

## **Valeur alimentaire, pour le porc, de féveroles presque isogéniques contenant ou non des tanins et à forte ou faible teneur en vicine et convicine**

F. GROSJEAN (1), P. CERNEAU (2), Anne BOURDILLON (2), D. BASTIANELLI (3)\*, Corinne PEYRONNET (3), G. DUC (4)

(1) I.T.C.F. - 8 avenue du Président Wilson, 75116 Paris

(2) GLON-SANDERS - 104 avenue du Président Kennedy, 75781 Paris Cedex 16

(3) U.N.I.P. - 12 avenue George V, 75008 Paris

(4) I.N.R.A., Station de Génétique et Amélioration des Plantes - Domaine d'Époisses, 21110 Bretenières

### **Valeur alimentaire, pour le porc, de féveroles presque isogéniques contenant ou non des tanins et à forte ou faible teneur en vicine et convicine**

Un essai de digestibilité fécale a été conduit pour mesurer les effets de la teneur en tanins, en vicine et en convicine sur la valeur alimentaire de féveroles. Dix lots de féveroles dont certains étaient presque isogéniques ont été étudiés. Ces lots étaient incorporés à 50 % dans des aliments présentés en farine et contenant 46 % d'un régime de base et 4% d'aliment minéral vitaminé. Les valeurs de digestibilité des féveroles ont été calculées avec la méthode "par différence".

La digestibilité apparente des protéines des féveroles sans tanins est supérieure à celle mesurée dans les féveroles avec tanins (88,4 contre 80,0 %). La digestibilité de l'énergie et la teneur en énergie digestible sont également supérieures (90,0 contre 78,7 % et 3990 contre 3520 kcal/kg MS). Ces résultats peuvent s'expliquer principalement par l'effet des tanins et dans une moindre mesure par l'effet des fibres. En effet, les féveroles sans tanins ont des teneurs en fibres plus faibles que les celles contenant des tanins. La digestibilité des protéines et celle de l'énergie sont peu affectées par la teneur en vicine et en convicine.

### **Feeding value, for pig, of near isogenic faba beans containing or not tannins and with high or low levels of vicine or convicine**

A faecal digestibility trial was carried out in order to determine the effects of tannins, vicine and convicine on the nutritional value of faba beans. Ten faba bean batches including near isogenic batches were studied. To the same basal meal diet (46 %) and mineral plus vitamin premix (4 %) were added the batches of beans at an inclusion rate of 50 %. Digestibility values of faba bean batches were calculated using the "difference method".

Apparent protein digestibility of faba beans without tannins was higher than with tannins (88.4 vs. 80.0 %). Energy digestibility and digestible energy were also higher (90.0 vs. 78.7 % and 16.7 vs. 14.7 MJ/kg DM). These results can be explained mainly by the effect of tannins and to a lesser extent by the effect of fibre, because tannin-free faba beans have lower fibre levels than faba beans which contain tannins. Lastly, vicine and convicine levels had little effect on protein and energy digestibility.

## INTRODUCTION

L'utilisation de la féverole dans l'alimentation du porc a été étudiée depuis de nombreuses années (NEWTON et HILL, 1983) et les études ont conclu à une limitation de cette légumineuse dans les aliments en raison des facteurs antinutritionnels qu'elle contient. Les principaux facteurs antinutritionnels sont des tanins que l'on suspecte de réduire la digestibilité de la protéine et parfois de l'énergie des graines (JANSMAN et al, 1993a ; GROSJEAN et al, 1995). Les autres facteurs antinutritionnels sont la vicine et la convicine mais ces facteurs semblent jouer un rôle surtout dans l'alimentation des volailles et notamment chez la poule pondeuse (MUDUULI et al, 1981).

