

Tryptofan:lysinbehov til smågrise

Niels Morten Sloth, Sabine Stoltenberg Grove, Per Tybirk og Jeanett S. Pelck

SEGES Innovation P/S, Den rullende Afprøvning

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Foderoptagelse, daglig tilvækst og produktionsværdi (uden betaling for det ekstra tryptofan) steg lineært - men meget beskedent - fra ca. 16 til 24 % fordøjeligt tryptofan:lysin, mens foderudnyttelse og dækningsbidrag var upåvirket. Forøgelse af lysin- og det generelle aminosyreniveau og dermed proteinniveau har en betydelig større positiv effekt på produktionsresultaterne end en tilsvarende procentvis forøgelse af tryptofan i forhold til lysin.

Sammendrag

Der er gennemført en afprøvning med i alt 40.035 smågrise fra to uger efter fravænning ved 6,7 kg indtil 24,8 kg fordelt på 25 kombinationer af fem lysinniveauer og fem niveauer af tryptofan i procent af lysin.

Effekt af tryptofan

Afprøvningen viste, at effekten af stigende tryptofanindhold i forhold til lysin var lineær i det undersøgte område (ca. 16-24 % fordøjeligt tryptofan:lysin) og stort set begrænsede sig til øget foderoptagelse og deraf følgende øget daglig tilvækst, mens foderudnyttelsen var upåvirket.

Produktionsværdien (en sammenvejning af værdien af daglig tilvækst og foderudnyttelse på basis af fem års gennemsnitspriser og med samme foderpris i alle grupper) steg 0,6 indekspoint ved at hæve tryptofan:lysin fra 21 til 22 %.

Dækningsbidraget blev numerisk, men ikke statistisk sikkert, forringet 8 øre pr. gris for hele smågriseperioden pr. procentenhed ekstra tryptofan:lysin. Dækningsbidraget blev beregnet på samme måde som produktionsværdi, blot med individuel foderpris pr. gruppe afhængigt af tryptofanniveau og med et prissæt fra prognosen for fodringssæson 2023-2024. Hvis dækningsbidraget blev beregnet med gennemsnittet af de sidste fem års priser på notering og fodermidler, ville der være en gevinst på ca. 39 øre pr. gris for hele smågriseperioden ved at hæve tryptofan:lysin fra f.eks. 21 til 22 % på grund af ændrede prisforhold mellem fodermidler og notering.

Normudvalget vedtog i 2023 på baggrund af afprøvningens resultater - med hensyn til effekten på foderoptagelse og tilvækst - at udnytte dette i perioden fra fravænning og i den første del af smågriseperioden indtil ca. 15 kg, ved at hæve normen for tryptofan:lysin-forholdet fra det hidtidige 21 til 23

% . Kun godt en tredjedel af hele smågriseperiodens foder anvendes op til ca. 15 kg, hvorfor følsomheden for lidt højere foderpris dér er mindre.

Effekt af lysin og de øvrige aminosyrer samt råproteinniveau

Afprøvningen har i lighed med en nyligt gennemført afprøvning vist, at der er en tydelig og statistisk sikker effekt af øget lysin- og generelt aminosyre- og proteinniveau på foderoptagelse, daglig tilvækst, foderudnyttelse, produktionsværdi og dækningsbidrag. Effekterne følger en krum kurve med aftagende effekt, jo højere lysin- og proteinniveau, der er tale om. Foderoptagelsen toppede ved ca. 11,8 g fordøjeligt lysin, mens der for de øvrige nøgletal ikke er fundet toppunkter i det undersøgte område (9,5-13,1 g fordøjeligt lysin og 123-161 g fordøjeligt protein pr. FEsv). Toppunkt for produktionsværdi (uden hensyn til foderpris) blev i en anden nyligt afsluttet afprøvning fundet ved ca. 14,4 g lysin og 174 g fordøjeligt protein pr. FEsv, mens laveste diarréforekomst i dén afprøvning blev fundet ved 124 g fordøjeligt protein pr. FEsv. Det optimale niveau af protein og aminosyrer, der ønskes mødt ved normsætning, er derfor et kompromis mellem produktionsresultater, foderpriser og diarrérisiko.

Sammenligning af tryptofan- og lysineffekt

Forøgelse af lysinniveau og det generelle aminosyreniveau og dermed proteinniveau har en betydelig større positiv effekt på produktionsresultaterne end en tilsvarende procentvis forøgelse af tryptofan i forhold til lysin. Sammenlignes en forøgelse af tryptofan fra 21 til 23 % af lysin med en tilsvarende procentvis forøgelse af lysin og øvrige aminosyrer (dvs. 9,5 %) ved et udgangspunkt på 11,8 g fordøjeligt lysin pr. FEsv, findes 17 g højere daglig tilvækst og 0,08 lavere FEsv pr. kg tilvækst, 21 % højere produktionsværdi samt 5 % højere dækningsbidrag (når prisstigningen er indregnet) ved at øge alle aminosyrer fremfor bare at øge tryptofan i forhold til lysin.

Baggrund

I et netop afsluttet forsøg [1] er det påvist, at den traditionelle forsøgsmetode til estimering af aminosyrebehov i forhold til lysin overestimerer behovet for den undersøgte aminosyre. Derfor er der også opstået den mistanke, at behovet og normen for tryptofan er estimeret for højt. Det kan således være muligt at opnå en foderprisbesparelse, hvis det kan fastslås, hvad tryptofanbehovet i smågrisefoder reelt er.

En tidligere undersøgelse har udført en grundig fransk metaanalyse på 39 forsøg vedrørende tryptofanbehovet i forhold til lysinindhold i smågrisefoder [2], hvor et af kriterierne for medinddragelse af et forsøg var, at lysin skulle være den mest begrænsende aminosyre. Responskurverne fra denne metaanalyse er angivet grafisk i Appendiks 5.

Ved at udvælge en delmængde af disse 39, nemlig de 24 forsøg, til en separat analyse, hvor lysinforsyningen af grisene var længst under det beregnede teoretiske behov, blev behovsestimatet højere (24,5 % Trp:Lys) for fordøjeligt tryptofan i procent af lysin i forhold til estimatet ved metaanalyse på alle 39 forsøg (21,6 % Trp:Lys), der opfyldte de opstillede kriterier [9]. Responskurverne fra denne metaanalyse er angivet grafisk i Appendiks 6.

Dette fænomen er også vist med hensyn til estimering af fordøjeligt valin:lysin i Meddelelse nr. 881 [4], hvor der ved samme niveau af lysin fra 9 til 29 kg blev estimeret et behov på 67 % valin:lysin fra 9-20 kg (hvor grisene teoretisk set har større lysinbehov end gennemsnitligt for hele perioden fra 9 til 29 kg). For hele perioden 9-29 kg blev behovet estimeret til 65 % fordøjeligt valin:lysin.

Den danske tryptofannorm til smågrise er sat til 21 % af lysin og for slagtegrise 20 % af lysin [8]. Denne normsætning er baseret på de kurvelineære-plateau-responsfunktioner fra ovennævnte metaanalyse samt

en tilsvarende for slagtegrise, udarbejdet af samme forskerkreds under hensyn til notering, pris på korn, proteinfodermidler og frit krystallinsk tryptofan.

En anden måde at estimere behovet på er lineær-plateau-metoden, som ofte har været den primære metode i nordamerikanske forsøg. Den giver som regel lavere behovsestimer end den kurvelineære-plateau-metode. Hvis normsætningen baseres på denne metode, vil behovet til smågrise være 17 % af lysin, hvilket betyder, at frit krystallinsk tryptofan skulle tilsættes meget sjældnere. Tabel 1 viser en sammenligning af toppunkterne ved de to analysemetoder.

Tabel 1. Toppunkttestimater, afhængigt af analysemetode i tryptofan:lysin, % grise fra 7 til 14 kg [3].

	Lineær-plateau			Kurvelineær-plateau		
	Daglig tilvækst	Foder-optagelse	Foder-udnyttelse	Daglig tilvækst	Foder-optagelse	Foder-udnyttelse
Toppunkter, %Trp:Lys	18	18	15	20	20	16

Traditionelle forsøg til bestemmelse af én aminosyre i forhold til et sikkert begrænsende niveau af lysin giver et overestimat af behovet for den undersøgte aminosyre, hvilket er påvist og diskuteret i Meddelelse nr. 881 [4]. Overestimering skyldes, at man i dette klassiske design ønsker at udtrykke behovet for den undersøgte aminosyre i forhold til lysin og derfor er nødt til at holde lysinniveauet i underforsyning i forhold til lysinbehovet til maksimal produktivitet. Denne grad af lysinunderforsyning er oftest ukendt, da forskerne gerne går ret langt ned i lysinniveau i disse forsøg for en sikkerheds skyld. Det er tidligere beskrevet, at udnyttelsen af absorberede aminosyrer til vævsdannelse kan variere 60-80 % [5]. Grisens lysinforbrug stiger fra ca. 16 til 20 g pr. kg tilvækst, jo højere lysinkoncentration, der er i foderet [6]. Dette giver grundlag for at tro, at et lavere lysinniveau i foderet giver en bedre lysinudnyttelse, hvilket har indflydelse på de traditionelle "Aminosyre:Lysin"-forsøg. Samtidig giver det en større overestimering af behov for den undersøgte aminosyre i forhold til den efterfølgende praktiske fodring, hvor man tilstræber et lysinniveau, der giver tæt på maksimal produktivitet. Dette er ret tydeligt i Appendiks 5, Figur 4a, hvor resultatet af en analyse på en delmængde af 24 forsøg i ovennævnte metaanalyse [2] viser et toppunkt på 24,5 i stedet for 21,6 % fordøjeligt tryptofan:lysin.

I et nyligt afsluttet responsfladeforsøg vedrørende treonin- og lysinbehov til smågrise [1] er det vist, at det har stor betydning, om treoninbehovet undersøges ved et lysinniveau, der er begrænsende for produktiviteten (den traditionelle metode til aminosyreforsøg), eller om treoninbehovet undersøges via det omvendte forsøgsdesign, hvor treoninniveauet er begrænset. Her udpeges det nødvendige lysinniveau til at udnytte et givet treoninniveau maksimalt. Den førstnævnte metode gav 10 procentenheder højere estimat for treonin:lysinforholdet (63 %) i forhold til det omvendte forsøgsdesign (53 %).

Der var et ønske om at finde det rigtige forhold mellem aminosyrerne tryptofan og lysin i foder til smågrise med nutidig genetik og produktionsforhold. Derfor skulle lysin- og tryptofanbehov bestemmes samtidigt i en dobbelt dosisresponsundersøgelse – ligesom lysin- og treoninbehovet blev bestemt ved smågrise [1] og slagtegrise [7]. Det vil være relevant for griseproducenter, rådgivning og foderstof at vide, om det optimale forhold mellem tryptofan og lysin er afhængigt af, om der anvendes "skåneblanding" eller foderblandinger med højere proteinindhold til de store smågrise. Der blev gennemført en responsfladeundersøgelse for at undersøge, om der vil optræde en vekselvirkning: Vil det forhold mellem de to aminosyrer, der giver maksimal produktivitet, være afhængigt af, hvilket lysinniveau, tryptofan undersøges ved?

Besparelsen i foderpris pr. 5 % reduktion (ca. 0,1 gram pr. FESv) kunne være 60 øre pr. 100 FESv i smågrisefoder ved et prissæt med gennemsnit over fem år. Ved en 17 % reduktion af tryptofanindholdet (svarende til 17,5 % i stedet for 21 % tryptofan:lysin i smågrisefoder) skal der ikke længere tilsættes frit tryptofan. Besparelsen herved ville være ca. 2 kr. pr. 100 FESv i smågrisefoder ved samme prissæt.

