af superoxid dismutase og glutathion peroxidase og en tendens til lavere aktivitet af reaktive oxygenarter, blev forbedret ved at give 5 % hampefrøskrå til søer i diegivningsperioden. Dette bidrog med henholdsvis 8,8 g ALA pr. kg og 26,9 g LA pr. kg. Diegivningsfoderets samlede n-6:n-3 forhold blev reduceret 10,5 til 6,9. Hampefrøskrå øgede desuden mælkenes indhold af ALA, men en del af forklaringen kan være, at alle drægtige søer i forsøget fik 2 % hampefrøskrå i foderet. Tilsvarende resultater er fundet ved brug af fiskeolie, idet Shen et al. (2015) ved brug af 2 % fiskeolie fra dag 84 i drægtigheden frem til dag 110 og derefter 4,8 % fiskeolie fandt, at den antioxidative kapacitet blev forøget både i form af superoxid dismutase og glutathion peroxidase. Brugen af fiskeolie medførte desuden, at både kolostrum og somælk (dag 21) indeholdt mere ALA, EPA og DHA end kolostrum og somælk fra søer i kontrolgruppen uden tilsat fedt i foderet [121]. I forsøget blev der dog samtidigt fundet tegn på øget oxidativt stress (målt ved øget malondialdehyd koncentrationen i soens plasma, kolostrum og mælk) ved tilsætning af fiskeolie frem for olivenolie. En forklaring kunne være, at der ikke blev tilsat ekstra antioxidant i foderet i forbindelse med tildelingen af fiskeolie [121], idet Lauridsen (2010) netop fandt en synergistisk effekt af at kombinere n-3 fedtsyrer og E-vitamin [120]. Cools et al. (2009) fandt også, at den oxidative stabilitet i cellerne reduceres over få dage efter tilsætning af 1-4 % fiskeolie. Erytrocytternes stabilitet reduceres på grund af den ændrede fedtsyresammensætning i cellemembranen [105]. Vodolazska og Lauridsen 2020 påpeger, at E-vitamin som biologisk antioxidant spiller en væsentlig rolle i forhold til oxidativ beskyttelse af cellernes fedtsyrer [40], men at andre antioxidanter også kan spille en væsentlig rolle under absorption og omsætning af fedtsyrerne i tarmen.

Samlet set, er der argumenter for, at en øget andel af flerumættede langkædede n-3 fedtsyrer øger risikoen for oxidativt stress, og i denne henseende kan det nævnes, at graden af oxidationspresset øges med en faktor 1:2400 fra C18:0 \Rightarrow C18:1 \Rightarrow C18:2 \Rightarrow C18:3. Altså, at ekstra dobbeltbindinger i molekylet øger oxidationsrisikoen betragteligt. Dette skal modvirkes ved at sikre, at foderet indeholder tilstrækkeligt med antioxidanter, der navnlig skal beskytte E-vitaminet i tarmkanalen under fordøjelse og absorption for at sikre en optimal forsyning af ved samtidig n-3-tilførsel.

Forsyningen med n-3 fedtsyrer og kvalitet af kolostrum og mælk

Grise er født med et umodent immunsystem, hvorfor det er særdeles vigtigt, at grisen får tilført immunoglobuliner fra soen via kolostrum og mælk. Der er stor interesse i at undersøge, om den immunologiske kvalitet af kolostrum og mælk kan øges via fodring af soen. Tildeling af forskellige

kilder til n-3, bl.a. hørfrøolie, fiskeolie og olie fra hajlever, har i flere forsøg vist sig at kunne øge koncentrationen af IgG [50,65,67,100]. Chen et al. (2017) viste, at 3,5 % hørfrøolie tildelt de sidste syv dage før faring og i diegivningsperioden formåede at øge koncentrationen af både IgG og IgA i kolostrum, og at disse også blev forøget numerisk i den efterfølgende mælk [81]. Tabel 4 viser resultater fra forsøg med forskellige fedtkilder, hvor der er målt på mælkens indhold af immunoglobuliner.

Tabel 4. Opnåede effekter på kolostrum og somælks indhold af immunoglobuliner ved brug af forskellige fedtkilder med varierende forsyning af n-3 fedtsyrer. I tabellen er effekterne vist ved brug af pile med følgende forklaring: Ingen statistisk sikker effekt (\Rightarrow); statistisk sikker forøgelse ($\hat{\uparrow}$, $P < 0,05$); statistisk sikker reduktion ($\hat{\downarrow}$, $P < 0,05$); trend i opadgående retning ($\hat{\nearrow}$, $P < 0,10$); trend i nedadgående retning ($\hat{\searrow}$, $P < 0,10$).

Dosering	Ratio ¹ n-6:n-3	Tildelingstidspunkt ²	Effekt på kolostrum			Effekt på somælk			Reference
			IgA	IgG	IgM	IgA	IgG	IgM	
Hørfrøolie									
35 g/kg		D108 → FRAV	$\hat{\uparrow}$	$\hat{\uparrow}$	-	$\hat{\uparrow}$	$\hat{\uparrow}$	-	[81]
2,4 g/kg ³	7:1 (7:1)	D80 → FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	-	-	-	-	[83]
13,8 g/kg ³	5:1 (7:1)	D80 → FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	-	-	-	-	[83]
25,6 g/kg ³	1:1 (7:1)	D80 → FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	-	-	-	-	[83]
14 g/kg	9:1 (13:1)	D108 → FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	$\hat{\searrow}$	[65]
32 g/kg	3:1 (13:1)	D108 → FRAV	\Rightarrow	$\hat{\downarrow}$	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	$\hat{\searrow}$	[65]
Hampeolie									
25 g/kg	5,7:1 (9,5:1)	D108 → FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	[40]
50 g/kg	4,3:1 (9,5:1)	D108 → FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	[40]
Fiskeolie									
68 g/kg	-	D85 → FRAV	$\hat{\uparrow}$	$\hat{\uparrow}$	$\hat{\uparrow}$	\Rightarrow	$\hat{\uparrow}$	\Rightarrow	[50]
39 g/kg ⁴	3,7:1 (14,1:1)	D90 → FRAV	-	$\hat{\uparrow}$	$\hat{\uparrow}$	-	$\hat{\uparrow}$	$\hat{\uparrow}$	[67]
100 g/dag	-	D109 → FRAV	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	[89]
32 g/dag ⁵	(5,9:1 (10,7:1)	D80 → FRAV	\Rightarrow	$\hat{\uparrow}$	-	\Rightarrow	$\hat{\uparrow}$	-	[100]
Algeekstrakt									
10 g/kg	-	D109 → FAR	\Rightarrow	$\hat{\uparrow}$	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	\Rightarrow	[89]

