



Fordøjeligheden af fosfor i foderfosfater og kødbenmel bestemt efter regressions- metoden

*Phosphorus digestibility in phosphates
and meat and bone meal*

Hanne Damgaard Poulsen

STATENS HUSDYRBRUGSFORSØG

**Forskningscenter Foulum, Postboks 39, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19**

**Forskningscenter Bygholm, Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80**

Statens Husdyrbrugsforsøg har til formål at gennemføre forskning samt indsamle og opbygge viden af betydning for erhvervsmæssigt husdyrbrug og jordbrugsteknik i Danmark. I forskningen skal der lægges vægt på ressourceudnyttelse, dyrevelfærd, internt og eksternt miljø, produkternes kvalitet og konkurrenceevne samt en hurtig og sikker formidling af resultaterne til brugere.

Institutionen er opdelt i fem forskningsafdelinger samt et Centrallaboratorium, en Afdeling for Landbrugsdrift og et Sekretariat. Forskningsafdelingerne omfatter tre dyreartsorienterede afdelinger: Afd. for Forsøg med Kvæg og Får, Afd. for Forsøg med Svin og Afd. for Mindre Husdyr samt to tværdisciplinære afdelinger: Afd. for Dyrefysiologi og Biokemi samt Afd. for Jordbrugsteknik.

Husdyrforskningen finder fortrinsvis sted på Forskningscenter Foulum, mens den jordbrugstekniske forskning udføres på Forskningscenter Bygholm. Herudover har institutionen adgang til en række privat-/organisationsejede forsøgsstationer m.m.

Forskningsresultaterne publiceres i internationale videnskabelige tidsskrifter samt i publikationer udgivet af Statens Husdyrbrugsforsøg. Abonnement på Årsrapporter, Forskningsrapporter, Beretninger og Informationsblad kan tegnes ved direkte henvendelse til ovenstående adresse.

NATIONAL INSTITUTE OF ANIMAL SCIENCE

**Research Centre Foulum, P.O. Box 39, DK-8830 Tjele
Tel. +45 89 99 19 00. Fax +45 89 99 19 19**

**Research Centre Bygholm, P.O. Box 536, DK-8700 Horsens
Tel. +45 75 60 22 11. Fax +45 75 62 48 80**

The aim of the National Institute of Animal Science is to carry out research and accumulate knowledge of importance to animal husbandry and agricultural engineering. In the research great importance is attached to the utilization of resources, environment, animal welfare and to the quality and competitiveness of the agricultural products and a rapid and efficient dissemination of the results to the users.

The institute comprises five research departments: Dept. for Research in Cattle and Sheep, Dept. for Research in Pigs, Dept. for Small Farm Animals, Dept. for Animal Physiology and Biochemistry, and Dept. for Agricultural Engineering. Service departments include a Central Laboratory, a Department for Farm Management and Services, and a Secretariat.

The technical research takes place at Research Centre Bygholm. The research departments for animal sciences together with management and service departments are located at Research Centre Foulum.

Research results are published in international scientific journals and in publications from the National Institute of Animal Science. For subscription to reports and other publications please contact the above address directly.

Forskningsrapport nr. 34
fra Statens Husdyrbrugsforsøg

Report No. 34

from the National Institute of Animal Science, Denmark

Fordøjeligheden af fosfor i foderfosfater
og kødbenmel bestemt efter regressions-
metoden

*Phosphorus digestibility in phosphates and meat
and bone meal*

With English summary and subtitles

Hanne Damgaard Poulsen

Forskningscenter Foulum 1995

Manuskriptet afleveret juli 1995

Trykt i Frederiksberg Bogtrykkeri a.s 1995

Indholdsfortegnelse

Sammendrag	5
Summary	6
1 Indledning	7
2 Materiale og metoder	7
2.1 Forsøgsdesign	7
2.2 Registreringer og analyser	9
2.3 Statistiske metoder	10
3 Resultater	10
4 Diskussion	14
5 Konklusion	17
6 Anerkendelser	18
7 Referencer	19

Contents

Danish summary	5
English summary	6
1. Introduction	7
2. Materials and methods	7
2.1 Experimental design	7
2.2 Registrations and chemical analyses	9
2.3 Statistical methods	10
3. Results	10
4. Discussion	14
5. Conclusion	17
6. Acknowledgements	18
7. References	19

Sammendrag

Formålet med det gennemførte projekt var at fastlægge nettoabsorptionen, aflejringen og udnyttelsen af fosfor hos svin med henblik på at beskrive fosforfordøjeligheden i 7 forskellige foderfosfater og i kødbenmel.

I forsøget blev anvendt en semi-syntetisk foderblanding, hvori fosforindholdet var lavt (1,5 g/kg). På grundlag heraf blev der for hver af de 8 fosforkilder lavet 5 forsøgsblandinger med stigende indhold af fosfor. Fosfortildelingen blev tilstræbt primært at ligge indenfor det doseringsområde, hvor fosforaflejringen var stigende. Calciumindholdet blev i alle blandinger holdt konstant på omkring 6 g/kg. For hver fosforkilde indgik 6 kuld á 5 sogrise, som blev opstaldet i balancebure ved en vægt på 41 kg. Efter en tilvænningsperiode på 5 dage, blev gødning og urin opsamlet i 7 dage. På grundlag af kemiske analyser af foder, gødning og urin blev grisenes fosforbalance fastlagt.

Der fandtes en lineær sammenhæng mellem fosforindtaget og nettoabsorptionen af fosfor, hvorefter fordøjelighedskoefficienten for fosfor i de enkelte kilder blev bestemt v.h.a. regressionsanalyser. Resultaterne viste, at grise ikke udnyttede det fosfor, der fandtes i de 8 undersøgte kilder, lige godt. Fosfor fordøjedes bedst i BOLIFOR MSP,

KEMIRA (mononatriumfosfat) med 79% efterfulgt af MODICAL 21.8, TESSENDERLO CHEMIE (monocalciumfosfat, monohydrat) med 72%; BOLIFOR DCPG, KEMIRA (monocalciumfosfat) med 65%; MOCALPHOS, WINDMILL HOLLAND, (monocalciumfosfat) med 64%; DICAL 18, TESSENDERLO CHEMIE (dicalciumfosfat, dihydrat) med 59%; kødbenmel, DAKA, LØS-NING med 54%; BOLIFOR DCP, KEMIRA (dicalciumfosfat, dihydrat) med 52% og Ca-Na PHOSPHATE, MONSANTO (defluoriseret fosfat) med 50%.

De fundne fordøjelighedskoefficienter er generelt lavere end tidligere koefficienter fundet i ældre hollandske forsøg, hvorimod resultaterne er bedre i overensstemmelse med de nyeste hollandske og andre danske resultater. Årsagen til afvigelserne i resultaterne skal formentlig søges i grundlæggende forskelle i forsøgsdesign samt i grundfoderets sammensætning, herunder calciumindhold.