Formålet med denne afprøvning var således at undersøge, om produktiviteten kunne forbedres og foderpriserne reduceres ved at finde det rigtige forhold mellem aminosyrerne tryptofan og lysin i smågrisefoder med nutidig genetik og produktionsforhold samt under forskellige lysin- og proteinniveauer. Disse forhold blev undersøgt i et interval fra lavprotein "skåneblandinger" og op til et forholdsvis højt proteinniveau, hvilket dækkede fra ca. 120 til ca. 160 g fordøjeligt råprotein pr. foderenhed.

Materialer og metoder

Afprøvningen blev gennemført i en konventionel smågrisebesætning. Hver af de otte sektioner havde 16 dobbeltstier, hvoraf 14 blev anvendt til forsøget og de sidste to var uden for forsøg. Der blev primært indsat usorteret kuldvis fra farestalden med to kuld pr. sti, hvilket betød, at der var ca. 61 grise pr. dobbeltsti, som fungerede som en forsøgsenhed i afprøvningen. Ordinære kuld og ammekuld blev betragtet som ligeværdige.

Grisene blev fodret med computerstyret tøfodringsanlæg fra Skiold med hjemmeblandet melfoder efter ædelyst, og der var en ekstra drikkekop samt halmhæk i hver sti.

I alt indgik der 654 dobbeltstier i afprøvningen med ca. 26 gentagelser pr. gruppe og i alt 40.035 grise. Hver forsøgsenhed bestod af gennemsnitsresultaterne fra en dobbeltsti. Det anvendte design er af typen *Balanceret Ikke-komplet Blok Design*, hvor der på skift kan undværes forsøgsbehandlinger i hvert hold, hvorved de samtidige dosisresponsundersøgelser kan gennemføres med færre end 25 grupper for det enkelte hold. Der var 16 dobbeltstier pr. sektion i den aktuelle besætning, og der var afsat plads til, at op til fire dobbeltstier i hver sektion var "uden for forsøg", hvilket gav plads til at indsætte 12-14 grupper pr. sektion. I hver sektion blev der indsat enten ulige eller lige gruppenumre, og i de ekstra dobbeltstier blev grisene indsat som gruppe 13, da denne gruppe "ligger midt i designet" (Figur 1), og det er hensigtsmæssigt at have flest gentagelser midt i designet ved opgørelse efter responsflademethoden.

Grisene blev indsat efter gennemsnitsvægt pr. dobbeltsti og fik tildelt afprøvningsgruppenummer efter en randomiseret plan, hvor det blev sikret, at der ikke var i nærheden af statistisk sikker sammenhæng mellem indsættelsesvægt i forhold til proteinniveau, aminosyreniveau eller vekselvirkning deraf ($p > 0,96$). Dette var nødvendigt, da det ikke var muligt at gennemføre holdopdeling efter vægtekategori, som normalt praktiseres i afprøvninger, hvor der kun er få grupper.

Foderblandinger

Til afprøvningen blev der i besætningens hjemmeblandingsanlæg produceret fire færdigfoderblandinger, der i det følgende benævnes "grundblandinger". Sammensætningen heraf ses i Appendiks 1. Disse fire grundblandinger udgør "hjørnesteinene" i nedenstående design i Figur 1 med 25 kombinationer af fordøjeligt indhold af lysin og tryptofan. Figur 1 kan betragtes som et koordinatsystem, hvor x-aksen angiver indholdet af fordøjeligt lysin pr. foderenhed (blå skrift), og y-aksen angiver fordøjeligt tryptofan i % af fordøjeligt lysin (%Trp:Lys) (rød skrift). De planlagte fordøjelige indhold var:

- Grundblanding 101 (øverst til venstre = gruppe 1): 2,38 g tryptofan og 9,5 g lysin pr. FEsv
- Grundblanding 105 (øverst til højre = gruppe 5): 3,25 g tryptofan og 13,0 g lysin pr. FEsv
- Grundblanding 121 (nederst til venstre = gruppe 21): 1,43 g tryptofan og 9,5 g lysin pr. FEsv
- Grundblanding 125 (nederst til højre = gruppe 25): 1,96 g tryptofan og 13,0 g lysin pr. FEsv

%Trp:Lys	Tryptofan, g/FEsv:				
25,0	2,38	2,59	2,81	3,03	3,25
22,5	2,14	2,34	2,53	2,73	2,93
20,0	1,90	2,08	2,25	2,43	2,60
17,5	1,67	1,82	1,97	2,13	2,28
15,1	1,43	1,56	1,69	1,83	1,96
	9,5	10,4	11,3	12,1	13,0
	Lysin, g/FEsv				

Figur 1. Skitse over forsøgsdesign med planlagte niveauer (fordøjeligt tryptofan og lysin), begyndende med gruppe 1 i øverste venstre hjørne og sluttende med gruppe 25 i nederste højre hjørne.

Ved at kombinere de fire grundblandinger i forskellige forhold, som ses i Figur 1, fås 25 forskellige kombinationer af de to aminosyrer, hvilket betød, at der var 25 forskellige forsøgsgrupper. Detaljer herom kan ses i Appendiks 3 og 4. Forholdet til de øvrige aminosyrer var afstemt i forhold til Normer for Næringsstoffer [8], og der blev fodret med én foderblanding i forsøgsperioden fra 14 dage efter fravænning og resten af smågriseperioden (ca. 7-30 kg).

Begrundelsen for, at forsøgsdesignet ikke begynder ved et lavere tryptofanniveau og dermed et lavere tryptofan:lysinforhold (% Trp:Lys), er, at det ikke er økonomisk realistisk at komme under 15 % Trp:Lys med de fodermidler, der normalt er til rådighed i praksis i Danmark. En reduktion til under 15 % Trp:Lys ville gøre, at man ville gå mere på kompromis med forsyningen af isoleucin, leucin, histidin og summen af fenyylalanin og tyrosin. Ved inklusion af 40-50 % majs i foderblandingen ville det være muligt at gå længere ned i Trp:Lys %, men majs til modenhed dyrkes stort set ikke i Nordeuropa, og kompensationsudgiften ved at indkøbe store mængder majs og samtidigt sælge rug og hvede fra besætningen ville være meget voldsom. Opnåelse af forsøgstilladelse til brug af frit fenyylalanin eller tyrosin kunne også have sænket Trp:Lys %, men det ville inkludere ca. 80 % af grisene, hvilket ikke ville være realistisk.

Forsøgsresultaterne fra designet skitseret i Figur 1 forventes at kunne være direkte anvendelige i dansk praksis.

Foderprøver

Med det formål at ramme de tilsigtede næringsstofniveauer i afprøvningen bedst muligt via besætningens hjemmeblandede foder, blev der gennemført analyser af hvede, rug og vårbyg hurtigst muligt efter høst. Besætningsejer eller ansatte i besætningen udtog ved høst et par håndfulde af hvert læs for hver af de tre kornarter, som derefter blev indsendt til analyse hos Eurofins Steins Laboratorium A/S.

Der blev udtaget foderprøver af de fire grundblandinger, der blev samlet til samleprøver. Disse blev indsendt med en frekvens, der svarede til 11 samleprøver pr. grundblanding. Prøverne blev analyseret for energi, mineraler, aminosyrer og fytaseaktivitet.

Der blev udtaget stikprøver fra foderautomaterne af de 25 forsøgsblandinger til analyse af protein- og aminosyreindhold for at kontrollere, at det planlagte blandingsforhold i de fire foderblandinger blev opnået.

Det anvendte laboratorium sammenlignes minimum hver fjerde uge med to andre akkrediterede laboratorier på de centrale analyser (energi, aminosyrer og mineraler) via SEGES Innovations ringanalyser, for at kunne tage hensyn til eventuelle niveauskred ved konklusionen på analyseresultaterne fra denne afprøvning.

De analyserede FEsv blev anvendt ved beregning af foderudnyttelsen. Foderudnyttelsen indgår i beregningen af produktionsværdien.

Registreringer

Effekten på produktivitet af lysin- og tryptofanniveauerne blev målt ved registrering af daglig tilvækst og foderoptagelse på dobbeltstiniveau, og hermed kunne foderudnyttelse beregnes. Produktionsværdi (uddybet nedenfor) var den primære parameter i afprøvningen. Derudover blev sygdomsbehandlinger og dødelighed registreret som sekundære parametre.

Produktionsværdi

Ud fra de opnåede produktionsresultater (daglig tilvækst og foderforbrug) blev der beregnet en produktionsværdi. Produktionsværdien er et samlet udtryk for værdien af grisenes biologiske respons på forsøgsbehandlinger ved brug af gennemsnittet af de seneste fem års priser for grise og foder. Ved beregning af produktionsværdien indgår samme foderpris for alle grupper.

Produktionsværdi pr. stiplads pr. dag for hele smågriseperioden blev beregnet på følgende måde:

Produktionsværdi i kr. pr. stiplads pr. dag = (tilvækstværdi – foderomkostninger) / foderdage.

*Tilvækstværdi = grisenes tilvækst i kg i forsøgsperioden * værdi af 1 kg tilvækst.*

Foderomkostningerne blev bestemt ved hjælp af nedenstående formel og beregnet på basis af foderblandingerne indhold af analyserede foderenheder (FEsv) (beregnet ud fra EFOSi-analyser) samt den faktisk tildelte mængde af de enkelte foderblandinger pr. sti:

*Foderomkostninger = (afgangsvægt – indgangsvægt) x FEsv pr. kg tilvækst * pris pr. FEsv*

Foderdage er udregnet som antallet af grise pr. forsøgsenhed og dage i forsøg med hensyntagen til udtagninger af grise undervejs.

Dækningsbidrag

Dækningsbidraget beregnes på samme måde som produktionsværdien, dog med individuelle foderpriser for hver gruppe, der afhænger af foderets protein-, lysin- og tryptofanindhold. I denne og andre Meddelelser fra Den rullende Afprøvning er der ikke indregnet værdi af kvælstof i gødningen i dækningsbidraget – det sker ved den endelige fastsættelse af økonomisk optimale "Normer for næringsstoffer".

Statistik

Forsøgsenheden var gennemsnitsresultater fra de ca. 60 grise, der blev fodret ved en computerstyret foderventil i en dobbeltsti.

Afprøvningen var dimensioneret som en dosis-responsundersøgelse til at kunne fastlægge knæpunktet på en kurvelineær funktion for henholdsvis lysin- og tryptofanniveau, som giver maksimal produktionsværdi med et konfidensinterval på 0,4 g fordøjeligt lysin pr. FEsv ud fra den residualspreddning, der er konstateret i den aktuelle afprøvningsbesætning. Så vidt vides findes der ikke styrkeberegningsprogrammer til dosisrespons- og responsfladeforsøg. Styrkeberegningerne blev derfor foretaget ved simuleringer af

tilsvarende forsøg med forventede middelværdier og residuals-spredninger på daglig tilvækst og foderudnyttelse og deraf beregnet produktionsværdi. Der blev simuleret et sæt af forskellige størrelser forsøg med antal hold fra 10 til 100 stk. Simuleringen blev gentaget 300 gange, og gennemsnittet og spredningen på toppunktsbestemmelserne er beregnet for hver forsøgsstørrelse. Denne spredning udtrykker, hvor sikkert det gennemsnitlige toppunkt kan beregnes pr. forsøgsstørrelse. Ved en forsøgsstørrelse på 20 dobbeltstier pr. gruppe vil konfidensintervallet på toppunktsbestemmelsen være $\pm 0,4$ g fordøjeligt lysin og $\pm 0,08$ g fordøjeligt tryptofan pr. FEsv. Det vil f.eks. sige, at lysinbehovet til maksimal produktionsværdi kan bestemmes med en sikkerhed på $\pm 0,4$ g for hvert tryptofanniveau, det undersøges ved, og tryptofan kan bestemmes med en sikkerhed på ca. ± 1 procentenhed
Tryptofan:Lysin.