Cependant les essais d'investigation des effets des facteurs antinutritionnels posent question. En effet certains de ces essais ont comparé globalement un faible nombre de variétés comportant ou non des tanins ; d'autres essais ont mesuré les conséquences de l'addition de coques provenant de variétés à fleurs blanches ou à fleurs colorées à un aliment sans féverole (JANSMAN et al, 1993b ; JANSMAN et al, 1995). Dans le premier type d'essai, la comparaison de variétés avec ou sans tanins introduisait d'autres différences de composition chimique entre ces variétés que les tanins : c'est ainsi que le taux de fibres était plus élevé dans les variétés contenant des tanins et les résultats ne pouvaient pas être attribués exclusivement aux tanins. Dans le deuxième type d'essai, la teneur en fibres des régimes pouvait être excessive par rapport à celle des aliments habituels. Enfin, en ce qui concerne la mesure de l'effet de la vicine et de la convicine, il n'apparaît pas souhaitable de tester l'addition d'extraits de féverole à des régimes sans féverole comme cela a été fait en volaille car ceci introduit un biais du fait que les extraits peuvent avoir une action différente de celle qu'ils ont *in situ*. Aussi, une autre voie pour mesurer l'effet des facteurs antinutritionnels consiste à comparer entre eux des génotypes presque isogéniques. Nous nous sommes donc proposé de comparer de tels génotypes pour mesurer l'effet des tanins et de la vicine et convicine puisque l'absence de tanins (ou plus exactement la quasi-absence de tanins), couplée au caractère 'fleurs blanches', et la teneur plus faible en vicine et convicine sont sous dépendance génétique. L'absence de tanins dans les féveroles est due à la présence du gène *zt1* ou du gène *zt2*, alors que la réduction des teneurs en vicine et convicine dépend du gène *vc* (DUC et al, 1999). Nous avons introduit dans notre comparaison de

génotypes comportant ou non des tanins des génotypes divers, notamment un génotype sans tanins du fait du gène *zt2* puisque ce gène n'était probablement pas présent dans les féveroles sans tanins étudiées dans les essais d'alimentation publiés antérieurement. Le travail présenté ci-dessous complète un travail similaire conduit sur coqs (GROSJEAN et al, 2000) et a été réalisé dans le cadre du programme européen PEA ECLAIR (Agrée 0048).

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. Matériel végétal

Nous avons étudié 10 lots de féverole. L'origine génétique de ces lots est présentée au tableau 1. Ces 10 lots étaient composés de 6 lots de printemps et de 4 lots d'hiver qui ont été sélectionnés pour représenter une diversité de composition chimique. Les deux groupes ont été multipliés respectivement par les Etablissements Blondeau (Bersée, France) en 1991 et par l'INRA (Rennes, France) en 1992. Parmi ces lots, 4 lots 'EB' représentaient un quadruplet de génotypes presque isogéniques (avec ou sans tanins, et avec ou sans vicine convicine) développés par l'INRA (Dijon, France) avec les gènes *zt1* et *vc*. Deux autres lots presque isogéniques quant à leur teneur en tanins contrôlée par le gène *zt1* ('E302' et 'Fabiola') étaient originaires de l'INRA (Rennes, France). Deux autres lots, non isogéniques ont été étudiés, et notamment un lot sans tanins, dénommé 'EE' et dont l'absence de tanins est sous la dépendance du gène *zt2*.

### 1.2. Composition chimique des féveroles

Les différents critères analysés figurent au tableau 2. Les méthodes d'analyse utilisées ont été décrites par BASTIANELLI et al (1998) dans une étude concernant le pois et par DUC et al (1999).

### 1.3. Essai de digestibilité

L'essai de digestibilité a été réalisé à la Station de Recherche de Sanders (Sourches, France).