Forsøget viser, at det er muligt at påvirke totalindholdet af fosfor i foderblandinger uden, at indholdet af fordøjeligt fosfor nedsættes. Dette forhold kan bruges ved foderoptimeringen med henblik på at forbedre fosforudnyttelsen og nedbringe fosforudledningen.

Nøgleord: fosfor, balanceforsøg, svin, nettoabsorption, fordøjelighed, fosfatkilder, kødbenmel

Summary

The aim of the study was to determine the net absorption, retention and excretion of phosphorus in pigs in order to establish the apparent digestibility of phosphorus in 7 feed phosphates and in meat and bone meal. The basic diet was a semi synthetic diet with a low phosphorus content (1.5 g/kg). Based on this diet 5 experimental diets with increasing phosphorus content were mixed for each of the 8 phosphate sources. The phosphorus supplement was planned to lie in the interval resulting in increased retention. Furthermore, the dietary calcium content was planned to be constant (6 g/kg). The study comprised 6 litters of 5 female pigs for each phosphorus source. At a body weight of 41 kg the pigs were placed in stain-less steel metabolic cages, and after 5 days of adaptation faeces and urine were collected for 7 days. Based on chemical analyses of diets, faeces and urine the pigs phosphorus balance was determined.

A linearity between phosphorus intake and net absorption was found, and based on this regression the apparent phosphorus digestibility was determined for each phosphate source. The results revealed that the digestibility of phosphorus differed among the 8 sources: BOLIFOR MSP, KEMIRA (monosodium phosphate) - 79%; MODICAL 21.8, TES-

SENDERLO CHEMIE (monocalcium phosphate, monohydrate) - 72%; BOLIFOR DCPG, KEMIRA (monocalcium phosphate) - 65%; MOCALPHOS, WINDMILL, Holland (monocalcium phosphate) - 64%; DICAL 18, TESSENDERLO CHEMIE (dicalcium phosphate, dihydrate) - 59%; meat and bone meal, DAKA, LØSNING - 54%; BOLIFOR DCP, KEMIRA (dicalcium phosphate, dihydrate) - 52%, and Ca-Na PHOSPHATE, MONSANTO (defluorinated phosphate) - 50%.

The present figures on apparent phosphorus digestibility are generally lower compared to findings in f.ex. the early Dutch studies, but they are in better agreement with the newest Dutch results and former Danish studies. The discrepancy among studies may be due to basic differences in experimental design and due to differences in the basic diets including the calcium content.

The present study shows that it is possible to affect the content of total phosphorus in the diet without decreasing the dietary content of digestible phosphorus. This fact should be used to improve the utilization of phosphorus and to reduce the excretion of phosphorus.

Keywords: phosphorus, pigs, balance experiment, apparent digestibility, phosphate source, meat and bone meal

1 Indledning

I bestræbelserne på at fastlægge grisenes behov for fosfor og dermed mulighederne for at begrænse fosforudledningen fra svineproduktionen er det nødvendigt at kende tilgængeligheden af fosfor ikke alene i foderkomponenterne men også i de fosfatkilder, der bruges, når foderets grundindhold er for lille til at dække grisenes fosforbehov. Tidligere undersøgelser har vist, at fosforfordøjeligheden varierer for de forskellige kilder (Grim-

bergen et al., 1985; Jongbloed, 1987; Oksbjerg & Fernandez, 1987; Dellaert et al., 1990; Cromwell, 1989, 1992; Jongbloed et al., 1991; Walz & Paltauf, 1993; Coffey et al., 1994).

Formålet med det gennemførte forsøg var ved hjælp af regressionsmetoden at beskrive fordøjeligheden af fosfor i en række foderfosfater på det danske marked.

2 Materiale og metoder

2.1 Forsøgsdesign

Der blev i forsøget anvendt 7 uorganiske foderfosfater og én type kødbenmel, i alt 8 kilder, således at forsøget omfattede i alt 8 delforsøg. De 8 undersøgte kilders type, sammensætning, fabrikat og deklarerede indhold er vist i tabel 1.

I hvert af de 8 delforsøg blev der anvendt 6 kuld á 5 sogrise, som blev fodret med et grundfoder, der var sammensat så indholdet af fosfor var lavt (1,5 g/kg). Grundfoderets procentvise sammensætning er vist i tabel 2. Foderet blev sammensat således, at grisenes behov for alle næringsstoffer undtagen calcium og fosfor blev opfyldt.

I hvert delforsøg fik grisene indenfor kuld stigende tilskud af den undersøgte fosfatkilde. Ved tilsæt-

ningen af de enkelte kilder blev calciumindholdet justeret v.h.a. kridt til 6 g/kg foder uanset fosforniveau. Fosfortildelingen blev tilstræbt primært at ligge indenfor det doseringsområde, hvor fosforaflejringen er stigende. Grisene indgik i forsøget ved en vægt på 40 kg og blev opstaldet i opsamlingsbure, hvor de fik tildelt forsøgsfoderet i en tilpasningsperiode på 5 dage. Herefter blev isat urinkatetre, og gødning og urin blev opsamlet i 7 dage. For at undgå foderrester blev grisene fodret restriktivt (1400 g/dag). De daglige tildelte mængder af fosfor og calcium er angivet i tabel 3.

Tabel 1 De undersøgte fosfatkilder, produktoplysninger og deklarerede indhold^{*)}*The examined phosphate sources and information on the products*

Kilde <i>Source</i>	Handelsnavn <i>Trade name</i>	Art <i>Description</i>	Producent <i>Producer</i>	Fosfor % <i>Phosphorus, %</i>	Calcium % <i>Calcium %</i>	Type <i>Type</i>
1	BOLIFOR DCPG**)	monocalciumfosfat	KEMIRA	17,5	22	granulat
2	Ca-Na-PHOSPHATE	defluoriseret fosfat	MONSANTO	18	30	granulat
3	DICAL 18	dicalciumfosfat, dihydrat	TESSENDERLO CHEMIE	18,2	25	pulver
4	MOCALPHOS	monocalciumfosfat	WINDMILL HOLLAND	22,7	16,2	granulat
5	BOLIFOR DCP	dicalciumfosfat, dihydrat	KEMIRA, HELSINGBORG	18	25,5	pulver
6	BOLIFOR MSP	mononatriumfosfat	KEMIRA	24,0	-	granulat
7	MODICAL 21.8	monocalciumfosfat (monohydrat)	TESSENDERLO CHEMIE	22,0	22,0	granulat
8	KØDBENMEL	40% råprotein, askerigt	DAKA, LØSNING	7,9	16,6	

