



Apport de phosphore et faiblesse des pattes chez le jeune porc

A. GUTZWILLER, P. STOLL et D. GUGGISBERG, Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, 1725 Posieux

@ E-mail: andreas.gutzwiller@alp.admin.ch
Tél. (+41) 26 40 77 223.

Introduction

Faiblesse des pattes des porcs suisses

Depuis quelques années, les cas de boiteries d'origine non infectieuse (faiblesse des pattes) sont plus nombreux aussi bien chez les porcs en croissance que chez les animaux reproducteurs, selon les éleveurs de porcs. Cela porte préjudice à la croissance, à la durée de vie et au bien-être des animaux.

La principale cause de la faiblesse des pattes est l'ostéochondrose, qui se caractérise par une dégénérescence du cartilage articulaire et des zones de croissance des os (voir encadré en page suivante).

Des examens à intervalles réguliers des os d'animaux de testage effectués au Centre de testage de Sempach indiquent, quant à eux, que le pourcentage de porcs atteints d'ostéochondrose n'a pas évolué depuis des années (Luther *et al.*, 2007). Il est donc pratiquement exclu qu'au cours des dernières années la prédisposition d'origine génétique à l'ostéochondrose ait augmenté au sein de la population porcine suisse. Si les cas de faiblesse des pattes ont effectivement augmenté en Suisse au cours de ces dernières années, la cause doit être recherchée parmi les modifications des facteurs environnementaux, comme les conditions d'élevage ou les changements d'alimentation.

Depuis quelques années, l'utilisation d'aliments pour porcs contenant moins de protéines et de phosphore (de type NPr) augmente, afin de diminuer la pollution de l'environnement par l'azote (N) et le phosphore (P). Une relation entre l'ingestion réduite de protéines et

Résumé

L'apport en phosphore digestible (PDP) recommandé par ALP a été examiné chez des porcs qui pesaient 15 kg au début de l'essai et qui ont été abattus à 45 kg. Les animaux témoins (P) ont reçu des aliments contenant la teneur recommandée en PDP, alors que les aliments des trois groupes expérimentaux P-, P+ et P++ en contenaient respectivement 20% de moins, 20% et 40% de plus. Dans toutes les rations, le rapport calcium (Ca):PDP était de 2,8:1. Les porcs du groupe P++ ont grandi moins rapidement que ceux des groupes P et P- (620 g contre 665 g et 680 g, $P < 0,001$). L'apport inférieur de 20% en Ca et en PDP dans les rations P- a eu pour conséquence que les os métacarpiens des animaux abattus à 45 kg de PV contenaient moins de Ca ($P < 0,05$) et se brisaient avec une plus légère sollicitation mécanique ($P < 0,05$) que ceux des animaux du groupe P+. La teneur des aliments en Ca et en P n'a pas eu d'influence sur l'étendue des lésions au niveau des cartilages des os des pattes. Les résultats montrent que l'apport en Ca et en PDP recommandé par ALP pour les jeunes porcs permet d'assurer une bonne ossification.



Fig. 1. Les animaux de chaque variante ont été détenus en groupes dans des box munis d'une grande surface de repos avec litière et d'un caillebotis. La consommation d'aliments de chaque animal a été enregistrée par le distributeur automatique.

de phosphore et l'apparition plus fréquente de la faiblesse des pattes pourrait donc être possible. Selon des constatations de l'industrie des aliments pour animaux, les boiteries sont plus fréquemment observées au sein des troupeaux des exploitations qui utilisent des aliments NPR. Dans une étude épidémiologique réalisée par la Haute école suisse d'agronomie (HESA) de Zollikofen, Aeschlimann et Spring (2004) ont conclu que l'apport en phosphore digestible (PDP) recommandé par ALP (2004) présente une marge de sécurité trop petite et que les aliments produits sur la base de ces recommandations ne permettent pas toujours un développement suffisant de l'aplomb dans des conditions pratiques. Pour cette raison, ALP a mis en place un essai afin de clarifier quel était l'impact de différents teneurs en phosphore de l'aliment sur les os et les articulations des jeunes porcs. Les besoins en minéraux pour la formation des os étant particulièrement élevés chez les porcelets et au début de la période d'engraissement et comme l'ostéochondrose peut déjà apparaître dans cette catégorie de poids, l'essai a été réalisé avec des porcs qui pesaient 15 kg au début de l'essai et 45 kg à l'abattage.