Les mesures entreprises ont suivi la procédure décrite par JONDREVILLE et al (1992). Un régime témoin a été comparé aux régimes expérimentaux comportant de la féverole. Le régime témoin était composé de 96 % d'un régime de base

Tableau 1 - Présentation des féveroles

Groupe isogénique	Tanins	Vicine convicine	Type
EB	[T <sup>-</sup> ] (gène <i>zt1</i> )	[V <sup>+</sup> ]	printemps
EB	[T <sup>-</sup> ] (gène <i>zt1</i> )	[V <sup>-</sup> ] (gène <i>vc</i> -)	printemps
EB	[T <sup>+</sup> ]	[V <sup>+</sup> ]	printemps
EB	[T <sup>+</sup> ]	[V <sup>-</sup> ] (gène <i>vc</i> -)	printemps
Fabiola	[T <sup>-</sup> ] (gène <i>zt1</i> )	[V <sup>+</sup> ]	hiver
cv Fabiola	[T <sup>+</sup> ]	[V <sup>+</sup> ]	hiver
302	[T <sup>-</sup> ] (gène <i>zt1</i> )	[V <sup>+</sup> ]	hiver
302	[T <sup>+</sup> ]	[V <sup>+</sup> ]	hiver
EE	[T <sup>-</sup> ] (gène <i>zt2</i> )	[V <sup>-</sup> ] (gène <i>vc</i> -)	printemps
cv Robin	[T <sup>+</sup> ]	[V <sup>+</sup> ]	printemps

**Tableau 2** - Composition chimique et énergie brute des féveroles

<b>Lots de féveroles</b> (présentés par groupe isogénétique )	<b>Poids de 1000 graines</b> (g MS)	<b>Protéine brute</b> (g/kg MS)	<b>Amidon</b> (g/kg MS)	<b>Matière grasse</b> (g/kg MS)	<b>Sucres</b> (g/kg MS)	<b>Cendres</b> (g/kg MS)	<b>Cellulose brute</b> (g/kg MS)	<b>ADF</b> (g/kg MS)	<b>NDF</b> (g/kg MS)	<b>Parois insolubles</b> (g/kg MS)	<b>Tanins</b> (g/kg MS)	<b>Vicine</b> (g/kg MS)	<b>Convicine</b> (g/kg MS)	<b>Energie brute</b> (kcal/kg MS)
<b>EB</b> [T-] [V+]	599	311	425	20	41	41	92	102	134	127	0,1	3,4	2,5	4428
<b>EB</b> [T-] [V-]	580	302	441	18	42	39	94	108	167	172	0,1	0,5	0,2	4439
<b>EB</b> [T+] [V+]	657	308	434	18	36	44	91	109	174	174	6,0	3,8	2,6	4506
<b>EB</b> [T+] [V-]	626	304	420	18	36	39	91	109	173	185	5,5	0,2	0,1	4501
<b>Fabiola</b> [T-] [V+]	415	302	419	16	40	40	93	111	177	184	0,2	10,4	1,8	4383
<b>cv Fabiola</b> [T+] [V+]	483	304	403	17	37	43	118	121	217	189	10,4	10,1	4,3	4405
<b>302</b> [T-] [V+]	443	305	431	21	37	40	99	114	181	184	0,1	9,6	1,7	4441
<b>302</b> [T+] [V+]	694	322	390	22	42	42	96	128	179	188	4,5	9,7	2,3	4521
<b>EE</b> [T-] [V-]	517	316	444	17	47	41	78	86	167	167	0,1	0,6	0,1	4455
<b>cv Robin</b> [T+] [V+]	376	317	404	18	37	40	93	98	174	170	5,6	5,1	2,6	4444
<b>Moyenne lots iso sans tanins (n=4)</b>	509,3	305,0	429,0	18,8	40,0	40,0	94,5	108,8	164,8	166,8	0,1	6,0	1,6	4423
<b>Moyenne lots iso avec tanins (n=4)</b>	615,0	319,5	411,8	18,8	37,8	42,0	99,0	116,8	188,8	184,0	6,6	6,0	2,3	4483
<b>Moyenne génotypes sans tanins (n=5)</b>	514,5	302,3	432,8	18,3	43,5	41,5	90,7	105,5	169,8	169,8	0,1	5,8	1,5	4418
<b>Moyenne génotypes avec tanins (n=5)</b>	568,8	302,8	413,0	18,8	37,7	42,3	97,8	113,7	187,3	185,3	6,7	6,4	2,4	4454