Denne afprøvning indgik som en del af et større projekt, hvor det overordnede formål er at reducere foderomkostningerne ved at finde den eller de aminosyreprofiler til smågrise og slagtegrise, hvor aminosyrerne er lige økonomisk begrænsende, og samtidig undgå et højere råproteiniveau end tilstrækkeligt. Der blev opsat to hypoteser for afprøvningen:

Hypotese 1: Maksimal produktivitet (=produktionsværdi) opnås ved 12-12,5 g fordøjeligt lysin pr. foderenhed, hvor tryptofan udgør 17 % af lysin ved ca. 155 g fordøjeligt protein pr. foderenhed.

Hypotese 2: Højeste produktivitet ved fodring med en "skåneblanding" med 10 g fordøjeligt lysin og ca. 122 g fordøjeligt protein pr. foderenhed opnås, hvor tryptofan udgør 20-22 % af lysin.

Alle analyser blev foretaget i R version 4.2.1. Lineære mixede modeller (LMM) er estimeret med pakken lme4 (version 1.1-30) ved brug af funktionen lmer, mens generaliserede mixede modeller (GLMM) med en betinget t-fordeling er estimeret ved at anvende pakken glmmTMB (version 1.1.5). Variablene daglig tilvækst og foderoptagelse (FEsv pr. dag pr. gris) er analyseret ved at anvende en LMM, mens de resterende variable, foderudnyttelse (FEsv pr. kg tilvækst), produktionsværdi og dækningsbidrag, alle er analyseret ved at anvende en GLMM med en t-fordeling for frihedsgraderne estimeret som en del af estimationsprocessen.

Efter modelestimering er produktionsværdi og dækningsbidrag omregnet til indekstal med indeks 100 svarende til den estimerede værdi for gruppe 13. I alle modeller indgår en lineær korrektion af indsættelsesvægt og gruppe. Hver gruppe svarer til et niveau af fordøjeligt lysin og forholdet mellem fordøjeligt tryptofan og fordøjeligt lysin, og der har været et ønske om at undersøge den funktionelle sammenhæng mellem værdierne af disse forklarende variable og responsvariablene. Derfor er modeller, der inkluderer forskellige funktionelle former undersøgt, heriblandt 2. grads polynomium i begge variable (med og uden vekselvirkning), "change point"- modeller med 1 "change point", linearitet i tryptofan:lysin og skæring bestemt af niveau af fordøjeligt lysin (5 niveauer) samt Generaliserede Additive Mixede Modeller (GAMM), som estimerer en generel ukendt glat funktion.

Bemærk, at de funktionelle former er baseret på fem niveauer af fordøjeligt lysin og fem niveauer af fordøjeligt tryptofan:lysin svarende til 25 mulige kombinationer. I disse undersøgelser er der ikke fundet signifikant vekselvirkning mellem fordøjeligt lysin og fordøjeligt tryptofan:lysin, ligesom der heller ikke blev fundet en signifikant effekt af et 2. ordensled af fordøjeligt tryptofan:lysin, hvorfor resultater kun er præsenteret for modeller, hvor disse forklarende variable er udeladt.

Der er foretaget diverse modelkontroller bestående af QQ-plots, residualplots, Shapiro-Wilk's test for normalitet af residualer samt modelsimulationer ved brug af pakken DHARMA (version 0.4.5). Modeller er sammenlignet ved at foretage likelihood ratio tests. LSmeans eller estimerede marginale middelværdier er beregnet ved at anvende pakken Emmeans (version 1.8.2), der anvender en test baseret på (asymptotiske) fordelingsegenskaber af de estimerede værdier.

Der blev ikke foretaget modelbaserede analyser af antal behandlede grise eller antal flokbehandlinger, da en flokbehandling i dette forsøg svarer til en behandling af hele stalden, og en eventuel gruppeeffekt kan dermed ikke analyseres ud fra data.

Resultater og diskussion

Analysen af forsøgsfoder

Resultatet af foderanalyserne på grundblandingerne ses i Appendiks 2, hvori protein, FESv og fosfor var nogenlunde på de forventede niveauer. Der var mindre fedt end forventet og højere in vitro fordøjeligheder (EFOS og EFOSi) end forventet.

Ligesom i andre undersøgelser er der i nærværende afprøvning fundet et væsentligt underindhold af methionin i forhold til forventet. Tidligere afprøvninger viser, at det ikke altid lykkes at opnå de planlagte høje aminosyreniveauer i foderblandingerne med høje niveauer. Samtidig ses lidt højere aminosyreniveauer i foderblandingerne med planlagt lave niveauer. Dette har specielt været gældende for tryptofan i denne afprøvning.

I Appendiks 2 ses også beregnede fordøjelige værdier pr. FESv for grundblandingerne, og i Appendiks 3 ses det vægtede gennemsnit af resultaterne fra grundblandings- og foderautomatprøverne. Disse niveauer indgår i opgørelsen af produktionsresultaterne.

Produktionsresultater

Produktionsresultater og supplerende oplysninger pr. gruppe er vist i Appendiks 4.

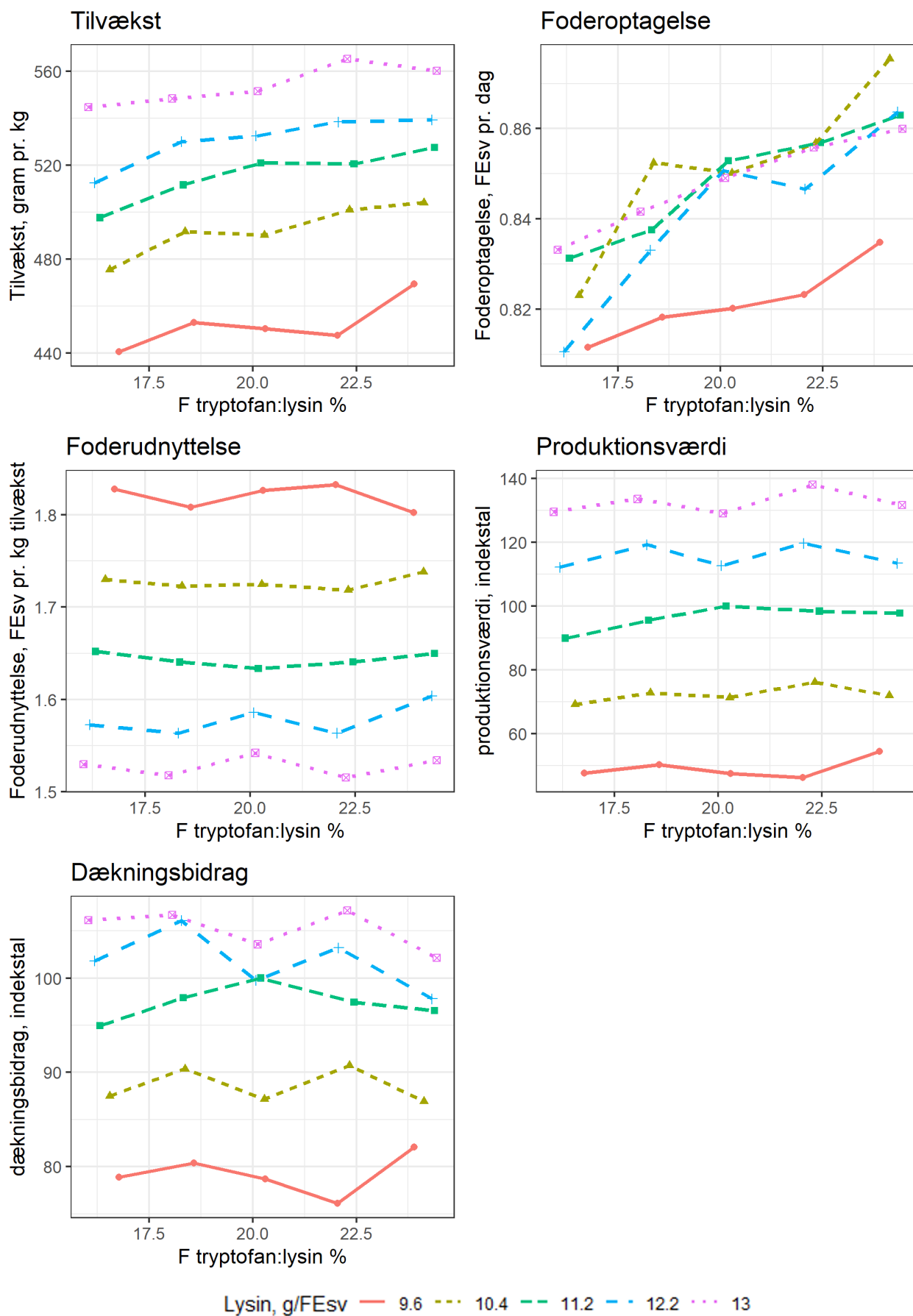
I gennemsnit for de 25 grupper var indsættelsesvægten 6,7 kg pr. dobbeltsti. Grisene blev indsat i afprøvningen ca. 14 dage efter fravæning. Afgangsvægten var i gennemsnit 24,8 kg pr. dobbeltsti.

Produktionsresultaterne for foderoptagelse, daglig tilvækst, foderudnyttelse og produktionsværdi er korrigeret for de forskelle i indsættelsesvægt, der var mellem grupperne, ved at benytte LSmeans-værdier.

På grund af det høje antal af grupper i afprøvningen er gruppegennemsnit for fem nøgletal vedrørende produktionsresultaterne vist som LSmeans-værdier i nedenstående grafer i Figur 2.

Konklusionerne hviler dog ikke på LSmeans-værdier, men derimod på de funktioner, der estimeres af den samlede model for alle 25 grupper i responsfladeforsøget. Resultaterne derfra ses afbildet i Figur 3 og 4. Der gøres opmærksom på, at alle estimerne er behæftet med en vis usikkerhed, men med størst usikkerhed på de enkelte gruppegennemsnit (LSmeans-værdier), der kun "hviler" på resultaterne fra de enkelte grupper.