¹ Rationen n-6:n-3 er enten oplyst i referencen eller beregnet ud fra fedtsyreanalyser af foderblandingerne, der indgik i forsøgene.

² Forklaring: D=dag i drægtighed; FAR = faring; DIE = diegivningsperiode; FRAV = fravæning; LØB = løbning.

³ Det samlede indhold af hørfrøolie er beregnet ud fra det oplyste indhold af olie (13,3 %) i hørfrømel [97] og et antaget indhold på 27,7 % olie [98] i hampefrø.

⁴ I drægtighedsfoderet fra D90-D107 indgik fiskeolien med 30 g pr. kg; n-6:n-3 = 4,2:1 [67].

⁵ Som marin fedtkilde blev hajleverolie anvendt, og bidrager ud over n-3 fedtsyrer med alkyglyceroler [100].

På basis af resultaterne vurderes det, at der er brug for mere opklarende forskning på området, da eksempelvis Eastwood et al. 2014 ikke kunne finde nogen forskel i niveauet af IgA og IgG i kolostrum og mælk, når søerne blev suppleret med fiskeolie [83].

Delkonklusion vedrørende n-3 fedtsyrer og sundhed

En øget andel af n-3 fedtsyrer i sofoderet kan overføres til kroppens celler og væv hos både søer og afkom og kan bidrage med anti-inflammatoriske virkninger. Dog øges risikoen for oxidativt stress, hvorfor det er vigtigt at sikre et tilstrækkeligt niveau af antioxidanter i foderet. Oxidativt stress er skadeligt og graden af denne stiger i sen drægtighed og hos nyfravænnede grise, navnlig under infektionssygdomme. Der er således flere kritiske perioder, som kræver et særligt fokus i forhold til antioxidativ beskyttelse. Kombinationen af n-3 fedtsyrer og E-vitamin ser ud til at kunne være særdeles gavnlig for soen, men også andre antioxidanter påkalder interesse.

Flere forsøg viser, uafhængigt af n-3 kilde og n-3 koncentration, at indholdet af immunoglobuliner i kolostrum og i flere tilfælde også somælk kan forøges. Dette aspekt er særligt interessant, når der med stigende kuld størrelse er et stort behov for, at hver gris får tilstrækkeligt med immunoglobuliner og energi. Der mangler imidlertid større forsøg, som sammenkobler den potentielt forbedrede kvalitet af kolostrum med pattegrisenes overlevelse, så denne effekt bedre kan kvantificeres.

Konklusion

Der findes ingen entydige fastlæggelser af behovet for de essentielle fedtsyrer linolsyre (LA) og α -linolensyre (ALA) eller det optimale forhold mellem disse til hverken drægtige eller diegivende søer. Litteraturstudiet og vurderingen af fedtsyreindholdet i typiske råvarer til sofoder viste, at forholdet mellem de essentielle fedtsyrer LA (n-6) og ALA (n-3) typisk har en stor overvægt af LA, som f.eks. i sojaolie. Derudover er det kun olietyper af marin oprindelse (fiskeolie og algeekstrakter) samt enkelte vegetabiliske fedtkilder med relevans for svinefoder, der bidrager med væsentlige mængder n-3 fedtsyrer.

Da søernes og fostrenes evner til at omdanne LA og ALA til ARA, EPA og DHA er begrænsede, er dette væsentlige argumenter for at tilsætte EPA og særligt DHA direkte i foderet. DHA er væsentlig for fosterudviklingen og kan allerede under ægmodningen og i det intrauterine miljø have en positiv indflydelse på efterfølgende drægtighed. Det vurderes derfor som væsentligt at anvende n-3 fedtsyrer i hele diegivningsperioden for at kunne opnå en effekt af disse på reproduktionen og sikre den optimale modning af follikler. Generelt vidner litteraturen også om varierende, og i flere tilfælde positive, effekter på fostrene, når søer tildeles n-3 kilder i sen drægtighed. Dette vil medvirke til både en bedre udvikling af fostrenes hjerne og sandsynligvis kognitive egenskaber samt en bedre råmælkskvalitet hos soen i form af et øget indhold af immunoglobuliner.

Anvendelse af langkædede n-3 fedtkilder i form af store mængder fiskeolie i diegivningsperioden viser ikke ubetinget positive effekter på kuldtilvæksten, hvorfor det vurderes at være mest interessant at anvende en kombination af de typisk anvendte fedtkilder til søer kombineret med en mindre iblanding af én eller flere fedtkilder, der er rige på n-3 fedtsyrer.

Når effekterne af n-3 fedtsyrer ses i forhold til sundhed, er det primært de anti-inflammatoriske egenskaber, der er interessante. Dog er det vigtigt, at foderets indhold af antioxidanter, f.eks. E-vitamin, tilpasses, da flere umættede n-3 fedtsyrer øger risikoen for oxidativt stress, som kan føre til uoprettelige skader på cellerne. Her vil en kombination af forøget indhold af n-3 kombineret med E-vitamin eller andre antioxidanter i foderet virke beskyttende.