Matériel et méthodes

Groupes expérimentaux

Quinze groupes de quatre frères ou quatre sœurs (en tout 24 porcelets femelles et 36 porcelets mâles castrés) ont participé à l'essai. Les quatre animaux de chaque groupe ont été répartis dans les quatre variantes, pour réduire le risque que des prédispositions génétiques à l'ostéochondrose n'interagissent avec l'influence de l'alimentation dans l'apparition de cette affection.

La variante témoin P comportait une ration avec une teneur en calcium (Ca) et en phosphore digestible (PDP) correspondant aux recommandations d'ALP, alors que cette teneur était respectivement environ 20% moins élevée et 20 et 40% plus élevée dans les variantes P-, P+ et P++.

Aliments expérimentaux

Pour optimiser les aliments expérimentaux (tabl.1), les analyses des teneurs en nutriments des matières premières à disposition ont été utilisées; la teneur en PDP des matières premières a été calculée à partir des teneurs en P analysées et des coefficients de digestion figurant dans les *Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour porcs* (Livre jaune; ALP, 2004). La teneur en Ca et en PDP des aliments expérimentaux a été avant

Ostéochondrose et faiblesse des pattes

La sélection visant une croissance rapide favorise en premier lieu la croissance musculaire, tandis que celle du squelette n'évolue pas de manière proportionnelle. Par conséquent, celui-ci subit une charge mécanique accrue, car la masse musculaire est plus importante. Cette charge peut être à l'origine de lésions sur le cartilage des articulations et dans les zones de croissance (tableau clinique de l'ostéochondrose) et engendrer des boiteries. Si le poids de l'animal n'est pas réparti de façon équilibrée sur l'ensemble des articulations et des zones de croissance en raison de défauts d'aplomb (pattes en cerceau, pattes arquées, onglons médiaux de petite taille, etc.), le risque de lésions du cartilage est particulièrement élevé.

Chez les animaux prédisposés à l'ostéochondrose, qui n'ont présenté aucun symptôme dans de bonnes conditions de détention, des boiteries peuvent apparaître par exemple lors de transports et de luttes hiérarchiques ou lors de détériorations des conditions de détention (par exemple un sol glissant de l'étable). Des lésions osseuses et des boiteries peuvent se manifester déjà vers la fin de la période d'élevage des porcelets. Calcium, phosphore, manganèse, cuivre et zinc jouent un rôle dans la constitution de l'os. Aussi bien l'excès que la carence ou un déséquilibre en minéraux peuvent favoriser l'apparition de l'ostéochondrose. Chez l'animal vivant, le diagnostic de cette affection ne peut s'effectuer qu'après une radiographie. L'expression «faiblesse des pattes» est utilisée pour désigner des boiteries lorsque l'on soupçonne une ostéochondrose, sans que celle-ci ait été confirmée par une radiographie ou un examen des os après la mort de l'animal.

tout modifiée par le biais de leur teneur en phosphate bicalcique (DCP) et en chaux fourragère (CaCO₃).

La teneur en nutriments des quatre aliments pour porcelets et des quatre aliments de pré-

engraissement correspondait aux recommandations d'ALP (2004) pour les animaux d'un PV de 15 kg et de 40 kg, sauf les teneurs en Ca et en PDP des aliments des variantes P-, P+ et P++ (tabl. 2). Dans chaque

Tableau 1. Composition des aliments expérimentaux (g/100 g).