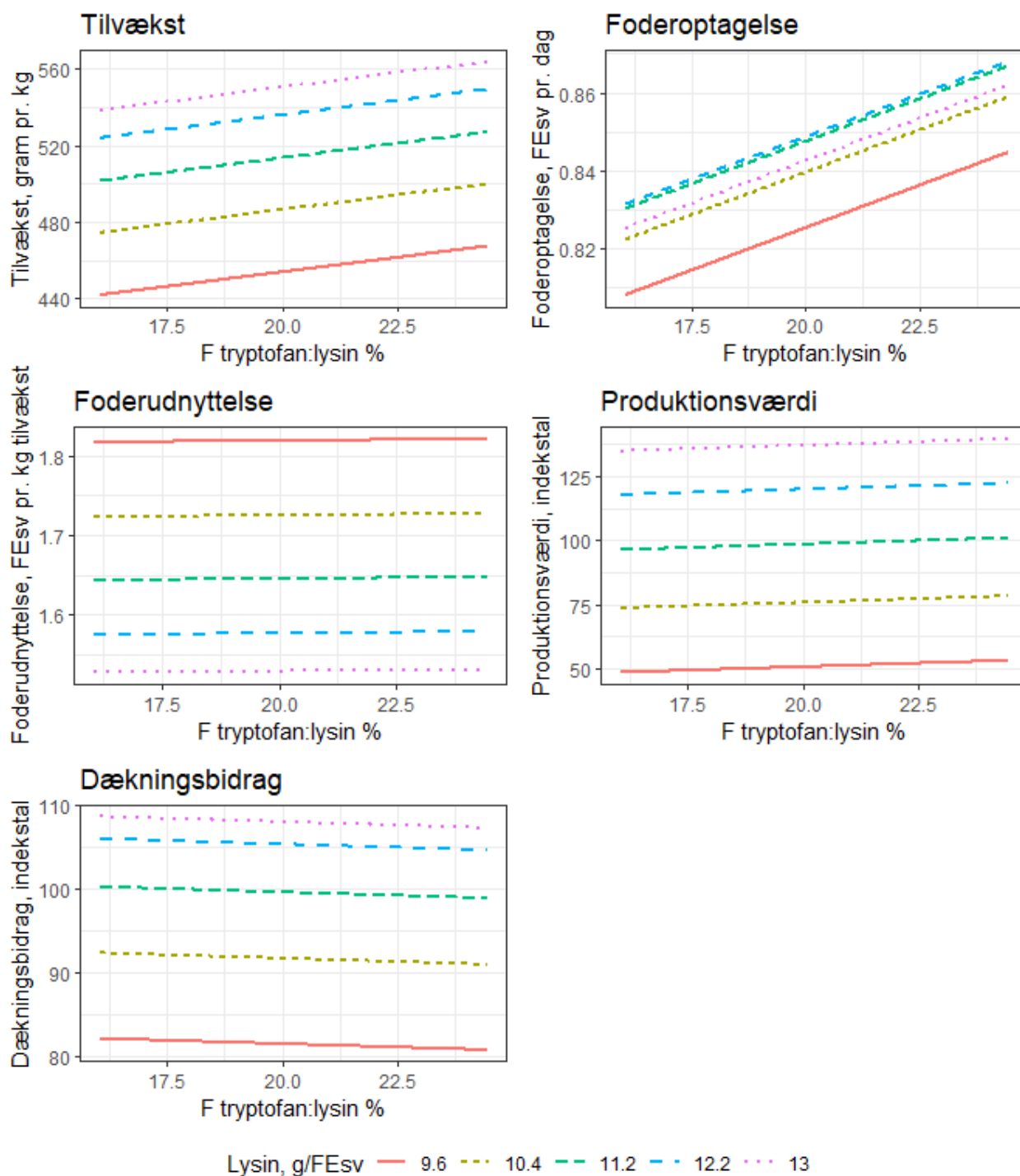
Produktionsresultaterne estimeret med den samlede model for alle 25 grupper, ses grafisk i Figur 3 og 4 samt i tabelform i Appendiks 4.



Figur 2. Plot af gruppegennemsnitsresultater (LSmeans-værdier) for de fem produktionsnøgletal i forhold til fordøjelig tryptofan:lysinforhold (x-akse) for hver af de fem niveauer af lysin og medfølgende aminosyre- og proteinniveauer.

Effekt af tryptofan

Afprøvningen viste, at effekten af stigende tryptofanindhold i forhold til lysin var lineær i det undersøgte område (ca. 16-24 % fordøjeligt tryptofan:lysin) og stort set begrænsede sig til øget foderoptagelse og deraf følgende øget daglig tilvækst, mens effekten på foderudnyttelsen ikke var statistisk sikker ($p = 0,52$). Effekterne er afbildet i Figur 3. Der var ikke vekselvirkning mellem tryptofan:lysinforholdet i forhold til niveauet af lysin og de øvrige aminosyrer, hvilket ses grafisk ved, at linjerne i Figur 3 er parallelle.



Figur 3. Effekt af fordøjeligt tryptofan:lysinforhold (x-akse) på fem produktionsnøgletal for hver af de fem niveauer af lysin og medfølgende aminosyre- og proteinniveauer.

Disse resultater med hensyn til foderoptagelse, daglig tilvækst og foderudnyttelse kunne ikke helt bekræfte resultaterne fra den franske metaanalyse [2], men fælles er dog, at øget Trp:Lys % øger foderoptagelse og dermed daglig tilvækst.

Produktionsværdien steg 0,6 indekspoint ved at hæve tryptofan:lysin fra 21 til 22 %.

Dækningsbidraget blev numerisk – men ikke statistisk sikkert – forringet med 8 øre pr. gris for hele smågriseproduktionsperioden pr. procentenhed ekstra Trp:Lys. Dækningsbidraget blev beregnet på samme måde som produktionsværdi, blot med individuel foderpris pr. gruppe og med et prissæt fra prognosen for fodringssæson 2023-2024. Hvis dækningsbidraget blev beregnet med gennemsnittet af de sidste fem års priser på notering og fodermidler, ville der være en gevinst på 0,8 øre pr. gris pr. dag, svarende til ca. 39 øre pr. gris for hele smågriseproduktionsperioden ved at hæve tryptofan:lysin fra f.eks. 21 til 22 %.

Resultaterne med hensyn til effekten på foderoptagelse og tilvækst kan udnyttes i den første del af smågriseproduktionsperioden fra fravænning indtil ca. 15 kg, ved f.eks. at hæve tryptofan:lysinforholdet fra det hidtidige niveau på 21 til 23 eller måske 24 %. Kun godt en tredjedel af hele smågriseproduktionsperiodens foder anvendes op til ca. 15 kg, hvorfor følsomheden for lidt højere foderpris dér er mindre.

Effekt af lysin og de øvrige aminosyrer samt råproteinniveau

Afprøvningen har i lighed med en nyligt gennemført afprøvning [11] og en tidligere afprøvning [10] vist, at der er en tydelig og statistisk sikker effekt af øget lysin- og generelt aminosyre- og proteinniveau på foderoptagelse, daglig tilvækst, foderudnyttelse, produktionsværdi og dækningsbidrag. Effekterne følger en krum kurve med aftagende effekt, jo højere lysin- og proteinniveau, der er tale om (se Figur 4).

Foderoptagelsen toppede ved ca. 11,8 g fordøjeligt lysin, mens der for de øvrige nøgletal ikke er fundet toppunkter i det undersøgte område fra ca. 9,5 til 13,1 g fordøjeligt lysin og fra ca. 123 til 161 g fordøjeligt råprotein pr. FESv.

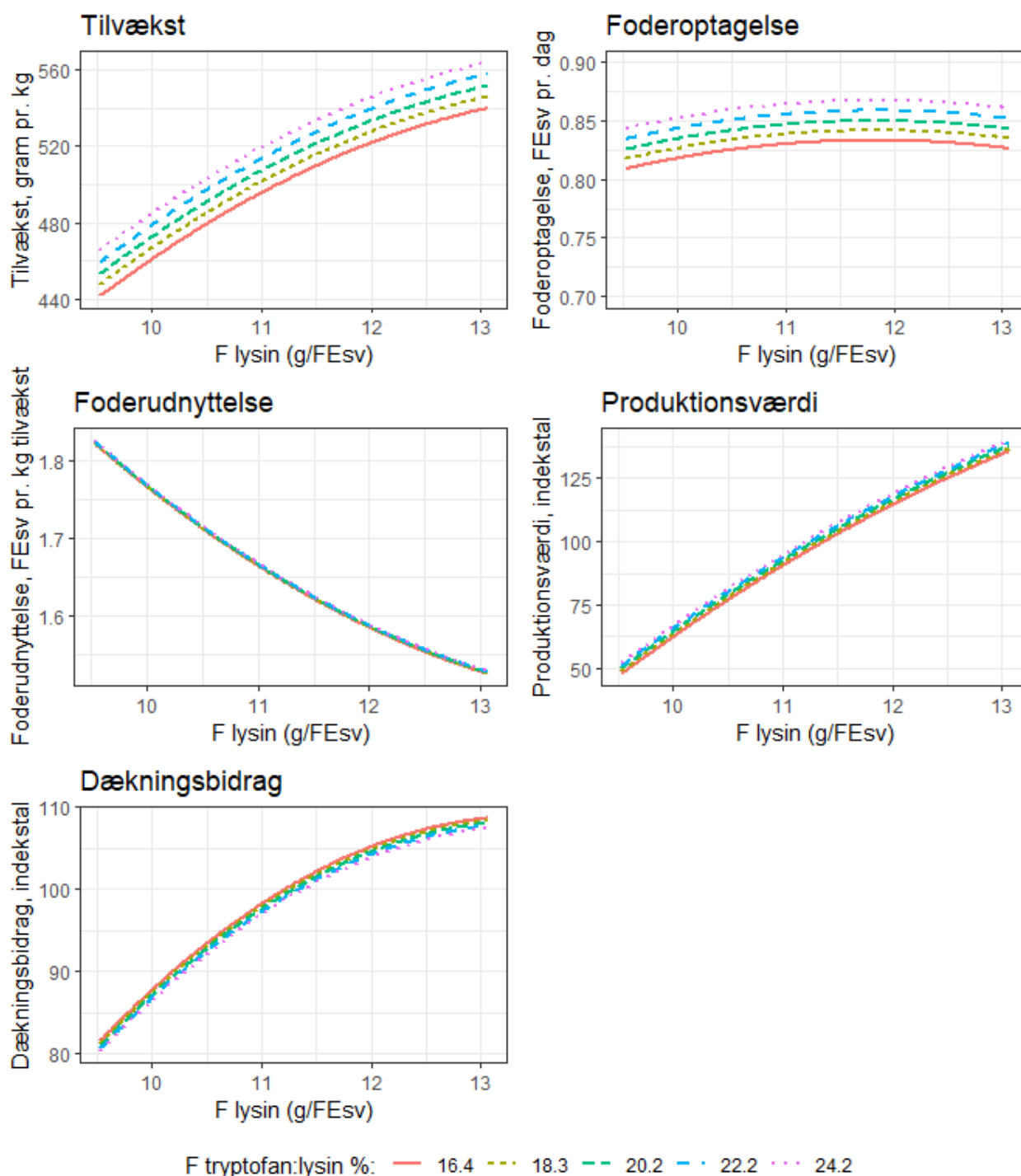
Toppunkt for produktivetsparametrene, repræsenteret ved produktionsværdi blev i en anden nyligt afsluttet afprøvning fundet ved ca. 174 g fordøjeligt protein og 14,4 g lysin pr. FESv, mens laveste diarréforekomst blev fundet ved 124 g fordøjeligt protein pr. FESv [11]. Det optimale niveau af protein og aminosyrer er derfor et kompromis mellem produktionsresultater, foderpriser og diarrérisiko.

Effekten af Trp:Lys % ses også i Figur 4, og det bemærkes, at effekten er tydeligst ved foderoptagelse og daglig tilvækst, fordi afstanden mellem de fem kurver dér er størst.

Begge hypoteser fra afprøvningens planlægning må derfor forkastes, fordi effekten af Trp:Lys % - i modsætning til de indledende forventninger - var uafhængig af lysin- og proteinniveau.

Hypotese 1 var, at maksimal produktivitet (=produktionsværdi) opnås ved 12 - 12,5 g fordøjeligt lysin pr. foderenhed, hvor tryptofan udgør 17 % af lysin ved ca. 155 g fordøjeligt protein pr. foderenhed.

Hypotese 2 var, at højeste produktivitet ved fodring med en "skåneblanding" med 10 g fordøjeligt lysin og ca. 122 g fordøjeligt protein pr. foderenhed opnås, hvor tryptofan udgør 20-22 % af lysin.



Figur 4. Effekt af fordøjeligt lysin med tilhørende niveau af øvrige aminosyrer (x-akse) på fem produktionsnøgletal for hver af de fem niveauer tryptofan:lysinforhold.