På baggrund af litteraturstudiet er det ikke muligt at definere det optimale forhold mellem n-6 og n-3 til henholdsvis drægtige og diegivende søer, og heller ikke hvilken koncentration pr. kg foder eller pr. dag af LA, ALA, EPA eller DHA der skal anvendes for at sikre optimal reproduktion og sundhed. Der savnes grundlæggende dosis-responsforsøg, som skal afklare dette i forhold til søernes reproduktion og produktivitet samt sundhed hos søer og deres afkom. Der er dog uden tvivl et potentiale i at sikre afkommet en bedre n-3 forsyning via placentale overførsel af n-3 fedtsyrer. Eftersom råmælk og mælken indhold af immunoglobuliner samtidig kan påvirkes, anses tilsætning af n-3, særligt i form af EPA og DHA, som et vigtigt nyt indsatsområde i ernæringen af den højproduktive so.

Referencer

- [1] Rutherford, K.M.D.; Baxter, E.M.; D'Eath, R.B.; Turner, S.P.; Arnott, G.; Roehe, R.; Ask, B.; Sandøe, P.; Moustsen, V.A. et al. (2013): The welfare implications of large litter size in the domestic pig I: biological factors. *Animal Welfare*. 22:199-218.
- [2] Nielsen, B.; Su, G.; Lund, M.S.; Madsen, P. (2013): Selection for increased number of piglets at d 5 after farrowing has increased litter size and reduced piglet mortality. *Journal of Animal Science*. 91:2575-2582.
- [3] Hansen, C. (2020): Landsgennemsnit for produktivitet i produktionen af grise i 2019. Notat nr. 2014. SEGES Svineproduktion.
- [4] Thorup, F.; Nielsen, M.B.F. (2017): Tilvæksten falder når de små pattegrise bliver hos egen mor ved kuldudjævning. Meddelelse nr. 1099. SEGES Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [5] Thorup, F. (2013): Splitmalkning af nyfødte pattegrise. Meddelelse nr. 988. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [6] Thorup, F.; Lybye, M. (2012): Sammenligning af en tidlig og en almindelig mindste-ammeso. Meddelelse nr. 944. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [7] Thorup, F.; Nielsen, M.B.F. (2017): Håndtering af kolde pattegrise med lavt blodsukker. Meddelelse nr. 1120. SEGES Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [8] Thorup, F.; Diness, L.H.; Nielsen, M.B.F. (2016): Ekstra energi ved kuldudjævning forbedrer ikke overlevelsen hos de mindste pattegrise. Meddelelse nr. 1064. SEGES Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [9] Sørensen, T.; Thorup, F.; Nielsen, M.B.F.; Hansen, C.F. (2016): Håndtering af kolde pattegrise efter fødsel. Meddelelse nr. 1087. SEGES Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [10] Sørensen, G. (2012): Ekstra foder til drægtige søer i fire uger før faring. Meddelelse nr. 956. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [11] Sørensen, G.; Krogsdahl, J. (2018): Ekstra foder, fibre og protein øgede ikke fødselsvægten eller pattegriseoverlevelsen. Meddelelse nr. 1158. SEGES Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [12] Greiner, L.; Graham, A.; Touchette, K.J.; Neill, C.R. (2016): The evaluation of increasing lysine or feed amounts in late gestation on piglet birth weights. *Journal of Animal Science*. 94:123-124.
- [13] Feyera, T.; Højgaard, C.K.; Vinther, J.; Bruun, T.S.; Theil, P.K. (2017): Dietary supplement rich in fiber fed to late gestating sows during transition reduces rate of stillborn piglets. *Journal of Animal Science*. 95:5430-5438.
- [14] Bruun, T.S.; Højgaard, C.K.; Krogh, U.; Theil, P.K.; Vinther, J. (2015): Fodertilskud i sen drægtighed reducerede dødfødte grise i en besætning. Meddelelse nr. 1041. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