	Aliments destinés aux porcelets				Aliments de pré-engraissement			
	P-	P	P+	P++	P-	P	P+	P++
Orge	36	41	42	42	2	4	7	9
Blé	22	17	15	13	69	67	64	62
Tourteau de soja	10	12	13	14	4	6	7	9
Poudre de petit-lait	5	5	5	5				
Protéines de pommes de terre	2	1	0,5	0	5	4,5	4	3,5
Caséine	5	5	6	6				
Son de blé	4				10	7	5	3
Marc de pommes	8	8	8	8	5	5	5	5
Pulpe de betteraves					2	2	3	3
Graisse animale	4	4	4,5	5				
DCP	1,6	2,3	2,9	3,6	1,2	1,8	2,3	2,8
CaCO ₃	0	0,13	0,28	0,43	0,96	1,06	1,15	1,24
Formiate de calcium	1,50	1,50	1,50	1,50				
Sel pour bétail	0,29	0,33	0,34	0,34	0,48	0,45	0,44	0,51
Prémix ¹	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Les rations ont été complétées avec les acides aminés lysine, méthionine, thréonine et tryptophane.

¹Le complément de vitamine D₃ apporté par le biais du pré-mélange oligoéléments-vitamines s'est élevé à 1000 UI/kg dans les aliments destinés aux porcelets et à 400 UI/kg pour les aliments de pré-engraissement.



Fig. 2. Os du bras incisé pour l'évaluation du cartilage de l'articulation et de la zone de croissance.

aliment, le rapport Ca:PDP s'élevait à 2,8:1 conformément aux recommandations d'ALP (2004). Aucune phytase n'a été utilisée pour améliorer la digestibilité de Ca et de P.

Garde en groupe, alimentation individuelle

Les animaux de la race Grand porc blanc, qui ont reçu l'aliment témoin P pour porcelets du sevrage jusqu'au début de l'essai, avaient un PV moyen de 14 kg et ont été dé-

Tableau 2. Valeur énergétique et teneur en nutriments des aliments expérimentaux (teneur par kg de matière originale).

	Aliments pour porcelets				Aliments de pré-engraissement			
	P-	P	P+	P++	P-	P	P+	P++
Ca (g)	9,8	11,7	13,2	15,3	8,0	9,1	10,8	12,9
P (g)	7,2	8,0	8,7	10,2	6,6	7,1	8,1	9,2
PDP ¹ (g)	3,6	4,5	5,3	6,2	2,8	3,4	4,1	4,8
MA (g)	182	181	182	183	160	157	158	158
CB (g)	40	39	39	38	38	36	38	38
MG (g)	53	53	59	58	17	19	20	20
EDP ¹ (MJ)	14,0	14,0	14,0	14,0	13,2	13,2	13,2	13,2

¹Pour calculer le phosphore digestible porc (PDP) et l'énergie digestible porc (EDP) des aliments, les teneurs en nutriments analysées des matières premières ont été utilisées ainsi que les coefficients de digestion pour P et la formule pour le calcul de l'énergie des matières premières (ALP, 2004).

tenus en groupes dans des box pourvus d'une grande surface de repos avec litière et d'une surface en caillebotis (fig.1). Les animaux munis d'une marque auriculaire électronique ont ingéré les aliments dans des distributeurs automatiques qui enregistraient la quantité d'aliment ingérée par chaque animal. Les aliments pour porcelets ont été distribués à volonté aux animaux jusqu'à un poids moyen de 28 kg et les aliments d'engraissement aux animaux plus lourds. Tous les animaux de 25 à 30 kg ont été transportés pendant une heure dans un véhicule afin d'imiter les conditions pratiques qui peuvent être liées à un changement d'étable. Une sollicitation corporelle inhabituelle peut en effet favoriser l'apparition de l'ostéochondrose. Les animaux ont été abattus à un poids de 45 kg, car des signes évidents de boiterie et de modification des os ainsi que des articulations peuvent apparaître à ce stade.

Examen des animaux vivants et abattus

Lorsque les animaux ont atteint 25 et 40 kg, leur aplomb a été examiné et une prise de sang a été effectuée pour les analyses de laboratoire. Les os prélevés immédiatement après l'abattage ont été examinés visuellement pour la détection de l'ostéochondrose

(fig. 2), selon la méthode utilisée par le Centre MLP de Sempach. Les deux os métacarpiens Mc3 et Mc4 ont été soumis à des analyses chimiques (cendres, Ca, P) et mécaniques (test de flexion en trois points). Pour déterminer la fragilité osseuse, les os ont tout d'abord été placés sur deux surfaces d'appui écartées de 40 mm (fig. 3) mais, lorsqu'il subissait une pression en son centre, l'os se brisait dans une zone de croissance cartilagineuse. L'écart entre les deux surfaces d'appui a alors été réduit à 25 mm (fig. 4) et la fracture s'est produite au centre de l'os. La force nécessaire pour briser l'os a été mesurée en Newton (N). Afin d'éliminer l'influence de la taille de l'animal sur la résistance de l'os à la fracture, la force utilisée pour casser l'os d'un porc a été divisée par son poids mort.