^{*)} leveret af Løven Agro (kilde 1 og 6), Dankalk A/S (kilde 2), KFK (kilde 3 og 4), FAF (kilde 5), Vitfoss (kilde 7) og P.P. Hedegaard (kilde 8)/*delivered by Løven Agro (source 1 and 6), Dankalk A/S (source 2), KFK (source 3 and 4), FAF (source 5), Vitfoss (source 7), and P.P. Hedegaard (source 8)*

^{**)} nyt handelsnavn BOLIFOR MCP 17,5/new trade name *BOLIFOR MCP 17.5*

Tabel 2 Grundfoderets procentvise sammensætning/Composition of the basic diet, %

	%
Byg/barley	5,0
Hvede/wheat	5,0
Sojaskrå/soybean meal	5,0
Kasein/casein	8,0
Kartoffelprotein/potato protein	7,0
Sojaolie/soybean oil	2,0
Druesukker/glucose	33,6
Fodersukker/saccharose	33,7
Salt/sodium chloride	0,2
Methionin, 40%/methionine, 40%	0,3
Vit./min. blanding*/vit./min. premix	0,2
<u>Beregnet indhold/ calculated content:</u>	
FES/kg/FUp/kg	1,26
<u>Pr. FES/per FUp:</u>	
g ford. protein/g digest. protein	113
g fosfor/g phosphorus	1,1
g calcium/g calcium	0,4

*) Pr. kg foder/per kg diet: 50 mg Fe, 80 mg Zn, 27,7 mg Mn, 20 mg Cu, 0,2 mg J, 0,3 mg Se, 60 mg α -tokoferol, 2,2 mg K₃, 2,2 mg B₁, 4 mg B₂, 3,3 mg B₆, 11 mg D-pantotensyre, 22 mg niacin, 0,06 mg biotin, 0,02 mg B₁₂, 4400 IU vit. A, 1000 IU vit. D₃.

Tabel 3 Tildeling af de enkelte kilder, g foderfosfat/dag/feed amount, g feed phosphates per day

Gris nr./ pig no.	1	2	3	4	5
Kilde/source	g/dag / g per day				
1 BOLIFOR DCPG	2,67	8,89	15,1	21,3	27,6
2 Ca-Na-PHOSPHATE	3,28	10,9	18,6	26,2	33,9
3 DICAL 18	2,71	9,05	15,4	21,7	28,1
4 MOCALPHOS	2,20	7,32	12,4	17,6	22,7
5 BOLIFOR DCP	2,59	8,64	14,7	20,7	26,8
6 BOLIFOR MSP	1,75	5,83	9,92	14,0	18,1
7 MODICAL 21,8	2,73	9,09	15,5	21,8	28,2
8 KØDBENMEL	6,65	22,2	37,7	53,2	68,7

2.2 Registreringer og analyser

Grisenes vægt ved start og slutning af opsamlingsperioden blev registreret. Mængden af produceret gødning og urin blev ligeledes registreret, og der blev udtaget repræsentative prøver til analyse.

Grundfoderet blev analyseret for tørstof, aske, kvælstof, fedt, energi, calcium og fosfor, fytatbundet fosfor samt fytaseaktivitet, og fosforkilderne blev analyseret for indhold af fosfor og calcium.

Foder og gødning blev analyseret for tørstof, aske,

kvælstof, trøstof, energi, calcium og fosfor. Endvidere blev indholdet af fytatbundet fosfor og aktiviteten af fytase i foderblandingerne bestemt. Urin blev analyseret for kvælstof, calcium og fosfor.

På basis af analyseresultaterne blev der for fosfor og calcium bestemt en række specifikke egenskaber: daglig aflejring, udskillelse og nettoabsorption (=tilsyneladende fordøjet mængde = aflejring + udskillelse med urin).

2.3 Statistiske metoder

Den statistiske analyse blev gennemført ved hjælp af standardprogrammer (SAS, 1989). Beregning af fosforfordøjeligheden blev gennemført ved hjælp af regressionsanalyser efter følgende model:

$$Y_{ijk} = b_{0jk} + b_{1jk} * x_{ijk} + e_{ijk}, \text{ hvor}$$

ijk = den i 'te gris i det j 'te kuld for den k 'te kilde ($i = 1..5, j = 1..6, k = 1..8$)

Y_{ijk} = den mængde fosfor, der nettoabsorberes pr. dag

x_{ijk} er den mængde fosfor, der tildeles pr. dag

b_{0jk} er interceptet

b_{1jk} er fordøjeligheden af fosfor d.v.s. den del af den tildelte mængde, der nettoabsorberes

e_{ijk} er den tilfældige restvariation, der antages at være uafhængig og $N(0, \sigma^2)$

Denne analyse gav ét sæt af b_0 og b_1 estimater for hvert kuld, i alt 48 sæt. På grundlag af de opnåede

estimer for b_1 blev fosfors fordøjelighed bestemt for hver fosforkilde v.h.a. følgende model.

$$b_{1jk} = \text{kilde}_k + e_{jk}, \text{ hvor}$$

jk = det j 'te kuld i den k 'te kilde ($j = 1..6, k = 1..8$)

kilde_k = kilde k ($k=1..8$)

e_{jk} = den tilfældige restvariation, der antages at være uafhængig og $N(0, \sigma^2)$

Desuden blev de tilpassede 8 regressionsligninger - én for hver fosforkilde - testet for lack of fit (Weisberg, 1985). Denne test viste, at for alle 8 kilder kunne de opnåede estimater for nettoabsorberet fosfor beskrives som en lineær funktion af fosforindtaget inden for det aktuelle doseringsområde.

3 Resultater

De undersøgte fosfatkilders analyserede indhold af fosfor og calcium er vist i tabel 4, hvoraf det

fremgår, at det analyserede indhold stort set var i overensstemmelse med de deklarerede værdier.

Tabel 4 Foderfosfaternes analyserede indhold af fosfor (P) og calcium (Ca), % af tørstof/
Analysed content of phosphorus (P) and calcium (Ca), % of dry matter

Kilde/source	tørstof, %/dry matter, %	P, %	Ca, %
1 BOLIFOR DCPG	97	17	20
2 Ca-Na-PHOSPHATE	100	18	31
3 DICAL 18	98	19	25
4 MOCALPHOS	98	20	15
5 BOLIFOR DCP	98	18	25
6 BOLIFOR MSP	100	24	-
7 MODICAL 21.8	98	21	20
8 KØDBENMEL	94	7,6	15

I tabel 5 er angivet grundfoderets kemiske sammensætning, og det fremgår, at grundfoderets

indhold af fosfor og calcium som planlagt var lille. Endvidere fremgår det, at der ikke kunne påvises fytaseaktivitet i blandingen.