- [15] Krogh, U.; Bruun, T.S.; Poulsen, J.; Theil, P.K. (2016): Impact of fat source and dietary fibers on feed intake, plasma metabolites, litter gain and the yield and composition of milk in sows. *Animal*. 11:975-983.
- [16] Krogh, U.; Bruun, T.S.; Amdi, C.; Flummer, C.; Poulsen, J.; Theil, P.K. (2015): Colostrum production in sows fed different sources of fiber and fat during late gestation. *Canadian Journal of Animal Science*. 95:211-223.
- [17] Theil, P.K.; Cordero, G.; Henckel, P.; Puggaard, L.; Oksbjerg, N.; Sørensen, M.T. (2011): Effects of gestation and transition diets, piglet birth weight, and fasting time on depletion of glycogen pools in liver and 3 muscles of newborn piglets. *Journal of Animal Science*. 89:1805-1816.
- [18] Hansen, A.V.; Lauridsen, C.; Sørensen, M.T.; Bach Knudsen, K.E.; Theil, P.K. (2012): Effects of nutrient supply, plasma metabolites, and nutritional status of sows during transition on performance in the next lactation. *Journal of Animal Science*. 90:466-480.
- [19] Krogh, U.; Flummer, C.; Jensen, S.K.; Theil, P.K. (2012): Colostrum and milk production of sows is affected by dietary conjugated linoleic acid. *Journal of Animal Science*. 90:366-368.
- [20] Bruun, T.S.; Krogsdahl, J. (2019): Ingen effekt af fedtindhold i diegivningsfoder på kuldtilvækst og soens mobilisering. Meddelelse nr. 1173. SEGES Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- [21] Kim, S.W.; Mateo, R.D.; Yin, Y.-L.; Wu, G. (2006): Functional Amino Acids and Fatty Acids for Enhancing Production Performance of Sows and Piglets. *Asian Australasian Journal of Animal Science*. 20:295-306.
- [22] Roszkos, R.; Tóth, T.; Mézes, M. (2020): Review: Practical Use of n-3 Fatty Acids to Improve Reproduction Parameters in the Context of Modern Sow Nutrition. *Animals*. 10:1141.
- [23] Tanghe, S.; De Smet, S. (2013): Does sow reproduction and piglet performance benefit from the addition of n-3 polyunsaturated fatty acids to the maternal diet? *The Veterinary Journal*. 197:560-569.
- [24] Wathes, D.C.; Abayasekara, D.R.; Aitken, R.J. (2007): Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. *Biology of Reproduction*. 77:190-201.
- [25] Innis, S.M. (2003): Perinatal biochemistry and physiology of long-chain polyunsaturated fatty acids. *The Journal of Pediatrics*. 143:1-8.
- [26] Bruice, P.Y. (2014): The organic chemistry of lipids. I: (ed. Bruice, P.Y.): *Essential Organic Chemistry*. (Pearson Education Limited, Edinburgh, pp. 550-568.
- [27] Innis, S.M. (2005): Essential fatty acid transfer and fetal development. *Placenta*. 26:S70-S75.
- [28] Innis, S.M. (2005): Essential fatty acid metabolism during early development. I: (ed. Burrin, D.G. & Mersmann, H.J.): *Biology of Growing Animals Volume*. 3. Volume, Elsevier, kapitel 10, pp. 235-274.
- [29] NRC (2012): Nutrient Requirements of Swine. 11. Udgave. Subcommittee on Swine Nutrition, Committee on Animal Nutrition, and National Research Council. National Research Council.
- [30] Bontempo, V.; Jiang, X.R. (2014): Feeding various fat sources to sows: effects on immune status and performance of sows and piglets. I: (ed Farmer, C.): *The gestating and lactating sow*. Wageningen Academic Publishers, kapitel 16, pp. 357-375.
- [31] Rossi, R.; Pastorelli, G.; Cannata, S.; Corino, C. (2010): Recent advances in the use of fatty acids as supplements in pig diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 162:1-11.
- [32] Kim, S.W.; Mateo, R.D.; Yin, Y.L.; Wu, G. (2006): Functional Amino Acids and Fatty Acids for Enhancing Production Performance of Sows and Piglets. *Asian Australasian Journal of Animal Science*. 20:295-306.

- [33] Rosero, D.S.; Boyd, R.D.; McCulley, M.; Odle, J.; van Heugten, E. (2016): Essential fatty acid supplementation during lactation is required to maximize the subsequent reproductive performance of the modern sow. *Animal Reproduction Science*. 168:151-163.
- [34] Mantzioris, E.; James, M.J.; Gibson, R.A.; Cleland, L.G. (1995): Differences exist in the relationships between dietary linoleic and alpha-linolenic acids and their respective long-chain metabolites. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 61:320-324.
- [35] Ryan, E.; Galvin, K.; O'Connor, T.P.; Maguire, A.R.; O'Brien, N.M. (2007): Phytosterol, Squalene, Tocopherol Content and Fatty Acid Profile of Selected Seeds, Grains, and Legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*. 62:85-91.
- [36] Stuper-Szablewska, K.; Buško, M.; Góral, T.; Perkowski, J. (2014): The fatty acid profile in different wheat cultivars depending on the level of contamination with microscopic fungi. *Food Chemistry*. 153:216-223.
- [37] Kouřimská, L.; Sabolová, M.; Horčíčka, P.; Rys, S.; Božik, M. (2018): Lipid content, fatty acid profile, and nutritional value of new oat cultivars. *Journal of Cereal Science*. 84:44-48.
- [38] Christensen, T.B. (2005): Digestion and utilization of dietary fat in weaned piglets and growing pigs. Master thesis., Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole.
- [39] Sprague, M.; Dick, J.R.; Tocher, D.R. (2016): Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–2015. *Scientific Reports*. 6:21892.
- [40] Vodolazska, D.; Lauridsen, C. (2020): Effects of dietary hemp seed oil to sows on fatty acid profiles, nutritional and immune status of piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 11:28
- [41] Kitessa, S.M.; Young, P. (2011): Enriching milk fat with n-3 polyunsaturated fatty acids by supplementing grazing dairy cows with ruminally protected Echium oil. *Animal Feed Science and Technology*. 170:35-44.
- [42] Shireman, R. (2003): Essential fatty acids. I: (ed. Caballero, B.): *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, 2. Udgave, pp. 2169-2176.
- [43] Šimat, V.; Vlahović, J.; Soldo, B.; Skroza, D.; Ljubenkov, I.; Generalić Mekinić, I. (2019): Production and Refinement of Omega-3 Rich Oils from Processing By-Products of Farmed Fish Species. *Foods*. 8:125.
- [44] Gokuldas, P.P.; Singh, S.K.; Tamuli, M.K.; Naskar, S.; Vashi, Y.; Thomas, R.; Barman, K.; Pegu, S.R.; Chethan, S.G. et al. (2018): Dietary supplementation of n-3 polyunsaturated fatty acid alters endometrial expression of genes involved in prostaglandin biosynthetic pathway in breeding sows (*Sus scrofa*). *Theriogenology*. 110:201-208.
- [45] Roberts, R.M. (2007): Interferon-tau, a Type 1 interferon involved in maternal recognition of pregnancy. *Cytokine & Growth Factor Reviews*. 18:403-408.
- [46] Farmer, C.; Giguere, A.; Lessard, M. (2010): Dietary supplementation with different forms of flax in late gestation and lactation: Effects on sow and litter performances, endocrinology, and immune response. *Journal of Animal Science*. 88:225-237.
- [47] Soede, N.M.; Langendijk, P.; Kemp, B. (2011): Reproductive cycles in pigs. *Animal Reproduction Science*. 124:251-258.
- [48] Zak, L.J.; Cosgrove, J.R.; Aherne, F.X.; Foxcroft, G.R. (1997): Pattern of feed intake and associated metabolic and endocrine changes differentially affect postweaning fertility in primiparous lactating sows. *Journal of Animal Science*. 75:208-216.
- [49] Bahnsen, I.; Riddersholm, K.V. (2020): Risk factors for low piglet birth weight, high within-litter variation of piglet birth weight and occurrence of intrauterine growth restricted piglets Master thesis. Københavns Universitet.
- [50] Chen, J.; Xu, Q.; Li, Y.; Tang, Z.; Sun, W.; Zhang, X.; Sun, J.; Sun, Z. (2019): Comparative effects of dietary supplementations with sodium butyrate, medium-chain fatty acids, and n-3 polyunsaturated fatty acids in late pregnancy and lactation on the reproductive performance of sows and growth performance of suckling piglets. *Journal of Animal Science*. 97:4256-4267.