Sammenligning af tryptofan- og lysineffekt

Som det ses ved sammenligning af Figur 3 og 4, er der kun en beskedne effekt af at øge koncentrationen af tryptofan i foderet i forhold til lysin og de øvrige aminosyrer, som følger lysinkoncentrationen i denne afprøvning. Eksempelvis svarer en forøgelse af tryptofan:lysinforholdet fra 21 til 23 procentpoint til en forøgelse af tryptofankoncentrationen i foderet på ca. 9,5 %. Hvis 11,5 g lysin pr. FEsv med tilhørende aminosyrer skal forøges tilsvarende med 9,5 %, vil det svare til 12,6 g lysin pr. FEsv.

I Tabel 2 sammenlignes effekten på produktionsresultater og dækningsbidrag ved at øge enten indholdet af lysin og de øvrige aminosyrer eller tryptofan:lysinforholdet med 9,5 % ved hjælp af de matematiske funktioner, der er udledt af afprøvningens resultater:

- Forøgelsen af tryptofan:lysinforholdet fra 21 til 23 % af lysin har kun en meget beskeden effekt på foderoptagelse, daglig tilvækst og produktionsværdi, men ingen effekt på foderudnyttelse og bundlinje (dækningsbidrag).
- Forøgelse af lysin- og det generelle aminosyreniveau og dermed proteinniveau med 9,5 % (fra 11,5 til 12,5 g f. lysin/FESv) har en marginal negativ effekt på foderoptagelse over 11,8 g lysin pr. FESv, men en betydelig større positiv effekt på daglig tilvækst (17 g), foderudnyttelse (0,08 FESv/kg tilvækst), produktionsværdi 21 procentpoint) og dækningsbidrag (5 procentpoint) i forhold til en tilsvarende forøgelse af tryptofan:lysinforholdet, som det ses i Tabel 2.

Tabel 2. Effekt af 9,5 % øget aminosyreindhold (fra 21 til 23 % Trp:Lys eller fra 11,5 til 12,6 g lysin/FESv).

Aminosyrer	Udgangspunkt	Ca. 9,5 % ekstra	Foderoptagelse, FESv/dag	Daglig tilvækst, gram	FESv pr. kg tilvækst	Produktionsværdi, indeks	Dækningsbidrag, indeks
Effekt af 9,5 % ekstra lysin samt øvrige aminosyrer							
F. lysin, gram/FESv	11,5	12,6	-0,01	23	-0,08	122	105
Effekt af 9,5 % ekstra tryptofan							
F. tryptofan:lysin, %	21	23	0,01	6	0,00	101	100

Vi ved fra en anden nyligt afsluttet afprøvning af protein- og aminosyreniveau hos smågrise, at toppunkterne for produktionsværdi og foderudnyttelse blev fundet ved 175 g fordøjeligt råprotein og 14,4 henholdsvis 15,8 g fordøjeligt lysin pr. FESv, mens laveste diarréforekomst blev fundet ved 124 g fordøjeligt protein pr. FESv [11]. Det optimale niveau af protein og aminosyrer, der ønskes mødt ved normsætning, er derfor et kompromis mellem produktionsresultater, foderpriser og diarrérisiko.

Konklusion

Effekt af tryptofan

Afprøvningen har vist, at effekten af stigende tryptofanindhold i forhold til lysin var lineær i det undersøgte område (ca. 16-24 % fordøjeligt tryptofan:lysin) og stort set begrænsede sig til øget foderoptagelse og deraf følgende øget daglig tilvækst, mens foderudnyttelsen var upåvirket.

Produktionsværdien steg 0,6 indekspoint ved at hæve tryptofan:lysin fra 21 til 22 %. Dækningsbidraget med prissæt fra prognosen for foderpriser 2023-2024 blev numerisk forringet med 8 øre pr. gris for hele forsøgsperioden pr. procentenhed ekstra Trp:Lys. Blev dækningsbidraget beregnet med femårs priser, var der en gevinst på ca. 39 øre pr. gris for hele forsøgsperioden ved at hæve Trp:Lys fra 21 til 22 %.

Effekten på foderoptagelse og tilvækst kan med fordel udnyttes indtil ca. 15 kg ved at hæve Trp:Lys % fra 21 til 23-24 %. Dette skyldes den lavere omkostning, som foderet i denne periode samlet set udgør for hele smågriseperioden.

Effekt af lysin og de øvrige aminosyrer samt råproteinniveau

Afprøvningen har i lighed med en nyligt gennemført afprøvning vist, at der er en tydelig og statistisk sikker effekt af øget lysin- og generelt aminosyre- og proteinniveau på foderoptagelse, daglig tilvækst, foderudnyttelse, produktionsværdi og dækningsbidrag. Effekterne følger en krum kurve med aftagende

effekt, jo højere lysin- og proteinniveau, der er tale om. Foderoptagelsen toppede ved ca. 11,8 g fordøjeligt lysin, mens der for de øvrige nøgletal ikke er fundet toppunkter i det undersøgte område op til 13,1 g fordøjeligt lysin og 161 g fordøjeligt protein pr. FESv. Toppunkt for produktionsværdi blev i en anden nyligt afsluttet afprøvning fundet ved ca. 174 g fordøjeligt protein og 14,4 g lysin pr. FESv, mens laveste diarréforekomst blev fundet ved 124 g fordøjeligt protein pr. FESv. Det optimale niveau af protein og aminosyrer, der ønskes mødt ved normsætning, er derfor et kompromis mellem produktionsresultater, foderpriser og diarrérisiko.

Sammenligning af tryptofan- og lysineffekt

Forøgelse af lysin- og det generelle aminosyreniveau og dermed proteinniveau har en betydelig større positiv effekt på produktionsresultaterne end en tilsvarende procentvis forøgelse af tryptofan i forhold til lysin. Sammenlignes en forøgelse af tryptofan fra 21 til 23 % af lysin med en tilsvarende procentvis forøgelse af lysin og øvrige aminosyrer (9,5 %) ved et udgangspunkt på 11,8 g fordøjeligt lysin pr. FESv, findes 17 g højere daglig tilvækst og 0,08 lavere FESv pr. kg tilvækst, 21 % højere produktionsværdi samt 5 % højere dækningsbidrag (når prisstigningen er indregnet) ved at øge alle aminosyrer fremfor bare at øge tryptofan i forhold til lysin.

Referencer

- [1] Sloth, N.M., J.K. Bache, J. Vinther, P. Tybirk, M.C.N. Engelsmann, S.S. Grove og B. Nielsen, 2022. Treonin:Lysin-behovet overestimeres ved den traditionelle forsøgsmetode. [Meddelelse nr. 1272](#), Den rullende Afprøvning, SEGES Innovation.
- [2] Simongiovanni, A., E. Corrent, N. Le Floch and J. van Milgen, 2011. Estimation of the tryptophan requirement in piglets by meta-analysis. *Animal* (2012), 6:4, pp 594–602 & The Animal Consortium 2011, doi:10.1017/S1751731111001960.
- [3] Nørgaard, J.V., T.F. Pedersen, E.A. Soumeh, K. Blaabjerg, N. Canibe, B.B. Jensen, H.D. Poulsen, 2015. Optimum standardized ileal digestible tryptophan to lysine ratio for pigs weighing 7–14 kg. *Livestock Science* (2015), doi: 10.1016/j.livsci.2015.02.012i
- [4] Sloth, N.M, 2010. Valinbehov til smågrise. [Meddelelse nr. 881](#), Den rullende Afprøvning
- [5] Kyriazakis, I. & C.T., 2006. Whittemore's Science and Practice of Pig Production. [ISBN1405124482](#)
- [6] Schneider, J.D., M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.L. Nelssen, J.M. DeRouchey & R.D. Goodband, 2010. Determining the effect of lysine:calorie ratio on growth performance of ten- to twenty-kilogram of body weight nursery pigs of two different genotypes. *J. Anim. Sci.* 88:137-146.
- [7] Sloth, N.M og H. Maribo, 2004. Lysin- og treoninforsyning til slagtesvin. [Meddelelse nr. 659](#), Den rullende Afprøvning
- [8] Tybirk, P., Sloth, N. M., Kjeldsen, N. og Blaabjerg, K. (2021): *Normer for næringsstoffer*. 32. udgave. SEGES Gris.
- [9] Corrent, E., 2010. Personlig meddelelse om analyse på en delmængde af forsøgene i ovennævnte metaanalyse [2].
- [10] Sloth, N.M., P. Tybirk, Grove, S.S, Hougesen, A.S. og Sommer, H.M. 2021. Aminosyrebehov til maksimal proteinudnyttelse hos smågrise. [Meddelelse nr. 1244](#), Den rullende afprøvning, SEGES Gris.
- [11] Sloth, N.M., Krstrup, A.K., Stoltenberg Grove, S., Rønving, E., Tybirk, P., Bache, J.K., og Wilken, M., 2022. Fire protein- og fem aminosyreniveauer i foder til smågrise. [Meddelelse nr. 1263](#). SEGES Innovation, Den rullende Afprøvning.

Deltagere

Tekniker: Tommy Nielsen

Afprøvning nr. 1729

NAV nr.: 1134

//JAHP//

Dyregruppe: Smågrise
Fagområde: Ernæring
Nøgleord: Aminosyrer, tryptofan, lysin, tryptofan:lysin-forhold

Appendiks 1

Fodermiddelsammensætning og planlagt indhold af udvalgte næringsstoffer i de fire grundblandinger. Gruppe 1 fik udelukkende grundblanding nr. 101. Gruppe 5 fik udelukkende grundblanding nr. 105. Gruppe 21 fik udelukkende grundblanding nr. 121. Gruppe 25 fik udelukkende grundblanding nr. 125.

Analyseresultaterne på disse fire grundblandinger er vist i Appendiks 2.

Grundblanding nr.	101	105	121	125
- svarende til forsøgsgruppe	1	5	21	25
Vårbyg	15,00	15,00	15,00	15,00
Hvede	38,11	27,70	38,08	29,66
Rug	27,59	21,51	27,58	21,47
Sojaskrå	7,92	20,67	7,92	20,67
Fedt, teknisk 92/10	0,88	2,12	0,92	2,20
Mineralblanding (én til hver grundblanding) ¹	10,50	11,00	10,50	11,00
Indhold pr. FEsv				
Fordøjeligt protein	121	161	120	160
Fordøjeligt lysin	9,5	13,0	9,5	13,0
Fordøjeligt tryptofan	2,48	3,38	1,50	2,04
Fordøjeligt tryptofan:lysin, %	26,1	25,0	15,8	15,1
¹ Der blev – udover L-lysin, DL-methionin, L-treonin, L-tryptofan og L-valin – også anvendt de tre nyest EU-godkendte frie/krystallinske aminosyrer til brug i foder: L-isoleucin, L-leucin og L-histidin til at afstemme forsøgsfoderblandingerens indhold af disse aminosyrer i forhold til lysin i forhold til normsættet [8]. Disse tre aminosyrer blev stillet til rådighed af aminosyreproducenten METEX NOOVISTAGO / Animal Nutrition.				