Tabel 5 Grundfoderets kemiske sammensætning/Chemical composition of the basic diet

Tørstof, %/dry matter, %	93,7	(1,9)
<u>% af tørstof/per cent of dry matter:</u>		
Råprotein/crude protein	17,5	(0,1)
Fedt/fat	3,4	(0,3)
Træstof/crude fibre	0,9	(0,1)
Aske/ash	1,4	(0,04)
Fosfor/phosphorus	0,16	(0,009)
Calcium/calcium	0,06	(0,004)
Fytat-P/phytate P	0,03	(0,009)
Fytase/phytase	*)	

*) Under detektionsgrænsen (Boisen, 1987)/not detected (Boisen, 1987)

Forsøgsgrisene vejede ved forsøgets start 41,0 kg (std.=2,3 kg) og ved afslutningen 48,1 kg (std.=2,7 kg), og foderets energikoncentration blev forsøgs-mæssigt bestemt til 1,28 FEs/kg (std.= 0,01 FEs/kg), hvilket er i overensstemmelse med det beregnede indhold.

Resultaterne for nettoabsorberet fosfor, aflejret

Tabel 6 Fordøjelighedskoefficienter for de undersøgte fosfatkilder/phosphorus digestibility in the examined sources

Kilde/source	Fordøjelighed, %/digestibility, %
1 BOLIFOR DCPG	65 (5)*
2 Ca-Na-PHOSPHATE	50 (5)
3 DICAL 18	59 (5)
4 MOCALPHOS	64 (5)
5 BOLIFOR DCP	52 (5)
6 BOLIFOR MSP	79 (5)
7 MODICAL 21.8	72 (5)
8 KØDBENMEL	54 (5)

* Standardafvigelse på estimate/standard error of estimate

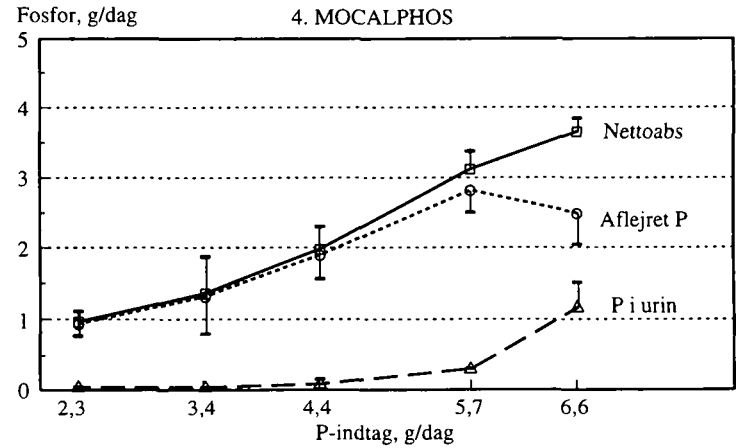
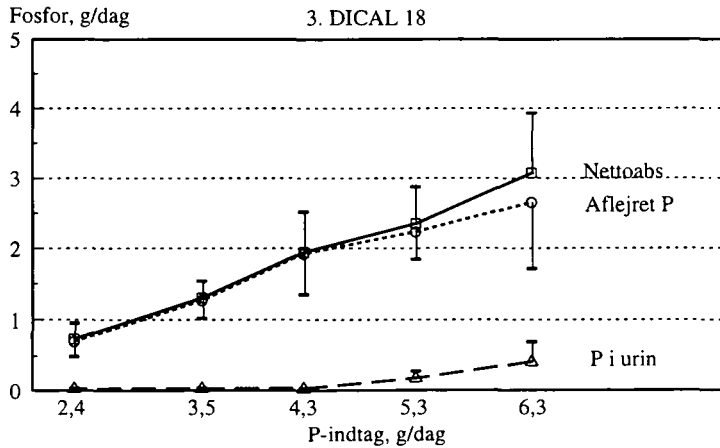
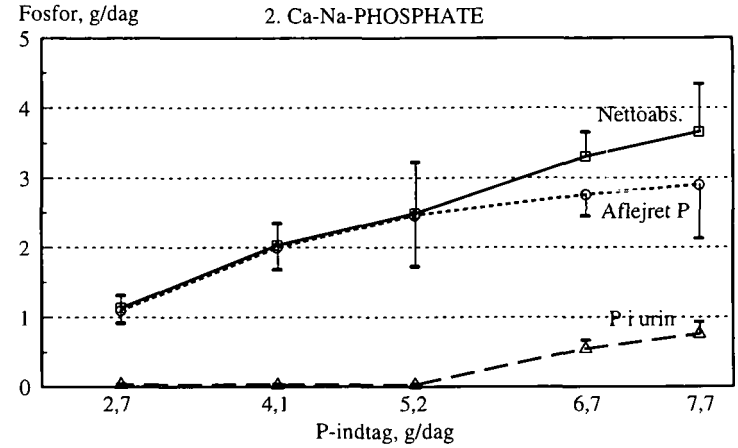
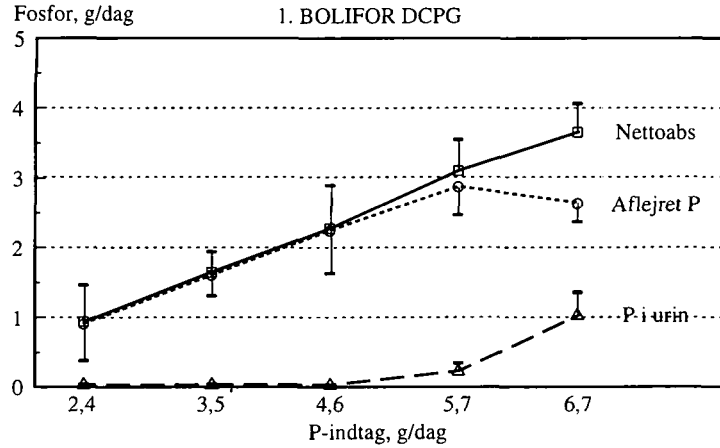
Forsøget viste, at Ca-Na-phosphate (kilde 2), BOLIFOR DCP (kilde 5) og kødbenmel (kilde 8) havde den laveste fosfor-fordøjelighed, som lå på omkring 50%. De blev efterfulgt af DICAL 18 (kilde 3), MOCALPHOS (kilde 4), og BOLIFOR

fosfor og udskilt fosfor med urinen er vist særskilt for kilderne i figur 1.