- [51] Posser, C.J.M.; Almeida, L.M.; Moreira, F.; Bianchi, I.; Gasperin, B.G.; Lucia, T. (2018): Supplementation of diets with omega-3 fatty acids from microalgae: Effects on sow reproductive performance and metabolic parameters. *Livestock Science*. 207:59-62.
- [52] Thorup, F.; Bruun, T.S.; Vinther, J. (2014): Referenceværdier for reproduktionen hos søer der farede i 2012. Notat nr. 1404. Videncenter for Svineproduktion.
- [53] Olsen, S.F.; Sørensen, J.D.; Secher, N.J.; Hedegaard, M.; Henriksen, T.B.; Hansen, H.S.; Grant, A. (1992): Randomised controlled trial of effect of fish-oil supplementation on pregnancy duration. *The Lancet*. 339:1003-1007.
- [54] Boudry, G.I.; Douard, V.r.; Mouroto, J.; Lallès, J.-P.; Le Huërou-Luron, I. (2009): Linseed Oil in the Maternal Diet during Gestation and Lactation Modifies Fatty Acid Composition, Mucosal Architecture, and Mast Cell Regulation of the Ileal Barrier in Piglets. *The Journal of Nutrition*. 139:1110-1117.
- [55] Rooke, J.A.; Sinclair, A.G.; Edwards, S.A.; Cordoba, R.; Pkiyach, S.; Penny, P.C.; Penny, P.; Finch, A.M.; Horgan, G.W. (2001): The effect of feeding salmon oil to sows throughout pregnancy on pre-weaning mortality of piglets. *Animal Science*. 73:489-500.
- [56] Corson, A.M.; Laws, J.; Litten, J.C.; Dodds, P.F.; Lean, I.J.; Clarke, L. (2008): Effect of dietary supplementation of different oils during the first or second half of pregnancy on the glucose tolerance of the sow. *Animal*. 2:1045-1054.
- [57] Papadopoulou, G.A.; Erkens, T.; Maes, D.G.D.; Peelman, L.J.; van Kempen, T.A.T.G.; Buyse, J.; Janssens, G.P.J. (2008): Periparturient feeding strategy with different n-6:n-3 ratios in sows: effect on gene expression in backfat white adipose tissue postpartum. *British Journal of Nutrition*. 101:197-205.
- [58] Lepretti, M.; Martucciello, S.; Burgos Aceves, M.A.; Putti, R.; Lionetti, L. (2018): Omega-3 Fatty Acids and Insulin Resistance: Focus on the Regulation of Mitochondria and Endoplasmic Reticulum Stress. *Nutrients*. 10.
- [59] Passingham, R.E. (1985): Rates of Brain Development in Mammals Including Man. *Brain, Behavior and Evolution*. 26:167-175.
- [60] Rooke, J.A.; Shanks, M.; Edwards, S.A. (2000): Effect of offering maize, linseed or tuna oils throughout pregnancy and lactation on sow and piglet tissue composition and piglet performance. *Animal Science*. 71:289-299.
- [61] Arbuckle, L.D.; Innis, S.M. (1993): Docosahexaenoic Acid Is Transferred through Maternal Diet to Milk and to Tissues of Natural Milk-Fed Piglets. *The Journal of Nutrition*. 123:1668-1675.
- [62] de Quelen, F.; Boudry, G.; Mouroto, J. (2010): Linseed oil in the maternal diet increases long chain-PUFA status of the foetus and the newborn during the suckling period in pigs. *British Journal of Nutrition*. 104:533-543.
- [63] Luo, W.; Xu, X.; Luo, Z.; Yao, J.; Zhang, J.; Xu, W.; Xu, J. (2020): Effect of fish oil supplementation in sow diet during late gestation and lactation period on litter characteristics, milk composition and fatty acid profile of sows and their offspring. *Italian Journal of Animal Science*. 19:8-17.
- [64] Tanghe, S.; Millet, S.; De Smet, S. (2013): Echium oil and linseed oil as alternatives for fish oil in the maternal diet: Blood fatty acid profiles and oxidative status of sows and piglets. *Journal of Animal Science*. 91:3253-3264.
- [65] Yao, W.; Li, J.; Wang, J.J.; Zhou, W.; Wang, Q.; Zhu, R.; Wang, F.; Thacker, P. (2012): Effects of dietary ratio of n-6 to n-3 polyunsaturated fatty acids on immunoglobulins, cytokines, fatty acid composition, and performance of lactating sows and suckling piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 3:43.
- [66] Fritsche, K.L.; Huang, S.-C.; Cassity, N.A. (1993): Enrichment of omega-3 fatty acids in suckling pigs by maternal dietary fish oil supplementation. *Journal of Animal Science*. 71:1841-1847.