Résultats

L'excédent de minéraux a réduit la croissance

Les animaux du groupe P++ ayant reçu le plus de PDP ont grandi plus lentement ($P = 0,007$) que les animaux des groupes P et P- (tabl. 3).

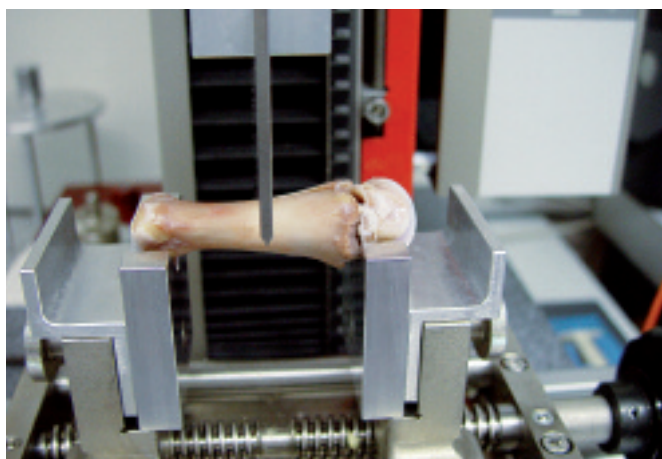


Fig. 3. Test de flexion en trois points avec une distance de 40 mm entre les surfaces d'appui (rupture dans la zone de croissance).

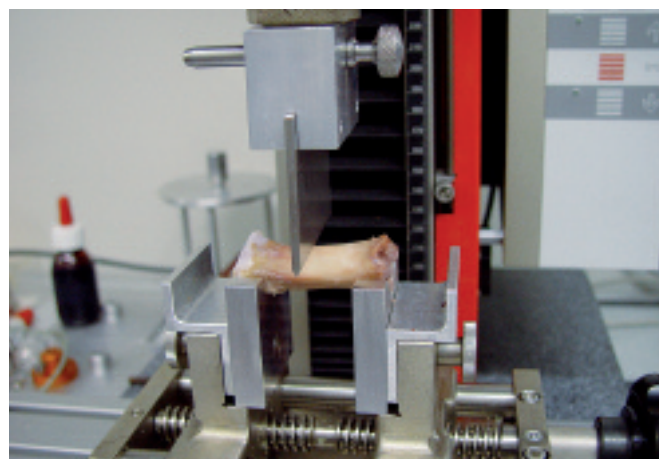


Fig. 4. Test de flexion en trois points avec une distance de 25 mm entre les surfaces d'appui (rupture au milieu de l'os).

Tableau 3. Performances zootechniques.

	P-	P	P+	P++	SE	P
Nombre d'animaux	15	15	15	15		
PV au début de l'essai (kg)	14,0	13,7	13,8	14,0	0,36	0,93
PV lors du changement d'aliment (kg)	27,6	28,6	28,0	27,9	0,41	0,36
PV lors de l'abattage (kg)	46,7 ^a	45,0 ^{ab}	45,1 ^{ab}	44,3 ^b	0,56	0,04
Poids mort (kg)	34,5	33,7	33,3	33,0	0,44	0,09
Rendement à l'abattage (%)	0,74	0,75	0,74	0,75	0,004	0,33
Age lors de l'abattage (jours)	95,6	94,5	95,6	96,5	1,4	0,86
Accroissement journalier 14-28 kg PV (g)	618 ^a	624 ^a	592 ^{ab}	555 ^b	17	0,03
Accroissement journalier 28-45 kg PV (g)	745	716	713	693	13	0,07
Accroissement journalier 14-45 kg PV (g/jour)	678 ^a	665 ^a	650 ^{ab}	620 ^b	12	0,007
Consommation d'aliments pour porcelets (kg/jour)	0,98	0,98	0,95	0,90	0,03	0,19
Consommation d'aliments d'engraissement (kg/jour)	1,49	1,52	1,47	1,48	0,02	0,56
Indice de consommation (MJ/kg)	24,7	25,2	25,1	25,6	0,31	0,20