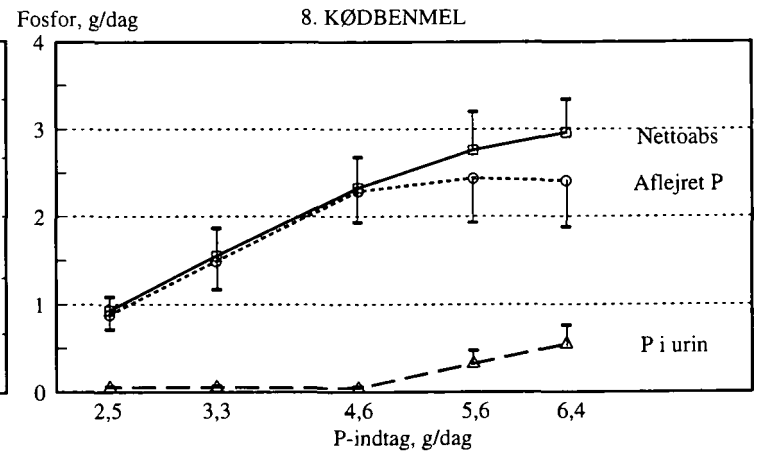
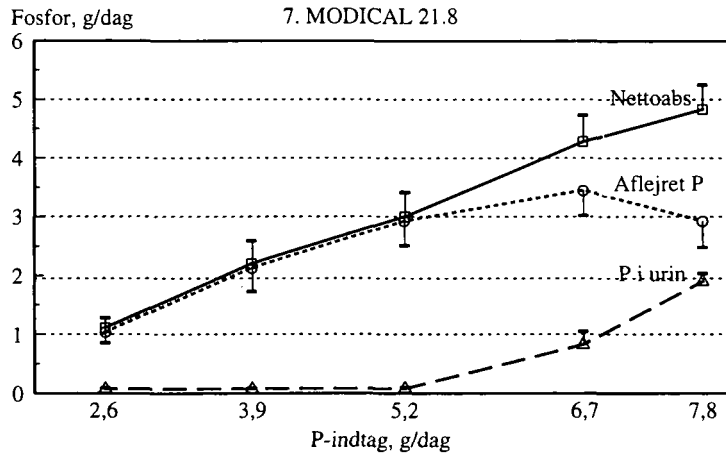
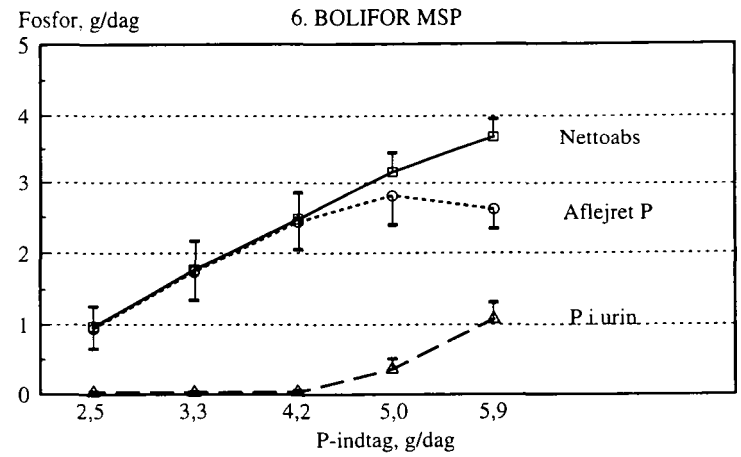
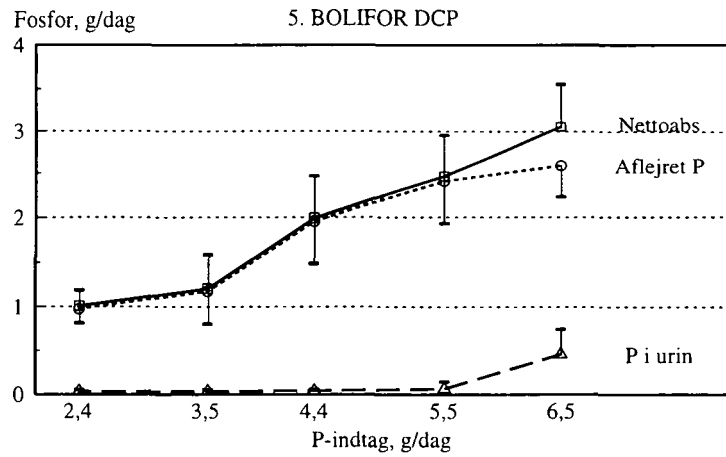
Figuren viser, at fosforudskillelsen er meget lav i det doseringsinterval, hvor fosfortildelingen med foderet ikke dækker grisenes behov. Derfor er kurverne for nettoabsorption og aflejring af fosfor sammenfaldende ved de laveste fosfordoseringer. Det fremgår endvidere, at fosforaflejringen topper i intervallet 2,5-3,0 g/dag, hvorefter yderligere stigning i fosforindtaget ikke resulterer i øget aflejring. Ligeledes sker der ikke væsentlig ændring i stigningstakten for nettoabsorptionen, hvorimod fosforudskillelsen med urinen øges markant. Figuren viser således, at opretholdelsen af et konstant fosforindhold i kroppen primært sker via regulering af udskillelsen af fosfor med urinen og ikke via absorptionsprocesserne i tarmen.

På baggrund af de fundne værdier for nettoabsorberet fosfor blev fordøjeligheden af fosfor beregnet v.h.a. regressionsanalyser. Fordøjelighedskoefficienterne for de 8 undersøgte kilder er anført i tabel 6. Fosfortilgængeligheden lå mellem 50 og 79% for de undersøgte kilder. Det fremgår endvidere, at variationen på bestemmelsen af fordøjelighedskoefficienten lå på 5 procentenheder, hvorfor fordøjelighedskoefficienterne skal vurderes med denne usikkerhed.

DCPG (kilde 1), hvor fordøjeligheden lå på omkring 60-65%. I MODICAL 21.8 (kilde 7) lå fordøjeligheden på godt 70% og i BOLIFOR MSP på knap 80%.



Figur 1. Nettoabsorption, udskillelse med urin og aflejring af fosfor, g/dag for de 8 fosfatkilder/*Net absorption, urinary excretion and retention, g phosphorus/day for each source*



Figur 1 (fortsat). Nettoabsorption, udskillelse med urin og aflejring af fosfor, g/dag for de 8 fosfatkilder/*Net absorption, urinary excretion and retention, g phosphorus/day for each source*

4 Diskussion

Det gennemførte forsøg viser, at grisenes mulighed for at udnytte det fosfor, der findes i de 8 undersøgte kilder, ikke er ens. Dette bekræfter tidligere resultater, som viser, at foderfosfaters biologiske værdi varierer (Grimbergen et al., 1985; Jongbloed, 1987; Oksbjerg & Fernandez, 1987; Dellaert et al., 1990; Cromwell, 1992; Walz & Pallauf, 1993). Der er dog ikke talmæssig overensstemmelse mellem de opnåede resultater, idet disse afhænger af den anvendte responsegenskab og fremgangsmåde i forsøgene. Dellaert et al., 1990 sammenfatter, at måling af den tilsyneladende fordøjelighed af fosfor er mere præcis til bestemmelse af en eksakt værdi for fosfortilgængeligheden end andre anvendte responsmål som knoglestyrke, mineral-koncentration m.v. i blod eller knogler.