- [67] Jin, C.; Fang, Z.; Lin, Y.; Che, L.; Wu, C.; Xu, S.; Feng, B.; Li, J.; Wu, D. (2017): Influence of dietary fat source on sow and litter performance, colostrum and milk fatty acid profile in late gestation and lactation. *Animal Science Journal*. 88:1768-1778.
- [68] Rooke, J.A.; Bland, I.M.; Edwards, S.A. (1998): Effect of feeding tuna oil or soyabean oil as supplements to sows in late pregnancy on piglet tissue composition and viability. *British Journal of Nutrition*. 80:273-280.
- [69] Rooke, J.A.; Sinclair, A.G.; Edwards, S.A. (2001): Feeding tuna oil to the sow at different times during pregnancy has different effects on piglet long-chain polyunsaturated fatty acid composition at birth and subsequent growth. *British Journal of Nutrition*. 86:21-30.
- [70] Brazle, A.E.; Johnson, B.J.; Webel, S.K.; Rathbun, T.J.; Davis, D.L. (2009): Omega-3 fatty acids in the gravid pig uterus as affected by maternal supplementation with omega-3 fatty acids. *Journal of Animal Science*. 87:994-1002.
- [71] Amusquivar, E.; Laws, J.; Clarke, L.; Herrera, E. (2010): Fatty Acid Composition of the Maternal Diet During the First or the Second Half of Gestation Influences the Fatty Acid Composition of Sows' Milk and Plasma, and Plasma of Their Piglets. *Lipids*. 45:409-418.
- [72] Fritsche, K.L.; Alexander, D.W.; Cassity, N.A.; Huang, S.-C. (1993): Maternally-supplied fish oil alters piglet immune cell fatty acid profile and eicosanoid production. *Lipids*. 28:677-682.
- [73] Bazinet, R.P.; McMillan, E.G.; Cunnane, S.C. (2003): Dietary α -linolenic acid increases the n-3 PUFA content of sow's milk and the tissues of the suckling piglet. *Lipids*. 38:1045.
- [74] Lavery, A.; Lawlor, P.G.; Miller, H.M.; Magowan, E. (2019): The Effect of Dietary Oil Type and Energy Intake in Lactating Sows on the Fatty Acid Profile of Colostrum and Milk, and Piglet Growth to Weaning. *Animals*. 9:1092.
- [75] Binter, C.; Khol-Parisini, A.; Gerner, W.; Schäfer, K.; Hulan, H.W.; Saalmüller, A.; Zentek, J. (2011): Effect of maternally supplied n-3 and n-6 oils on the fatty acid composition and mononuclear immune cell distribution of lymphatic tissue from the gastrointestinal tract of suckling piglets. *Archives of Animal Nutrition*. 65:341-353.
- [76] Farmer, C.; Petit, H.V. (2009): Effects of dietary supplementation with different forms of flax in late-gestation and lactation on fatty acid profiles in sows and their piglets. *Journal of Animal Science*. 87:2600-2613.
- [77] Gunnarsson, S.; Pickova, J.; Högberg, A.; Neil, M.; Wichman, A.; Wigren, I.; Uvnäs-Moberg, K.; Rydhmer, L. (2009): Influence of sow dietary fatty acid composition on the behaviour of the piglets. *Livestock Science*. 123:306-313.
- [78] Lauridsen, C.; Jensen, S.K. (2007): Lipid composition of lactational diets influences the fatty acid profile of the progeny before and after suckling. *Animal*. 1:952-962.
- [79] Rooke, J.A.; Bland, I.M.; Edwards, S.A. (1999): Relationships between fatty acid status of sow plasma and that of umbilical cord, plasma and tissues of newborn piglets when sows were fed on diets containing tuna oil or soyabean oil in late pregnancy. *British Journal of Nutrition*. 82:213-221.
- [80] Smit, M.N.; Spencer, J.D.; Patterson, J.L.; Dyck, M.K.; Dixon, W.T.; Foxcroft, G.R. (2015): Effects of dietary enrichment with a marine oil-based n-3 LCPUFA supplement in sows with predicted birth weight phenotypes on growth performance and carcass quality of offspring. *Animal*. 9:838-846.
- [81] Chen, X.L.; Wang, N.; Tian, M.L.; Wang, L.; Liu, T.; Zhang, X.W.; Shi, B.M.; Shan, A.S. (2017): Dietary linseed oil in the maternal diet affects immunoglobulins, tissue fatty acid composition and expression of lipid metabolism-related genes in piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 101:e257-e265.
- [82] Yin, J.; Lee, K.Y.; Kim, J.K.; Kim, I.H. (2017): Effects of different n-6 to n-3 polyunsaturated fatty acids ratio on reproductive performance, fecal microbiota and nutrient digestibility of gestation-lactating sows and suckling piglets. *Animal Science Journal*. 88:1744-1752.