SE = erreur standard par rapport à la moyenne; P = probabilité d'erreur calculée lors de l'analyse de variance; sur une ligne, les chiffres munis de lettres différentes sont significativement différents (test de Newman-Keuls; P < 0,05).

Cette diminution de la vitesse de croissance des porcs en présence d'un excédent en Ca et en P est connue (Reinhardt et Mahan, 1986; Hall *et al.*, 1991) aussi bien qu'avec un apport insuffisant en P (Underwood et Suttle, 1999; Guilou *et al.*, 2007). La croissance rapide des animaux du groupe P- indique que l'apport réduit en minéraux de la variante P- n'a pas engendré de sous-alimentation marquée. L'apport différent en minéraux n'a pas eu d'impact sur l'ingestion d'aliments et sur l'indice de consommation (tabl. 3).

Aplomb et valeurs sanguines

Les résultats de l'examen des membres de l'animal vivant (boïteries, enflures dans la région des carpes et des jarrets, formation de bourses) étaient similaires dans les quatre variantes (P = 0,16, test de Kruskal-Wallis).

Les apports différents de Ca et de P n'ont pas eu d'impact sur la phosphatase alcaline (PA), un enzyme qui augmente dans le sang lors de carences en Ca et en P (tabl. 4). Les animaux de 40 kg de la variante P- présentaient la plus forte concentration en phosphate dans le plasma. Etant donné que plus la sous-alimentation en P croît, plus il faut s'attendre à une diminution de la teneur en phosphate dans le sang, ce résultat indique qu'il n'y a pas de carence flagrante en P dans la variante P-.

Les valeurs enregistrées dans toutes les variantes se trouvent dans le domaine normal de > 2,5 mmol/l indiqué par Reinhardt et Mahan (1986).

Il est connu que la concentration de la phosphatase alcaline dans le sang, tout comme celle du P, diminue avec l'âge des animaux, vraisemblablement en relation avec la réduction de l'activité

Tableau 4. Teneurs en phosphatase alcaline (PA) et en phosphate (P) dans le plasma sanguin.

	P-	P	P+	P++	SE	P
PA à 25 kg (U/l)	278	244	265	252	12	0,20
PA à 40 kg (U/l)	200	196	213	200	8	0,45
P à 25 kg (mmol/l)	3,17	3,07	3,07	3,20	0,06	0,29
P à 40 kg (mmol/l)	3,00 ^a	2,82 ^b	2,87 ^{ab}	2,81 ^{ab}	0,04	0,04

SE = erreur standard par rapport à la moyenne; P = probabilité d'erreur calculée lors de l'analyse de variance; sur une ligne, les chiffres munis de lettres différentes sont significativement différents (test de Newman-Keuls; P < 0,05).

Tableau 5. Minéralisation et résistance à la rupture des métacarpes.

	P-	P	P+	P++	SE	P
CE ¹ (g/kg MS)	509	510	516	512	4	0,70
Ca (g/kg MS)	178 ^b	181 ^{ab}	184 ^a	180 ^{ab}	2	0,07
P (g/kg MS)	88	89	91	89	0,8	0,10
Force à 25 mm d'écartement ² (N)	16,6 ^b	17,5 ^{ab}	19,8 ^a	18,2 ^{ab}	0,8	0,06
Force à 40 mm d'écartement ² (N)	11,2 ^b	12,2 ^a	12,9 ^a	13,0 ^a	0,3	0,001

Sur une ligne, les chiffres munis de lettres différentes sont significativement différents (test de Newman-Keuls; P < 0,05); SE = erreur standard par rapport à la moyenne; P = probabilité d'erreur calculée lors de l'analyse de la variance.