I tabel 7 er derfor opført en række resultater over fosfors tilgængelighed i foderfosfater baseret på den tilsyneladende fordøjelighed. Nogle af resultaterne er bestemt ved differensmetoden (Walz & Pallauf, 1993), mens andre er fremkommet ved regressionsmetoden (Grimbergen et al., 1985; Oksbjerg & Fernandez, 1987; Fernandez, 1992). De øvrige resultater er fremkommet ved anvendelse primært af differensmetoden men også i få tilfælde ved regressionsmetoden (Jongbloed, 1987; Dellaert et al., 1990), hvorved en række af resultaterne er anført som gennemsnit af de opnåede resultater (efter Jongbloed et al., 1991). En del af de refererede resultater er gengangere og kan være nævnt i flere referencer. Tabel 7 viser, at der er forskel i resultaterne, selv om det grundlæggende er de samme principper, der anvendes. Dette forhold kan skyldes forskelle i grundblandingernes sammensætning og indhold af f.eks. fosfor, kildernes oprindelse, deres fremstillingsmåde, partikelstørrelse og form, som hver især kan bidrage til de fundne forskelle i tilgængelighed. Dette vanskeliggør sammenligning af de forskellige resultater, hvilket også konkluderes af Jongbloed, 1987.

Et af de mest centrale forhold er sammensætningen af de anvendte grundblandinger, hvor en række forsøg har taget udgangspunkt i praktiske blandinger, hvor det naturlige fosforindhold generelt er ret

højt. Herved levnes der ikke plads til mange doseringsniveauer, uden at grisen overforsynes med fosfor (Jongbloed, 1987). Derfor er der i flere forsøg, hvor regressionsmetoden er anvendt, blevet fodret med en semi-syntetisk foderblanding med et lavt fosforindhold (Jongbloed, 1987; Oksbjerg & Fernandez, 1987; Dellaert et al., 1990; Fernandez, 1992). Anvendelsen af et semi-syntetisk foder har desuden den fordel, at indholdet af fytatbundet fosfor bliver reduceret (evt. fjernet). Dette kan have betydning ved vurderingen af bl.a. calciums effekt på fosforudnyttelsen (se senere).

I det aktuelle forsøg blev der anvendt et semi-syntetisk foder (1,5 g fosfor/kg foder), som blev tilført stigende mængder af den undersøgte fosforkilde, hvorved der inden for hver kilde fremkom 5 doseringsniveauer. Fosfors fordøjelighed blev derfor fastlagt ved at bestemme hældningskoefficienten for regressionslinjen for nettoabsorptionen som funktion af fosforindtaget i det undersøgte doseringsområde. Dette sker under antagelse af, at fosforfordøjeligheden i grundblandingen er ens for alle doseringsniveauer, og at nettoabsorptionen inden for samme foderfosfatkilde er proportional med fosforindtaget. Ved at bestemme tilgængeligheden, her defineret som fordøjelighedskoefficienten bestemt ved regression over 5 doseringsniveauer, blev det fundet, at fosfortilgængeligheden i de undersøgte kilder lå mellem 50 og 80%. Standardafvigelsen på estimaterne var 5.

Generelt var indholdet af fordøjeligt fosfor bestemt i det aktuelle forsøg noget lavere end tidligere offentliggjorte værdier (tabel 7). Dog var fordøjeligheden i mononatriumfosfat (kilde 6) - 79% - noget højere end bestemt af Oksbjerg & Fernandez, 1987 og Fernandez, 1992, som fandt henholdsvis 59 og 61%. Årsagen til denne forskel kan ikke umiddelbart forklares, men kan måske skyldes forskelle i de anvendte kilder. Jongbloed, 1987 fandt derimod en tilgængelighed på 70%, og ifølge Boliforum, 1994 blev tilgængeligheden i mononatriumfosfat (BOLIFOR MSP, svarende til kilde 6 i det aktuelle forsøg) bestemt af den hollandske forskergruppe på ID-DLO (IVVO) til 87%.

Tabel 7 Oversigt over fosfortilgængeligheder baseret på tilsyneladende fordøjelighed efter differens - eller regressionsmetoden* / *Phosphorus digestibilities based on apparent digestibility by use of difference or regression**

Kilde/source	Fordøjelighed, % digestibility, %	Metode/ Method	Reference/reference
Dicalciumfosfat (anhydrat)	62	R	Grimbergen et al., 1985
Dicalciumfosfat (hydrat)	71		"
Monocalciumfosfat	82		"
Mononatriumfosfat (dihydrat)	59	R	Oksbjerg & Fernandez, 1987
Dicalciumfosfat	54		"
Kødbenmel	55		"
Monocalciumfosfat (Tessengerlo)	84	D	Beers et al., 1990
Monocalciumfosfat (Hydro Agri)	72		"
Ca-Na-fosfat (Rükana)	86		"
Kødbenmel	80		"
Dinatriumfosfat	90	D	cvb, 1990
Monocalciumfosfat	80		"
Dicalciumfosfat (anhydrat)	65		"
Dicalciumfosfat (dihydrat)	69		"
Ca-Na-fosfat	76		"
Kødbenmel	80		"
Dicalciumfosfat (anhydrat)	65	D(R)	Jongbloed et al., 1991
Dicalciumfosfat (dihydrat)	69		"
Monocalciumfosfat (A)	75		"
Monocalciumfosfat (B)	83		"
Monocalciumfosfat (C)	84		"
Dinatriumfosfat	90		"
Ca-Na-fosfat (1)	84		"
Ca-Na-fosfat (2)	86		"
Mononatriumfosfat (dihydrat)	61	R	Fernandez, 1992
Monocalciumfosfat	91	D	Walz & Pallauf, 1993
Dicalciumdinatriumfosfat	91		"
Kødbenmel	69	D	Beers et al., 1993
Monocalciumfosfat (Tessengerlo)	69		"
Monodicalciumfosfat (Kynofos 21)	75		"
Monodicalciumfosfat (Kynoch Europe)	72		"
Ca-Na-fosfat (Rükana)	74		"
Ca-Na-fosfat (Rükaphos)	73		"
Mononatriumfosfat (BOLIFOR MSP)	87	D	Boliforum, 1994
Monocalciumfosfat (BOLIFOR MCP)	84		"
Dicalciumfosfat (BOLIFOR DCP)	71		"

* D = differensmetode/by difference; R = regressionsmetode/by regression

Monodicalciumfosfat (kilde 7) havde en tilgængelighed på 72%. Beers et al., 1993 fandt i to undersøgte monodicalciumfosfater (Kynofos 21 og Kynoch Europa) en tilgængelighed på 75 henholdsvis 72%, hvilket er i overensstemmelse med det aktuelle resultat.