- [83] Eastwood, L.; Leterme, P.; Beaulieu, A.D. (2014): Changing the omega-6 to omega-3 fatty acid ratio in sow diets alters serum, colostrum, and milk fatty acid profiles, but has minimal impact on reproductive performance. *Journal of Animal Science*. 92:5567-5582.
- [84] McDermott, K.; Icely, S.; Jagger, S.; Broom, L.J.; Charman, D.; Evans, C.M.; Miller, H.M. (2020): Supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids and effects on reproductive performance of sows. *Animal Feed Science and Technology*. 267:114529.
- [85] Petrone, R.C.; Williams, K.A.; Estienne, M.J. (2019): Effects of dietary menhaden oil on growth and reproduction in gilts farrowed by sows that consumed diets containing menhaden oil during gestation and lactation. *Animal*. 13:1944-1951.
- [86] Luo, J.; Huang, F.; Xiao, C.; Fang, Z.; Peng, J.; Jiang, S. (2013): Responses of Growth Performance and Proinflammatory Cytokines Expression to Fish Oil Supplementation in Lactation Sows' and/or Weaned Piglets' Diets. *BioMed Research International*. 2013:905918.
- [87] Smit, M.N.; Patterson, J.L.; Webel, S.K.; Spencer, J.D.; Cameron, A.C.; Dyck, M.K.; Dixon, W.T.; Foxcroft, G.R. (2012): Responses to n-3 fatty acid (LCPUFA) supplementation of gestating gilts, and lactating and weaned sows. *Animal*. 7:784-792.
- [88] Smits, R.J.; Luxford, B.G.; Mitchell, M.; Nottle, M.B. (2011): Sow litter size is increased in the subsequent parity when lactating sows are fed diets containing n-3 fatty acids from fish oil. *Journal of Animal Science*. 89:2731-2738.
- [89] Leonard, S.G.; Sweeney, T.; Bahar, B.; Lynch, B.P.; O'Doherty, J.V. (2010): Effect of maternal fish oil and seaweed extract supplementation on colostrum and milk composition, humoral immune response, and performance of suckled piglets. *Journal of Animal Science*. 88:2988-2997.
- [90] Leonard, S.G.; Sweeney, T.; Bahar, B.; Lynch, B.P.; O'Doherty, J.V. (2011): Effect of dietary seaweed extracts and fish oil supplementation in sows on performance, intestinal microflora, intestinal morphology, volatile fatty acid concentrations and immune status of weaned pigs. *British Journal of Nutrition*. 105:549-560.
- [91] Mateo, R.D.; Carroll, J.A.; Hyun, Y.; Smith, S.; Kim, S.W. (2009): Effect of dietary supplementation of n-3 fatty acids and elevated concentrations of dietary protein on the performance of sows. *Journal of Animal Science*. 87:948-959.
- [92] Papadopoulos, G.A.; Maes, D.G.D.; Van Weyenberg, S.; van Kempen, T.A.T.G.; Buyse, J.; Janssens, G.P.J. (2008): Periparturient feeding strategy with different n-6:n-3 ratios in sows: effects on sows' performance, inflammatory and periparturient metabolic parameters. *British Journal of Nutrition*. 101:348-357.
- [93] Rooke, J.A.; Sinclair, A.G.; Ewen, M. (2001): Changes in piglet tissue composition at birth in response to increasing maternal intake of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids are non-linear. *British Journal of Nutrition*. 86:461-470.
- [94] Adeleye, O.O.; Brett, M.; Blomfield, D.; Guy, J.H.; Edwards, S.A. (2014): The effect of algal biomass supplementation in maternal diets on piglet survival in two housing systems. *Livestock Science*. 162:193-200.
- [95] Webel, S.K.; Otto-Tice, E.R.; Moser, R.L.; Orr, D.E. (2004): Effect of feeding duration of protected n-3 polyunsaturated fatty acids (Fertilium (TM)) on litter size and embryo survival in sows. *Journal of Animal Science*. 82:81-81.
- [96] Spencer, J.D.; Wilson, L.; Webel, S.K.; Moser, R.L.; Webel, D.M. (2004): Effect of feeding protected n-3 polyunsaturated fatty acids (Fertilium (TM)) on litter size in gilts. *Journal of Animal Science*. 82:81-81.
- [97] Eastwood, L.; Kish, P.R.; Beaulieu, A.D.; Leterme, P. (2009): Nutritional value of flaxseed meal for swine and its effects on the fatty acid profile of the carcass. *Journal of Animal Science*. 87:3607-3619.
- [98] Habeanu, M.; Gheorghie, A.; Surdu, I.; Chedea, V.; Lefter, N.; Stoian, G.; PANAIT, A.-A.M.-D.; Beia, I (2018): n-3 pufa-enriched hemp seed diet modifies beneficially sow milk