Appendiks 2

Resultat af foderanalyserne på de fire grundblandinger

Grundblanding	Enhed	101				105				121				125			
		Forven- tet	Analy- seret	A:F,%	n	Forven- tet	Analy- seret	A:F,%	n	Forven- tet	Analy- seret	A:F,%	n	Forven- tet	Analy- seret	A:F,%	n
Råprotein	pct.	16,0	16,1	101%	21	20,8	20,7	100%	22	16,0	16,1	101%	22	20,7	20,7	100%	22
Råfedt	pct.	4,0	3,6	90%	21	4,8	4,4	91%	22	4,0	3,6	91%	22	4,8	4,3	89%	22
Aske	pct.	5,4	4,7	86%	21	6,0	5,3	88%	22	5,5	4,7	85%	22	6,0	5,3	89%	22
Vand	pct.	12,5	12,5	100%	21	12,5	12,5	100%	22	12,5	12,5	100%	22	12,5	12,5	100%	22
EFOS	pct.	88,2	90,0	102%	21	88,3	90,5	103%	22	86,5	90,2	104%	22	86,6	90,7	105%	22
EFOSi	pct.	80,9	84,9	105%	21	81,0	84,1	104%	22	81,0	85,0	105%	22	81,1	84,1	104%	22
FEsv	100 kg	112,3	113,14	101%	21	111,8	112,25	100%	22	112,3	113,37	101%	22	111,8	112,15	100%	22
Fytaseaktivitet	FTU/kg	1516	2116	140%	11	1509	2061	137%	11	1516	2080	137%	11	1509	1951	129%	11

Mineraler

Calcium	g/kg	6,7	8,0	119%	11	6,7	7,9	118%	11	6,7	7,9	117%	11	6,7	8,1	121%	11
Fosfor	g/kg	6,1	6,1	100%	11	6,0	6,0	99%	11	6,1	6,1	100%	11	6,0	6,0	100%	11
Natrium	g/kg		2,7		11		2,7		11		2,7		11		2,9		11
Kalium	g/kg		5,3		11		7,4		11		5,4		11		7,4		11
Magnesium	g/kg		1,3		11		1,7		11		1,3		11		1,7		11
Jern	mg/kg		377		11		429		11		385		11		456		11
Kobber	mg/kg		87		11		89		11		89		11		94		11
Mangan	mg/kg		81		11		82		11		79		11		84		11
Zink	mg/kg		164		11		159		11		156		11		166		11

Totalt aminosyreindhold, forventede og analyserede værdier

Lysin	g/kg	11,8	12,1	102%	21	16,1	16,1	100%	22	11,8	12,0	101%	22	16,1	16,2	101%	22
Methionin	g/kg	4,2	4,0	95%	11	5,6	5,4	95%	11	4,3	4,2	96%	11	5,6	5,4	95%	11
Cystin	g/kg	2,9	2,9	102%	11	3,4	3,4	99%	11	2,9	3,0	105%	11	3,4	3,4	100%	11
Threonin	g/kg	8,2	8,0	98%	21	10,8	10,4	97%	22	8,0	7,7	96%	22	10,8	10,5	98%	22
Tryptofan	g/kg	3,1	3,0	96%	21	4,1	4,0	97%	22	2,1	2,2	108%	22	2,7	2,8	102%	22
Isoleucin	g/kg	6,3	6,1	97%	21	8,5	8,2	97%	22	6,3	6,2	98%	22	8,5	8,2	97%	22
Leucin	g/kg	12,0	11,6	97%	21	15,8	15,2	96%	22	12,0	11,7	98%	22	15,8	15,1	96%	22
Histidin	g/kg	3,8	3,7	99%	21	5,0	4,7	94%	22	3,8	3,7	97%	22	5,0	4,8	95%	22
Fenylalanin	g/kg	7,9	7,7	98%	21	10,3	10,0	97%	22	7,9	7,8	98%	22	10,3	9,9	96%	22
Tyrosin	g/kg		5,3		21		6,8		22		5,3		22		6,8		22
Valin	g/kg	8,5	8,4	99%	21	11,3	11,1	98%	22	8,5	8,4	100%	22	11,3	11,1	98%	22
Alanin	g/kg		6,4		21		8,3		22		6,4		22		8,3		22
Arginin	g/kg		8,2		21		11,5		22		8,3		22		11,5		22
Asparaginsyre	g/kg		13,2		21		18,9		22		13,3		22		19,0		22
Glutaminsyre	g/kg		30,5		21		37,1		22		30,4		22		37,0		22
Glycin	g/kg		6,6		21		8,4		22		6,6		22		8,4		22
Prolin	g/kg		10,8		21		12,3		22		10,9		22		12,2		22
Serin	g/kg		7,5		21		9,8		22		7,5		22		9,7		22

Fordøjeligt indhold pr. FEsv (beregnet ud fra analyseresultaterne og beregnede fordøjelighedskoefficienter)

F. råprotein	g/FEsv	122	123	100%	21	163	161	99%	22	122	122	100%	22	162	161	100%	22
F. lysin	g/FEsv	9,5	9,6	101%	21	13,1	13,0	100%	22	9,5	9,5	100%	22	13,1	13,1	100%	22
F. methionin	g/FEsv	3,5	3,2	94%	11	4,8	4,5	95%	11	3,6	3,4	95%	11	4,8	4,5	94%	11
F. cystin	g/FEsv	2,2	2,2	101%	11	2,7	2,6	99%	11	2,2	2,3	104%	11	2,7	2,7	100%	11
F. met+cyst	g/FEsv	5,7	5,5	97%	11	7,4	7,1	96%	11	5,8	5,7	99%	11	7,4	7,2	96%	11
F. treonin	g/FEsv	6,3	6,1	97%	21	8,5	8,2	97%	22	6,2	5,9	95%	22	8,5	8,2	97%	22
F. tryptofan	g/FEsv	2,4	2,3	95%	21	3,3	3,2	97%	22	1,5	1,6	107%	22	2,0	2,1	102%	22
F. isoleucin	g/FEsv	4,8	4,6	96%	21	6,6	6,4	97%	22	4,7	4,6	97%	22	6,6	6,4	96%	22
F. leucin	g/FEsv	9,1	8,8	96%	21	12,4	12,0	96%	22	8,9	8,6	97%	22	12,2	11,7	96%	22
F. histidin	g/FEsv	2,9	2,8	98%	21	4,0	3,7	94%	22	2,9	2,8	96%	22	3,9	3,7	95%	22
F. fenylalan	g/FEsv	6,0	5,8	97%	21	8,0	7,7	96%	22	5,8	5,6	97%	22	7,7	7,4	96%	22
F. tyrosin	g/FEsv		4,0		21		5,3		22		3,8		22		5,1		22
F. fenyl+tyr	g/FEsv		9,8		21		13,0		22		9,5		22		12,4		22
F. valin	g/FEsv	6,4	6,3	98%	21	8,8	8,6	98%	22	6,4	6,3	99%	22	8,8	8,6	98%	22
F. tryptofan:lysin	pct.	25,2	23,7	94%	21	25,0	24,3	97%	22	15,7	16,8	107%	22	15,6	15,9	102%	22
F. isoleucin:lysin	pct.	51	48,2	95%	21	50	48,9	97%	22	50	48,0	96%	22	50	48,5	96%	22
F. leucin:lysin	pct.	96	91,1	95%	21	95	91,7	96%	22	94	90,5	96%	22	93	89,0	95%	22
F. histidin:lysin	pct.	31	29,6	97%	21	30	28,6	94%	22	30	28,9	96%	22	30	28,3	95%	22
F. fenylalan:lysin	pct.	63	59,9	96%	21	61	58,9	97%	22	61	58,8	97%	22	59	56,2	95%	22
F. valin:lysin	pct.	68	65,8	97%	21	67	65,9	98%	22	68	66,4	98%	22	67	65,5	97%	22

Forkortelser: A:F,% = Analyseret i % af Forventet; n = Antal analyser

Appendiks 3

Analyserede og beregnede værdier pr. gruppe

Sammenvejede analyseresultater ud fra antal analyser af grundblandingsprøver og foderautomat-samleprøver, alle 25 grupper.

Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
F lysin	9,6	10,4	11,2	12,1	13,0	9,6	10,4	11,2	12,2	13,0	9,6	10,4	11,3	12,2	13,1	9,5	10,4	11,2	12,1	13,1	9,5	10,4	11,3	12,2	13,0
F Tryptofan:Lysin	24%	24%	24%	24%	24%	22%	22%	22%	22%	22%	20%	20%	20%	20%	20%	19%	18%	18%	18%	18%	17%	17%	16%	16%	16%
<i>Gram pr. FESv</i>																									
F råprotein	123	132	142	152	161	123	133	142	152	161	123	132	142	152	161	124	132	142	151	161	123	132	142	151	161
F methionin	3,2	3,5	3,9	4,2	4,5	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	3,4	3,6	3,9	4,2	4,5	3,4	3,7	3,9	4,2	4,5
F met+cys	5,4	5,9	6,3	6,7	7,1	5,5	6,0	6,4	6,7	7,1	5,6	5,9	6,4	6,7	7,2	5,6	6,0	6,3	6,8	7,1	5,7	6,0	6,4	6,8	7,2
F treonin	6,2	6,6	7,1	7,7	8,1	6,1	6,6	7,1	7,7	8,1	6,0	6,5	7,1	7,6	8,2	6,0	6,5	7,1	7,6	8,2	5,9	6,4	7,0	7,6	8,2
F tryptofan	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1
F isoleucin	4,6	5,1	5,5	5,9	6,4	4,6	5,1	5,5	5,9	6,4	4,6	5,1	5,5	5,9	6,4	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4
F leucin	8,8	9,6	10,4	11,2	12,0	8,7	9,5	10,3	11,1	11,9	8,7	9,5	10,3	11,0	11,8	8,7	9,4	10,2	11,0	11,8	8,6	9,4	10,2	10,9	11,7
F histidin	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	2,8	3,0	3,2	3,5	3,7
F fenylalanin	5,8	6,2	6,7	7,2	7,7	5,7	6,2	6,7	7,1	7,6	5,7	6,1	6,6	7,1	7,5	5,7	6,1	6,5	7,0	7,5	5,6	6,1	6,5	6,9	7,4
F tyrosin	4,0	4,3	4,6	5,0	5,3	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	3,9	4,2	4,5	4,9	5,2	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	3,8	4,1	4,5	4,8	5,1
F fen+tyr	9,8	10,6	11,4	12,2	13,0	9,7	10,5	11,3	12,0	12,8	9,6	10,4	11,2	11,9	12,7	9,5	10,3	11,0	11,8	12,6	9,5	10,2	10,9	11,7	12,4
F valin	6,3	6,8	7,4	7,9	8,5	6,3	6,8	7,4	7,9	8,5	6,3	6,8	7,4	7,9	8,5	6,3	6,8	7,3	7,9	8,5	6,2	6,8	7,4	7,9	8,5
<i>Fordøjelige aminosyrer i % af fordøjeligt lysin</i>																									
F methionin	34%	34%	34%	34%	34%	34%	35%	35%	34%	35%	35%	34%	35%	34%	34%	35%	35%	35%	35%	34%	36%	35%	35%	35%	34%
F met+cys	57%	56%	56%	55%	55%	57%	57%	57%	55%	55%	58%	57%	56%	55%	55%	59%	57%	57%	56%	55%	59%	58%	57%	56%	55%
F treonin	65%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	62%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	62%	63%	63%	63%	62%	62%	62%	63%	63%
F tryptofan	24%	24%	24%	24%	24%	22%	22%	22%	22%	22%	20%	20%	20%	20%	20%	19%	18%	18%	18%	18%	17%	17%	16%	16%	16%
F isoleucin	48%	49%	49%	49%	49%	48%	49%	49%	49%	49%	48%	49%	49%	49%	49%	48%	48%	49%	49%	49%	48%	48%	49%	49%	49%
F leucin	92%	92%	93%	92%	92%	91%	92%	92%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	90%	91%	91%	91%	90%	90%	91%	90%	90%	90%	90%
F histidin	30%	30%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	28%	29%	29%	29%	29%	28%	29%	29%	29%	29%	28%
F Fenylalanin	60%	60%	60%	59%	59%	60%	60%	59%	58%	58%	60%	59%	59%	58%	58%	59%	59%	58%	58%	57%	59%	58%	58%	57%	57%
F Fen+Tyr	102%	102%	101%	100%	100%	101%	101%	100%	99%	99%	100%	100%	99%	98%	97%	100%	99%	99%	97%	96%	99%	98%	97%	96%	95%
F Valin	66%	66%	66%	66%	65%	66%	66%	66%	65%	65%	65%	66%	65%	65%	65%	66%	66%	66%	65%	65%	66%	65%	65%	65%	65%
<i>Procent af den såkaldte "idealprotein-profil" for smågrise. Idealproteinprofilen angiver f.eks. at isoleucin skal udgøre 53% af lysin, leucin skal udgøre 100% af lysin og histidin 32% af lysin</i>																									
Iso, "profil-%"	91%	92%	93%	92%	93%	91%	92%	92%	92%	92%	91%	92%	92%	92%	92%	91%	91%	93%	92%	92%	91%	91%	92%	92%	92%
Leu, "profil-%"	92%	92%	93%	92%	92%	91%	92%	92%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	90%	91%	91%	91%	90%	90%	91%	90%	90%	90%	90%
His, "profil-%"	93%	92%	92%	90%	90%	92%	91%	91%	90%	89%	92%	92%	90%	90%	89%	91%	91%	91%	90%	89%	90%	90%	90%	89%	89%
Val, "profil-%"	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	97%	98%	98%	98%	97%	98%	97%	99%	98%	98%	98%	97%	98%	97%	98%	97%	98%