Kilde 1, som angives at være en monodicalciumfosfat, men hvor fremstillingsmetoden er identisk med metoden for monocalciumfosfat (Kemira Kemi, 1995, personlig meddelelse), havde i forsøget en tilgængelighed på 65%. Denne værdi var i det aktuelle forsøg lavere end værdien for monodicalciumfosfat (kilde 7) men på niveau med monocalciumfosfat (kilde 4). Andre publicerede resultater vedrørende dette produkt kendes ikke.

Monocalciumfosfat (kilde 4) havde en tilgængelighed på (64%), som var lavere end for monodicalciumfosfat (72%). Generelt var de opnåede værdier for monocalciumfosfat lavere end de i tabel 7 refererede værdier, 75-84% (Jongbloed et al., 1991), 86% (Grimbergen et al., 1985), 91% (Walz & Pallauf, 1993), 84% (Beers et al., 1990), 84% (Boliforum, 1994), men i overensstemmelse med det seneste hollandske resultat på 69% (Beers et al., 1993). Beers et al., 1990 fandt i det samme produkt som i det aktuelle forsøg (Mocalphos Hydro Agri) en fordøjelighed på 72%.

De to undersøgte typer af dicalciumfosfat (dihydrat; kilde 3 og 5) havde en tilgængelighed på 59 og 52%. Disse værdier er noget lavere end anført af Grimbergen et al., 1985 (71%) og Jongbloed et al., 1991 (69%), men er i overensstemmelse med Oksbjerg & Fernandez, 1987 (54%). Den hollandske forskergruppe fandt ifølge Kemira, 1994, at fosfortilgængeligheden i dicalciumfosfat svarende til kilde 5 er 71%. Der er ikke umiddelbart nogen forklaring på, hvorfor tilgængeligheden er 59% i det ene produkt og 52% i det andet produkt, for ifølge produktoplysningerne ser de to typer meget ens ud. Hvis ikke der er reel forskel i de to produkters fremstillingsmåde og fysisk/kemiske form, kan forskellen måske skyldes udslag af tilfældigheder eller begrænsninger i det anvendte forsøgsdesign (i.e. antal replikater). Det fremgår dog af tabel 7, at der også tidligere er fundet forskel mellem tilsyneladende ens produkter.

Den laveste fosfortilgængelighed blandt de undersøgte foderfosfater fandtes i Na-Ca-fosfat med

50%, hvilket er markant lavere end de i tabel 7 refererede værdier, 84 og 86% (Jongbloed et al., 1991), 86% (Beers et al., 1990) og 73 og 74% (Beers et al., 1993).

Fosforfordøjeligheden i askerigt kødbenmel blev bestemt til 54%, som også er lavere end de publicerede værdier, 80% (cvb, 1990; Beers et al., 1990) og 69% (Beers et al., 1993) men i overensstemmelse med de 55%, som blev fundet af Oksbjerg & Fernandez, 1987.

Det bør fremhæves, at bestemmelsen af fosforfordøjeligheden i den enkelte kilde er sket ved anvendelsen af 6 kuld (6 replikater) i det aktuelle forsøg. Dette medførte en standardafvigelse på estimatet for fordøjeligheden på 5 procentenheder, hvorfor talværdien for de enkelte kilders fosforfordøjelighed skal vurderes herefter.

Som nævnt er værdierne for fosfortilgængeligheden generelt lavere end de refererede værdier. Årsagen hertil kan, som det også er fremført, skyldes mange forhold. Udover de allerede anførte usikkerhedspunkter, er der tegn på, at blandingeres indhold af calcium kan have indflydelse på fosfors udnyttelsesgrad, hvilket er beskrevet af bl.a. Sandberg et al., 1993, som undersøgte effekten af calcium på nedbrydningen af fytat. Mroz et al., 1994 fandt endvidere, at fosforfordøjeligheden i en foderblandning faldt, når indholdet af calcium steg. Dette kan især være et problem, hvor der er tale om differensforsøg, idet bestemmelsen af fordøjeligheden i testkilden er meget afhængig af fordøjeligheden bestemt i grundblandingen. Dette forhold nævnes også af Beers et al., 1993, som påpeger, at den påviste lavere fordøjelighed i den medtagne kontrolkilde (6-15 procentenheder sammenlignet med tilsvarende bestemmelser i tidligere hollandske forsøg) måske skyldes, at calciumindholdet i grundblandingen var blevet reduceret i forhold til de tidligere forsøg. Herved blev fosforfordøjeligheden i grundblandingen øget, hvorved differencen mellem grundblandingen og testblandning blev mindre, og fosforfordøjeligheden i den undersøgte kilde reduceret. Disse resultater tyder på, at calciumindholdet i foderblandingen påvirker udnyttelsesgraden af fosfor, hvorved et højt calciumindhold i grundfoderet kan betyde, at foderfosfaternes fordøjelighed overvurderes ved brug af differensmetoden. Calciumindholdet anses således også primært at have betydning for fosforudnyttelsen, når foderets

fosforindhold er lille og bundet i fytatsalte (Pointilart et al., 1985). For at undgå en eventuel uheldig indflydelse af calcium blev indholdet i blandingerne i det aktuelle forsøg holdt konstant på 6 g/kg. Dette skete til trods for, at bestemmelsen af fosfors fordøjelighed baseret på regressionsmetoden ikke forventes at være så følsom overfor grundfoderets indhold af calcium, som ved bestemmelse efter differensmetoden.

Resultaterne i det aktuelle forsøg er fremkommet på basis af total opsamling af gødning og urin over en 7 dages periode og uden anvendelse af markører. I de hollandske forsøg er derimod anvendt krom som markør, idet det antages, at den mængde krom, der tilsættes foderet, ikke absorberes men udskilles med gødningen. På basis af koncentrationen af krom og fosfor i foder henholdsvis den opsamlede gødning blev fosforfordøjeligheden i de enkelte foderblandinger bestemt (metodebeskrivelse: se f.eks. Dellaert et al., 1990). Hvorvidt denne metodeforskel har indflydelse på de opnåede resultater, er vanskeligt at afgøre, men det vurderes, at en total opsamlingsperiode på 7 dage som i det aktuelle forsøg er tilstrækkeligt.