¹CE = cendres (somme des minéraux); ²force maximale nécessaire pour briser l'os à 25 ou 40 mm d'écartement, exprimée en Newton (N) par kg de poids mort.

métabolique osseuse. C'est pourquoi le sang des animaux de 25 kg présentait une concentration de PA et de P plus élevée que celui des porcs de 40 kg.

Etat osseux

L'évaluation visuelle du cartilage des articulations et des zones de croissance du bras (fig. 2), de l'avant-bras et de la cuisse a montré que seuls quelques cas présentaient de petites lésions d'ostéochondrose, sans distinction entre les quatre variantes (P = 0,50). La teneur en cendres brutes des métacarpes analysés ne différait pas non plus entre les quatre variantes (tabl. 5). Elle se situait dans le domaine des valeurs standard pour les porcs (450 g/kg MS à 15 kg de PV, 550 g/kg MS à 85 kg de PV) indiquées par Reinhardt et Mahan (1986).

Des différences tendancielle se sont par contre manifestées entre les variantes pour la teneur en calcium et pour la fragilité osseuse mesurée avec un écart de 25 mm entre les surfaces d'appui. Les os des animaux du groupe P- contenaient moins de Ca (P = 0,07) et se brisaient plus facilement (P = 0,06) que ceux des animaux du groupe P+. La résistance à la rupture enregistrée dans les zones de croissance cartilagineuses, avec des surfaces d'appui distantes de 40 mm, était nettement plus faible dans la variante P- que dans les variantes P, P+ et P++, qui ne se différenciaient guère entre elles. Cela peut signifier que soit la zone de croissance cartilagineuse

neuse, soit la zone de transition entre la zone de croissance et l'os ont été affaiblies de manière significative par la réduction de l'apport en minéraux. Les analyses chimiques et physiques des os montrent qu'avec un apport en P réduit de 20% par rapport aux recommandations d'ALP, la minéralisation et la résistance des os à la rupture diminuent en particulier dans les zones de croissance. La différence est surtout marquée par rapport à la variante P+, ce qui peut être interprété de la façon suivante: l'apport en minéraux de la variante P+ permet d'obtenir la plus forte minéralisation osseuse et la meilleure résistance à la rupture et devrait être recommandé dans les cas où un bon aplomb est particulièrement important. Il faut toutefois préciser que la variante P+ ne s'est jamais différenciée de manière significative de la variante P dans les paramètres analysés. En outre, deux études américaines sur trois indiquent qu'un apport élevé de phosphore aux jeunes animaux d'élevage n'a pas d'impact sur l'apparition de la faiblesse des pattes et sur la longévité des truies (Nimmo *et al.*, 1981; Arthur *et al.*, 1983; Kornegay *et al.*, 1984).

Conclusions

- ❑ L'apport en phosphore digestible (PDP) le plus élevé a freiné la croissance sans influencer favorablement les paramètres des os examinés, alors que l'apport en phosphore inférieur aux recommandations d'ALP a nettement réduit la dureté des os dans la zone de croissance cartilagineuse.
- ❑ Aucune différence significative n'a été enregistrée entre les animaux qui ont reçu un apport en PDP conforme ou supérieur aux recommandations d'ALP.
- ❑ Au vu des résultats, il n'est pas exclu qu'un apport en PDP de 20% supérieur aux recommandations d'ALP puisse augmenter la minéralisation osseuse et la résistance des os à la rupture; il ne paraît toutefois pas nécessaire de modifier ces recommandations concernant l'apport en PDP pour les porcelets et les goretts.