Appendiks 4

Produktionsresultater pr. gruppe

Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
F Lysin, g/FEsv ¹	9,6	10,4	11,2	12,2	13,0	9,6	10,4	11,2	12,2	13,0	9,6	10,4	11,2	12,2	13,0	9,6	10,4	11,2	12,2	13,0	9,6	10,4	11,2	12,2	13,0
F tryptofan:lysin, % ²	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
F tryptofan	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1
Antal stier pr. gruppe	26	25	27	26	27	27	25	26	25	26	26	27	26	26	26	26	26	26	26	25	27	25	26	28	27
Antal indsatte grise	1592	1504	1653	1589	1691	1683	1528	1545	1522	1594	1598	1662	1589	1574	1608	1600	1606	1581	1594	1525	1677	1506	1638	1724	1652
Antal afgang	1497	1425	1548	1433	1572	1577	1434	1423	1393	1473	1504	1561	1475	1440	1481	1512	1507	1444	1443	1409	1566	1398	1518	1578	1513
Vægt v. indsættelse, kg	6,9	6,8	6,5	6,7	6,8	6,7	6,8	6,7	6,9	6,7	6,8	6,7	6,6	6,5	6,8	6,8	6,8	6,6	6,9	6,6	6,7	6,5	6,9	6,7	6,6
Vægt v. afgang, kg	23,7	24,9	24,7	26,0	26,9	22,6	24,5	25,2	26,5	26,9	22,8	23,9	24,6	25,0	26,6	23,0	24,3	24,8	26,0	26,1	22,2	22,9	24,9	25,3	26,1
LSmeans-værdier: ³																									
Foderoptagelse, FEsv/dag	0,83	0,88	0,86	0,86	0,86	0,82	0,86	0,86	0,85	0,86	0,82	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82	0,85	0,84	0,83	0,84	0,81	0,82	0,83	0,81	0,83
Daglig tilvækst, g/dag	469	504	528	539	560	448	501	521	538	565	450	490	521	533	552	453	492	512	530	548	441	476	498	513	545
Foderudnyttelse, FEsv/kg tilv.	1,80	1,74	1,65	1,60	1,53	1,83	1,72	1,64	1,56	1,52	1,83	1,72	1,63	1,59	1,54	1,81	1,72	1,64	1,56	1,52	1,83	1,73	1,65	1,57	1,53
Produktionsværdi, indekstal	54	72	98	113	132	46	76	98	120	138	47	71	100	113	129	50	73	96	119	134	48	69	90	112	130
Dækningsbidrag, indekstal	82	87	97	98	102	76	91	97	103	107	79	87	100	100	104	80	90	98	106	107	79	87	95	102	106
Beregnet med den funktionstype, der passede bedst til data: ⁴																									
Foderoptagelse, FEsv/dag	0,86	0,86	0,87	0,86	0,84	0,85	0,86	0,86	0,85	0,84	0,84	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,84	0,84	0,83	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,81
Daglig tilvækst, g/dag	467	499	527	549	563	461	493	520	543	557	455	487	514	537	551	449	482	509	531	546	443	476	503	525	540
Foderudnyttelse, FEsv/kg tilv.	1,83	1,73	1,65	1,57	1,52	1,83	1,73	1,65	1,57	1,52	1,83	1,73	1,65	1,57	1,52	1,83	1,73	1,65	1,57	1,52	1,83	1,73	1,65	1,57	1,52
Produktionsværdi, kr. pr. gris pr. dag	0,49	0,70	0,90	1,09	1,24	0,48	0,69	0,89	1,08	1,23	0,47	0,68	0,88	1,07	1,22	0,46	0,67	0,87	1,06	1,21	0,45	0,66	0,86	1,05	1,20
Produktionsværdi, indekstal	55	80	102	124	141	54	79	101	122	140	53	77	100	121	139	52	76	99	120	138	51	75	98	119	136
Dækningsbidrag, kr. pr. gris pr. dag	0,77	0,87	0,94	0,99	1,02	0,77	0,87	0,95	1,00	1,02	0,78	0,88	0,95	1,00	1,02	0,78	0,88	0,96	1,01	1,03	0,79	0,88	0,96	1,01	1,03
Dækningsbidrag, indekstal	81	91	99	105	107	81	92	100	105	107	82	92	100	105	108	82	93	100	106	108	83	93	101	106	108

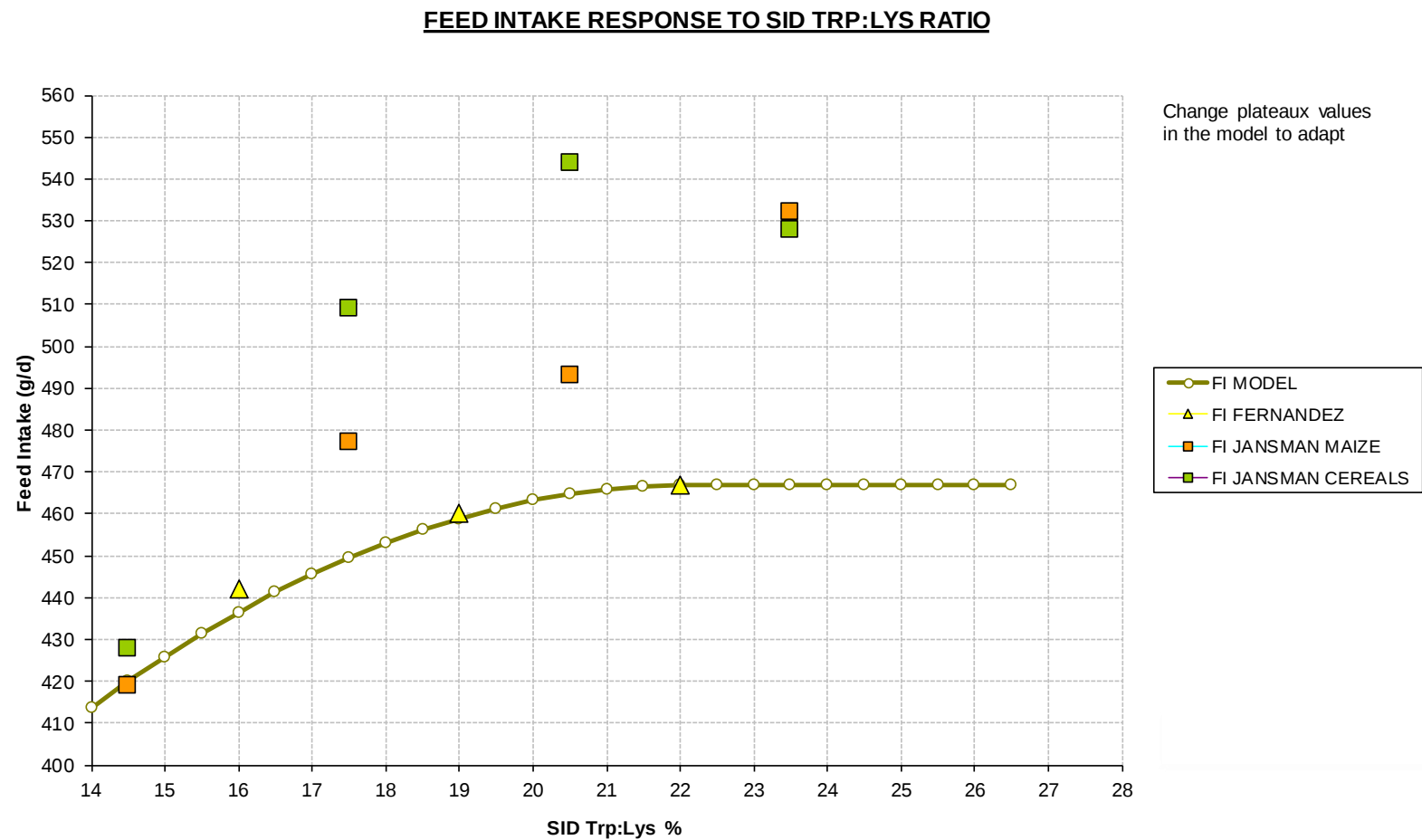
¹ Gns. lysinindhold for hver af de fem afprøvede lysinniveauer (9,6; 10,4; 11,2; 12,2 og 13 g/FEsv) ² Gns. tryptofan:lysin-forhold for hver af de fem afprøvede niveauer (16,4; 18,3; 20,2; 22,2 og 24,2 % Trp:Lys)

³ Produktionsresultaterne er korrigeret for de forskelle i indsættelsesvægt, der var mellem grupperne, ved at benytte LSmeans-værdier

⁴ Beregningsinput: Gennemsnitlig indsættelsesvægt for alle grupper (6,7 kg), gram lysin pr. FEsv og procent tryptofan i procent af lysin