Sammenfattende må det fremføres, at ved sammenligning af de forskellige resultater skal man være meget opmærksom på den valgte metode og på grundfoderets sammensætning. Umiddelbart er der stor forskel mellem anvendelsen af differensmetoden (baseret på to-punktsbestemmelse) og regressionsmetoden (baseret på flerpunktsbestemmelse). De nyeste hollandske resultater beskrevet af Beers et al., 1993 og Mroz et al., 1994 tyder på, at grundfoderets indhold af calcium og af fytatbundet fosfor er medvirkende til den store forskel, der ses mellem de ældste hollandske og de aktuelle danske resultater. Det tyder derfor på, at fosforfordøjeligheden i grundblandingen undervurderes i de ældre hollandske forsøg, hvorved fordøjeligheden i de undersøgte foderfosfater tilsvarende overvurderes i forhold til de nyeste resultater fremkommet med et lavere calciumindhold i grundfoderet. Der bør arbejdes videre for at klarlægge disse forhold og opnå større sikkerhed i bestemmelsen af fosfors fordøjelighed i foderfosfater.

5 Konklusion

Forsøget viser, at udover forskelle i totalindholdet af fosfor i de undersøgte fosforsuppleringskilder, er der også forskel på, hvor godt grise kan fordøje og dermed udnytte det fosfor, der findes i de pågældende kilder. Fosforfordøjeligheden blev bestemt særskilt i 8 kilder v.h.a. regressionsmetoden med følgende resultat: BOLIFOR DCPG, KEMIRA 65%, Ca-Na-PHOSPHATE, MONSANTO 50%, DICAL 18, TESSENDERLO 59%, MOCALPHOS, WINDMILL 64%, BOLIFOR DCP, KEMIRA 52%,

BOLIFOR MSP, KEMIRA 79%, MODICAL 21.8 TESSENDERLO 72% og kødbenmel, DAKA 54%. Spredningen på fordøjelighedskoefficienterne lå på 5 procentenheder. De fundne værdier afviger generelt i forhold til især de ældre hollandske resultater, hvorimod der er bedre overensstemmelse med de nyere hollandske resultater og andre danske forsøgsresultater. Årsagen til forskellen i de opnåede resultater skal formentlig søges i forskelle i forsøgsopbygning og valget af grundfoder.

6 Anerkendelser

Søren Højsgaard og Erik Jørgensen, Afdeling for Biometri og Informatik, takkes for bistand i forbindelse med den statistiske bearbejdning af data-materialet. Landsudvalget for Svin / Danske Slag-terier takkes for økonomisk støtte til det gennem-førte projekt. Endvidere takkes leverandørerne af foderfosfater og kødbenmel.

7 Referencer

- Beers, S., Dellaert, B.M. & Jongbloed, A.W., 1990. The digestibility of phosphorus in some feed phosphates. Rapport IVVO nr. 222, Lelystad, The Netherlands, 32 pp.
- Beers, S., Kemme, P.A., Jongbloed, A.W. & Horsting, V.B.J. 1993. P-digestibility in feed phosphates and products of animal origin: results of several trials. Rapport IVVO-DLO nr. 249, Lelystad, The Netherlands, 65 pp.
- Boisen, S., 1987. Fytinsyre og fytaseaktivitet i foderstoffer. Meddelelse nr. 675, Statens Husdyrbrugsforsøg, 4 pp.
- Boliforum. News and information about mineral supplements. 1994. November, 8 pp.
- Centraal Veevoederbureau (cvb), 1990. Herziene tabel verteerbaar fosfor veevoedergrondstoffen voor varkens. cvb-reeks nr. 4, 13 pp.
- Cromwell, G.L. 1989. Requirements, biological availability of calcium, phosphorus for swine evaluated. Feedstuffs 60, 16-20.
- Cromwell, G.L. 1992. The biological availability of phosphorus in feedstuffs for pigs. Pig News and Information 13, 75N-78N.
- Coffey, R.D., Mooney, K.W., Cromwell, G.L. & Aaron, D.K. 1994. Biological availability of phosphorus in defluorinated phosphates with different solubilities in neutral ammonium citrate for chicks and pigs. J. Anim. Sci. 72, 2653-2660.
- Dellaert, B.M., Van der Peet, G.F.V., Jongbloed, A.W. & Beers, S. 1990. A comparison of different techniques to assess the biological availability of feed phosphates in pig feeding. Neth. J. Agric. Sci. 38, 555-566.
- Fernández, J.A. 1992. Calcium and phosphorus metabolism in growing pigs studied by the balance technique and simultaneous radiocalcium and radiophosphorus kinetics. Ph.D. Thesis, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, 148 pp.
- Grimbergen, A.H.M., Cornelissen, J.P. & Stappers, H.P., 1985. The relative availability of phosphorus in inorganic feed phosphates for young turkeys and pigs. Anim. Feed Sci. and Techn. 13, 117-130.
- Jongbloed, A.W., 1987. Phosphorus in the feeding of pigs. Effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing pigs. Ph.D. Thesis, Rapport IVVO nr. 179, Lelystad, The Netherlands, 343 pp.
- Jongbloed, A.W., Everts, H. & Kemme, P.A. 1991. Phosphorus availability and requirements in pigs. In: Haresign, W. & Cole, D.J.A. (Eds.), Recent advances in animal nutrition. Butterworth-Heinemann Ltd., 65-80.
- Mroz, Z., Jongbloed, A.W. & Kemme, P.A. 1994. The influence of graded calcium supply on microbial phytase efficacy in starter diets for pigs. 45th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 5-8 September, Edinburgh, UK, 31 pp.
- Oksbjerg, N. & Fernández, J.A. 1987. The effect of increasing dietary levels of phosphorus on the excretion of calcium and phosphorus in growing pigs fed a synthetic diet. 38th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 28 September-1 October, Lisbon, Portugal, 4 pp.

- Pointillart, A., Fontaine, N., Thomasset, M. & Jay, M.E. 1985. Phosphorus utilization, intestinal phosphatases and hormonal control of calcium metabolism in pigs fed phytic phosphorus: soyabean or rapeseed diets. *Nutr. Rep. Int.* 32, 155-167.
- Sandberg, A.S., Larsen, T. & Sandström, B. 1993. High dietary calcium level decreases colonic phytate degradation in pigs fed a rape seed diet. *J. Nutr.* 123, 559-566.
- SAS Institute Inc. 1989. *SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition. Volume 2.* Cary, NC: SAS Inst. Inc., 846 pp.
- Walz, O.P. & Pallauf, J. 1993. Apparent digestibility of feed phosphates and the use of chromic oxide as an indicator for determination of P digestibility. *Agribiol. Res.* 46, 208-217.
- Weisberg, S. 1985. *Applied linear regression.* Second Edition. Wiley & Sons, Inc., 324 pp.