- composition and piglets' performances. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 18:181-190.
- [99] Lauridsen, C.; Danielsen, V. (2004): Lactational dietary fat levels and sources influence milk composition and performance of sows and their progeny. *Livestock Production Science*. 91:95-105.
- [100] Mitre, R.; Etienne, M.; Martinais, S.; Salmon, H.; Allaupe, P.; Legrand, P.; Legrand, A.B. (2007): Humoral defence improvement and haematopoiesis stimulation in sows and offspring by oral supply of shark-liver oil to mothers during gestation and lactation. *British Journal of Nutrition*. 94:753-762.
- [101] McAfee, J.M.; Kattesh, H.G.; Lindemann, M.D.; Voy, B.H.; Kojima, C.J.; Burdick Sanchez, N.C.; Carroll, J.A.; Gillespie, B.E.; Saxton, A.M. (2019): Effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFA) supplementation to lactating sows on growth and indicators of stress in the postweaned pig. *Journal of Animal Science*. 97:4453-4463.
- [102] Quiniou, N.; Richard, S.; Mouro, J.; Etienne, M. (2008): Effect of dietary fat or starch supply during gestation and/or lactation on the performance of sows, piglets' survival and on the performance of progeny after weaning. *Animal*. 2:1633-1644.
- [103] Laws, J.; Amusquivar, E.; Laws, A.; Herrera, E.; Lean, I.J.; Dodds, P.F.; Clarke, L. (2009): Supplementation of sow diets with oil during gestation: Sow body condition, milk yield and milk composition. *Livestock Science*. 123:88-96.
- [104] de la Presa Owens, S.; Innis, S.M. (1999): Docosahexaenoic and arachidonic acid prevent a decrease in dopaminergic and serotonergic neurotransmitters in frontal cortex caused by a linoleic and alpha-linolenic acid deficient diet in formula-fed piglets. *Journal of Nutrition*. 129:2088-2093.
- [105] Cools, A.; Maes, D.; Papadopoulos, G.; Vandermeiren, J.-A.; Meyer, E.; Demeyere, K.; De Smet, S.; Janssens, G.P.J. (2011): Dose-response effect of fish oil substitution in parturition feed on erythrocyte membrane characteristics and sow performance. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 95:125-136.
- [106] Lauridsen, C.; Stagsted, J.; Jensen, S.K. (2007): n-6 and n-3 fatty acids ratio and vitamin E in porcine maternal diet influence the antioxidant status and immune cell eicosanoid response in the progeny. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*. 84:66-78.
- [107] Laws, J.; Laws, A.; Lean, I.J.; Dodds, P.F.; Clarke, L. (2007): Growth and development of offspring following supplementation of sow diets with oil during mid to late gestation. *Animal*. 1:1490-1496.
- [108] Lee, A.V.; You, L.; Oh, S.Y.; Li, Z.; Fisher-Heffernan, R.E.; Regnault, T.R.H.; de Lange, C.F.M.; Huber, L.; Karrow, N.A. (2019): Microalgae supplementation to late gestation sows and its effects on the health status of weaned piglets fed diets containing high- or low-quality protein sources. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 218:109937.
- [109] Tanghe, S.; Missotten, J.; Raes, K.; Vangeyte, J.; De Smet, S. (2014): Diverse effects of linseed oil and fish oil in diets for sows on reproductive performance and pre-weaning growth of piglets. *Livestock Science*. 164:109-118.
- [110] Leroy, J.; Van Soom, A.; Opsomer, G.; Goovaerts, I.; Bols, P. (2008): Reduced Fertility in High-yielding Dairy Cows: Are the Oocyte and Embryo in Danger? Part II ^[SEP]Mechanisms Linking Nutrition and Reduced Oocyte and Embryo Quality in High-yielding Dairy Cows*. *Reproduction in Domestic Animals*. 43:623-632.
- [111] Chartrand, R.; Matte, J.J.; Lessard, M.; Chouinard, P.Y.; Giguère, A.; Laforest, J.P. (2003): Effect of dietary fat sources on systemic and intrauterine synthesis of prostaglandins during early pregnancy in gilts. *Journal of Animal Science*. 81:726-734.
- [112] Lipinski, K. (2019): Overcoming oxidative stress. I: (ed. Yagüe, A.P.): *Nutrition of hyper prolific sows*. Novus International, kapitel 4, pp. 81-106.

- [113] O'Connor-Robison, C.I.; Spencer, J.D.; Orth, M.W. (2014): The impact of dietary long-chain polyunsaturated fatty acids on bone and cartilage in gilts and sows. *Journal of Animal Science*. 92:4607-4615..
- [114] Møller, S.; Lauridsen, C. (2006): Dietary fatty acid composition rather than vitamin E supplementation influence ex vivo cytokine and eicosanoid response of porcine alveolar macrophages. *Cytokine*. 35:6-12.
- [115] Huang, F.R.; Zhan, Z.P.; Luo, J.; Jiang, S.W.; Peng, J. (2008): Duration of feeding linseed diet influences peroxisome proliferator-activated receptor γ and tumor necrosis factor gene expression, and muscle mass of growing–finishing barrows. *Livestock Science*. 119:194-201.
- [116] Calder, P.C. (2013): Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology? *British Journal of Clinical Pharmacology*. 75:645-662.
- [117] Desaldeleer, C.; Ferret-Bernard, S.; de Quelen, F.; Le Normand, L.; Perrier, C.; Savary, G.; Romé, V.; Michel, C.; Mourot, J. et al. (2014): Maternal 18:3n-3 favors piglet intestinal passage of LPS and promotes intestinal anti-inflammatory response to this bacterial ligand. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 25:1090-1098,
- [118] Lauridsen, C. (2019): From oxidative stress to inflammation: redox balance and immune system. *Poultry Science*. 98:4240-4246.
- [119] Lauridsen, C.; Jensen, S.K. (2012): α -Tocopherol incorporation in mitochondria and microsomes upon supranutritional vitamin E supplementation. *Genes & Nutrition*. 7:475-482,
- [120] Lauridsen, C. (2010): Evaluation of the effect of increasing dietary vitamin E in combination with different fat sources on performance, humoral immune responses and antioxidant status of weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 158:85-94,
- [121] Shen, Y.; Wan, H.; Zhu, J.; Fang, Z.; Che, L.; Xu, S.; Lin, Y.; Li, J.; Wu, D. (2015): Fish Oil and Olive Oil Supplementation in Late Pregnancy and Lactation Differentially Affect Oxidative Stress and Inflammation in Sows and Piglets. *Lipids*. 50:647-658.

Afprøvning nr. 1721

NAV nr.: 1342

//NIRW//

Dyregruppe: Søer

Fagområde: Ernæring, reproduktion

Nøgleord: Omega-3, n-3, n-6, fedt, olie, fedtsyrer, reproduktion, fostervækst, sundhed, kuldstørrelse, immunoglobuliner, pattegrisedødelighed, fødselsvægt



Tlf.: 33 39 45 00

svineproduktion@seges.dk

Ophavsretten tilhører SEGES. Informationerne fra denne hjemmeside må anvendes i anden sammenhæng med kildeangivelse.

Ansvar: Informationerne på denne side er af generel karakter og søger ikke at løse individuelle eller konkrete rådgivningsbehov.

SEGES er således i intet tilfælde ansvarlig for tab, direkte såvel som indirekte, som brugere måtte lide ved at anvende de indlagte informationer.