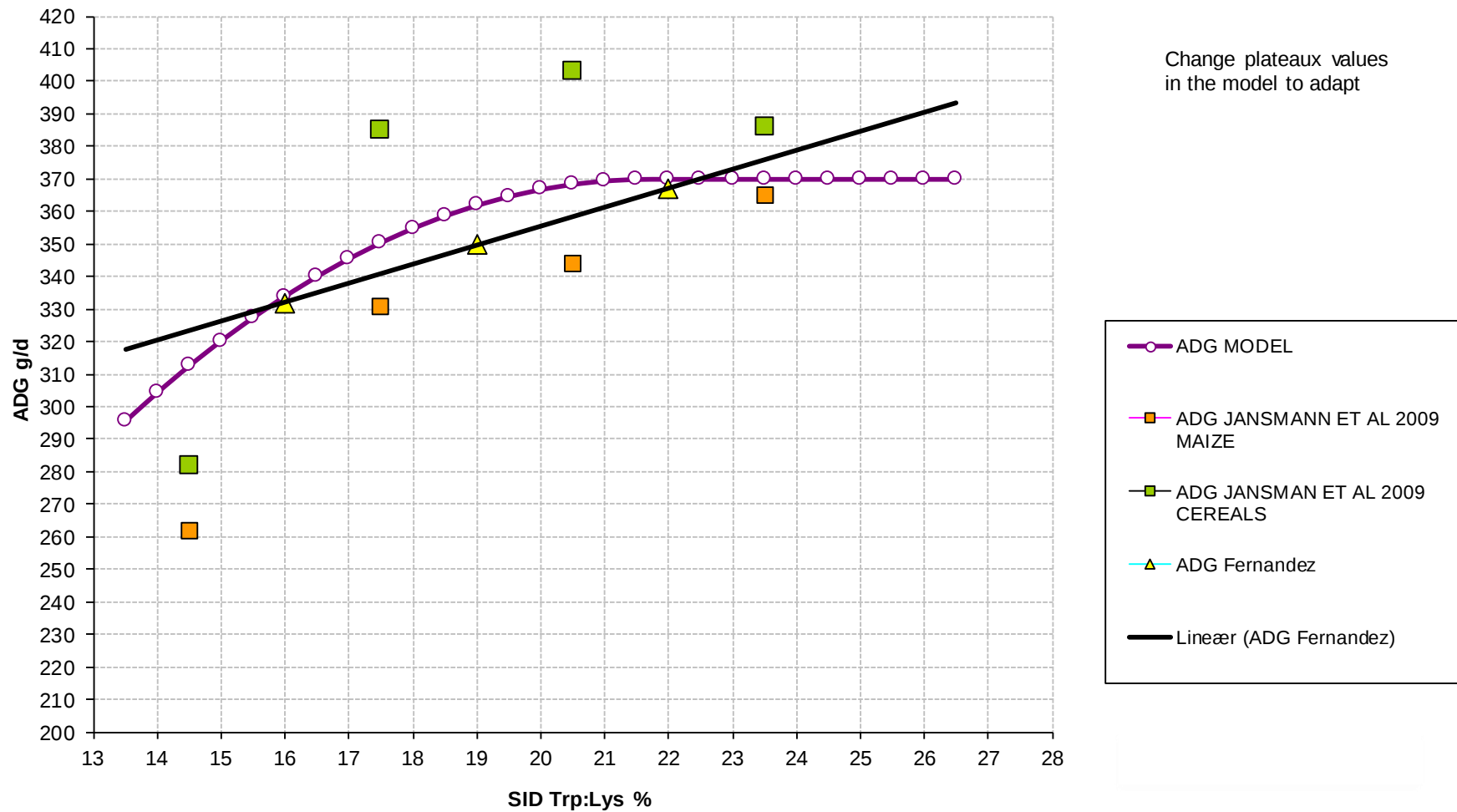
Appendiks 5

Responskurver (tryptofan:lysin, %) fra Simongiovanni et al. 2011 [2]



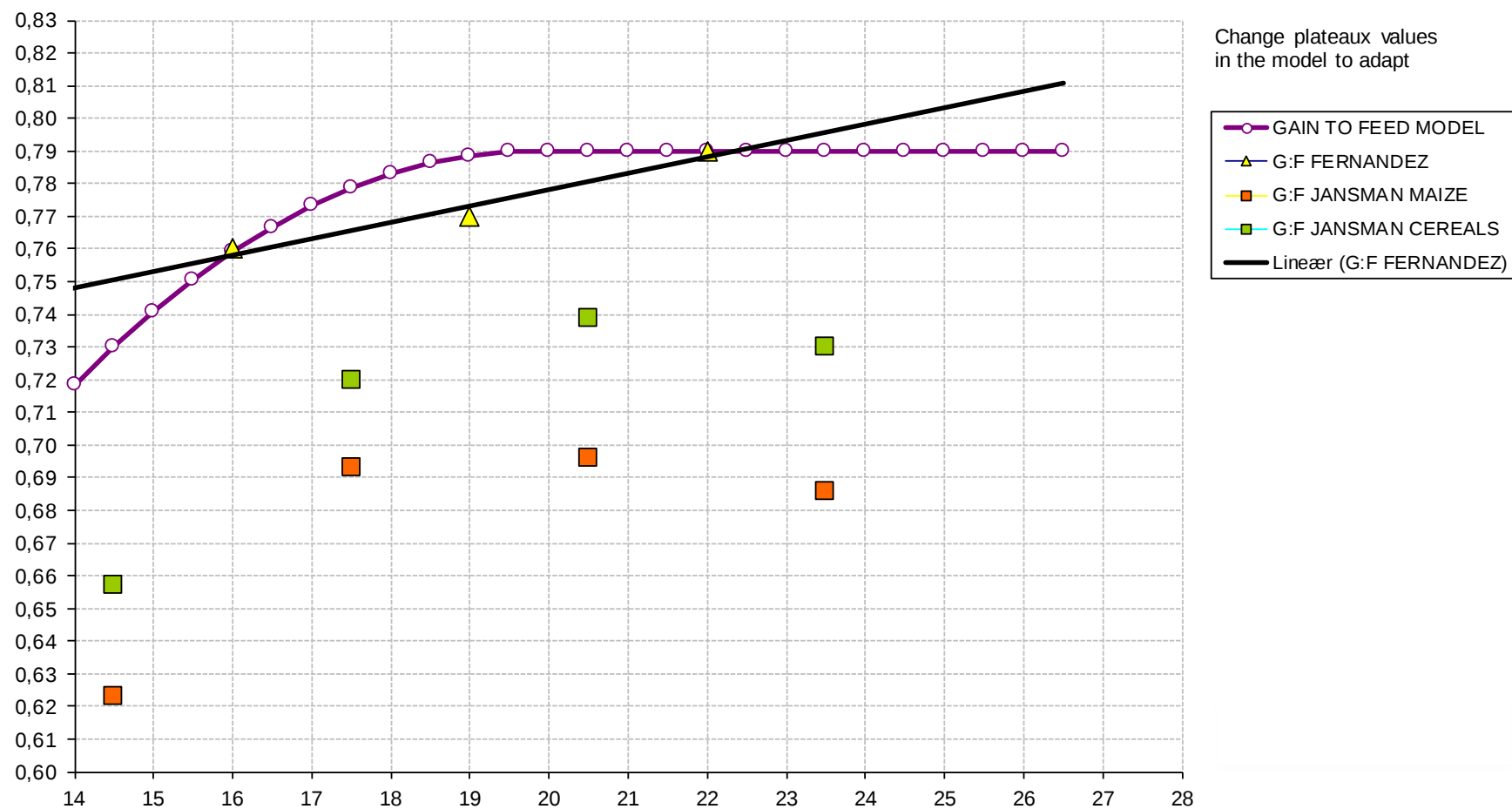
Figur A1. Effekt af % fordøjeligt Tryptofan:Lysin (x-akse) på foderoptagelse (y-akse: g foder pr. dag). Toppunkt: 22,2 % Trp:Lys.

ADG RESPONSE TO SID TRP:LYS RATIO



Figur A2. Effekt af % fordøjeligt Tryptofan:Lysin (x-akse) på **daglig tilvækst** (y-akse: g daglig tilvækst). Toppunkt: 21,6 % Trp:Lys.

GAIN TO FEED RESPONSE TO SID TRP:LYS RATIO



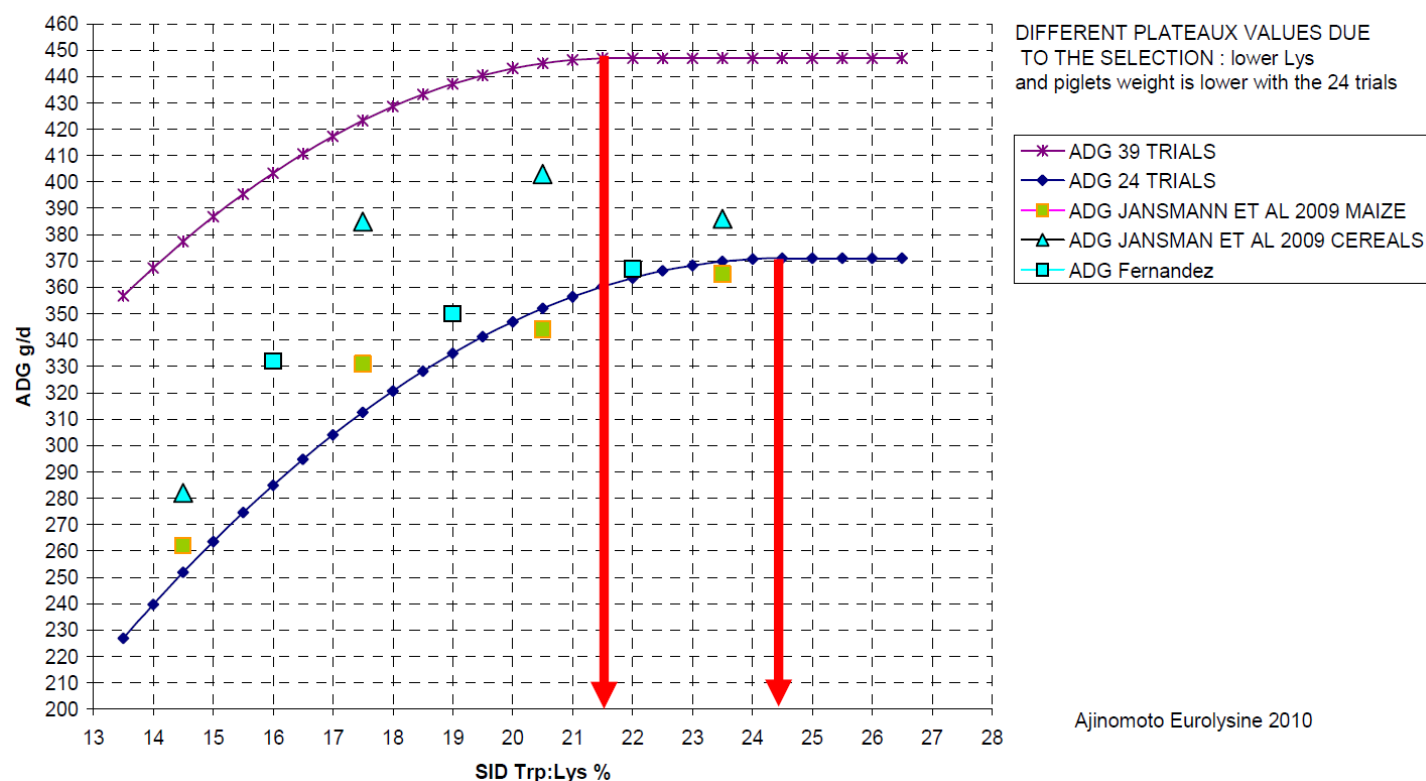
Figur A3. Effekt af % fordøjeligt Tryptofan:Lysin (x-akse) på **foderudnyttelse** (y-akse: kg tilvækst pr. kg foder). Toppunkt: 19,7 % Trp:Lys.

Appendiks 6

Effekt af at udvælge forsøg, hvor lysin er mest begrænsende ved smågrise

Effekt af at udvælge de 24 forsøg (ud af metaanalysens i alt 39 forsøg [2]), hvor lysin er mest begrænsende, ses i Figur A4, hvor den røde lodrette pil længst til højre angiver, at daglig tilvækst ved smågrise maksimeres ved 24,5 % Trp:Lys (lodret pil længst til højre) [9] i stedet for ved 21,6 % Trp:Lys (lodret rød pil til venstre), hvor alle 39 forsøg er medtaget.

ADG RESPONSE TO TRP:LYS RATIO ACCORDING TO TWO SELECTIONS OF TRIALS



Figur A4. Effekt af % fordøjeligt Tryptofan:Lysin (x-akse) på **daglig tilvækst** (y-akse). Toppunkter: 21,6 og 24,5 % Trp:Lys. Den lodrette pil længst til højre viser, hvor lysin er mest begrænsende.