Zusammenfassung

Phosphorzufuhr und Beinschwäche bei wachsenden Schweinen

In einem Fütterungsversuch mit Schweinen im Gewichtsbereich 15-45 kg Lebendgewicht (LG) wurde die von ALP empfohlene Zufuhr an verdaulichem Phosphor (VDP) überprüft. Die Kontrolltiere (P) erhielten Futter mit dem empfohlenen Gehalt an VDP, während das Futter der drei Versuchsgruppen P-, P+ und P++ 20% weniger bzw. 20% und 40% mehr VDP enthielt. Das Verhältnis von Kalzium (Ca) zu VDP betrug in allen Rationen 2,8:1. Die Schweine P++ wuchsen langsamer als die Schweine P und P- (620 g gegenüber 665 und 680 g, $P < 0,001$). Die um 20% reduzierte Mineralstoffzufuhr im Futter P- hatte zur Folge, dass die Mittelhandknochen der mit 45 kg LG geschlachteten Tiere P- weniger Ca enthielten ($P < 0,05$) und bei geringerer mechanischer Belastung brachen ($P < 0,05$) als die Knochen der Tiere P+. Das Ausmass von Knorpeldefekten an den Beinknochen sowie der Asche- und Phosphorgehalt der Knochen wurde durch die unterschiedliche Mineralstoffzufuhr nicht beeinflusst. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die von ALP für wachsende Schweine empfohlene Zufuhr an Ca und VDP eine gute Knochenbildung gewährleistet.

Summary

Phosphorus intake and leg weakness in growing pigs

The 15 Large White pigs of the control group which were fed according to the Swiss recommendations received a piglet diet containing 0.32 g of digestible phosphorus (DP) per MJ digestible energy (DE) until 25 kg body weight (BW) and a grower diet containing 0.26 g DP per MJ DE until they were slaughtered at 45 kg BW. The diets of the three experimental groups, each comprising 15 piglets, contained either 20% less (P-) or 20% (P+) and 40% (P++) more DP than the diets P of the control group. The ratio of Ca to DP was 2.8 to 1 in all diets. The pigs P++ had a lower daily weight gain than pigs P and P- (620 g vs. 665 and 680 g, $P < 0.001$). Osteochondrosis scores were unaffected by DP intake. There was no treatment effect on metacarpal bone ash and phosphorus concentration, but the calcium concentration and the strength of the metacarpal bone was lower ($P < 0.05$) in animals fed diet P- compared to animals fed diet P+. In conclusion, the mineral level of the starter and grower diet P that corresponds to the Swiss feeding recommendations for pigs allows for the development of sound bones in growing pigs.

Key words: phosphorus, pig, bone mineralisation, bone strength.

Bibliographie

- Aeschlimann C. & Spring P., 2004. Beinschwächen: Unterversorgung mit Kalzium und Phosphor verboten. Unterlagen Kurs Schweinehaltung 2004 (Hsg. Agridea).
- ALP, 2004. Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour porcs. LmZ, Zollikofen, 242 p.
- Arthur S. Kornegay E., Thomas H., Veit H., Notter D. & Barczewski R., 1983. Restricted energy intake and elevated calcium and phosphorus intake for gilts during growth. Characterization of feet and limbs and soundness scores of sows during three parities. *J. Anim. Sci.* **56**, 876-886.
- Guillou D., Lahaye L., Landeau E. & Upton E., 2007. Influence de la source de phosphate inorganique dans l'aliment du porc charcutier sur les performances zootechniques et la minéralisation osseuse. *Journées Recherche porcine* **39**, 89-94.
- Hall D., Cromwell G. & Stahl T., 1991. Effects of dietary calcium, phosphorus, calcium: phosphorus ratio and vitamin K on performance, bone strength and blood clotting status of pigs. *J. Anim. Sci.* **69**, 646-655.
- Kornegay E., Diggs B., Hale O., Handlin D., Hitchcock J. & Baczewski R., 1984. Reproductive performance of sows fed elevated calcium and phosphorus levels during growth and development. A cooperative study. *J. Anim. Sci.* **59** (Suppl. 1): 253 (Abstr.).
- Luther H., Hofer A. & Schwörer D., 2007. Zucht gegen Osteochondrose. *Suisseporcs information* 1/2007, 10-11.
- Nimmo R., Peo E., Crenshaw J., Moser B. & Lewis A., 1981. Effects of level of dietary calcium-phosphorus during growth and gestation on calcium-phosphorus balance and reproductive performance of first-litter sows. *J. Anim. Sci.* **52**, 1343-1349.
- Reinhardt G. A. & Mahan D. C., 1986. Effects of various calcium:phosphorus ratios at low and high dietary phosphorus for starter, grower and finishing swine. *J. Anim. Sci.* **63**, 457-466.
- Underwood E. J. & Suttle N. F., 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd edition. CABI Publishing.