(lui-même composé d'amidon de maïs, d'isolat protéique de soja, de sucre, d'huile de colza et de cellulose) et de 4 % d'un prémix minéral/vitamines. Les régimes expérimentaux étaient composés de 46 % du régime de base, 50 % de féverole et de 4 % du prémix minéral/vitamines. Les matières premières ont été broyées au broyeur à marteaux équipé d'une grille de 3 mm.

Quatre porcs mâles castrés d'un poids vif de 30 à 40 kg ont été affectés à chaque régime. La quantité d'aliments distribuée aux animaux a été ajustée au poids vif des animaux de façon à ce que l'apport alimentaire soit légèrement inférieur à la consommation *ad libitum*. Les animaux ont eu une période d'adaptation de 10 jours suivie par une période de collecte totale de 10 jours. Les fèces ont été récoltées quotidiennement et stockées à  $-18^{\circ}\text{C}$ . A la fin de la période expérimentale les fèces ont été regroupées par animal et échantillonnées pour analyse.

Les analyses d'aliments et d'excréta (matière sèche, azote, cendres) ont été réalisées en double. L'énergie brute des féveroles, des aliments et des excréta a été mesurée en triple avec une bombe calorimétrique adiabatique.

L'énergie digestible apparente des aliments a été calculée par différence entre l'énergie brute de l'aliment et l'énergie brute des fèces. L'énergie digestible des féveroles a été calculée par différence, en prenant compte l'énergie digestible du régime témoin. De même, la digestibilité apparente de la matière organique et la digestibilité de la protéine ont été déterminées pour les régimes contenant ou non de la féverole et ont conduit au calcul de la digestibilité de ces critères pour chaque lot de féverole.

## 2. RÉSULTATS, DISCUSSION

### 2.1. Composition des féveroles

Les féveroles presque isogéniques comportant le gène *zt1* ont tendance à avoir un poids de mille grains plus faible, une teneur en fibres plus faible et une teneur en amidon plus élevée que les féveroles contenant des tanins, mais aucun de ces effets n'était significatif. Le génotype 'EE' comportant le gène *zt2* montrait des teneurs plus faibles en ADF, NDF et parois insolubles dans l'eau. Cette observation confirme le travail de DUC et al (1999). Les féveroles contenant le gène *vc* ne semblent pas avoir eu leur composition chimique affectée par ce gène à l'exception de la teneur en vicine et convicine (tableau 2, p 207).

La liaison entre teneur en tanins et teneur en fibres chez des génotypes presque isogéniques s'expliquerait par le phénomène de pléiotropie.

### 2.2. Valeur nutritionnelle des féveroles

Les résultats de digestibilité figurent au tableau 3.

Dans la comparaison des 4 féveroles presque isogéniques 'EB', les lots sans tanins ont une digestibilité de leur matière organique, de leur énergie et de leur protéine plus forte que celle des lots contenant des tanins (respectivement 89,8 contre 80,8 % ; 89,6 contre 78,5 % et 87,9 contre 80,1 %). Leur teneur en énergie digestible est également supérieure (3965 contre 3520 kcal/kg MS,  $P < 0,001$ ).

Cette observation se retrouve dans la comparaison globale des 10 lots de féverole. Les génotypes sans tanins ont une

**Tableau 3** - Résultats de digestibilité des lots de féveroles

Lots de féverole (présentés par groupe isogénique)		Digestibilité matière organique (%)	Digestibilité de l'énergie (%)	Énergie digestible (kcal/kg MS)	Digestibilité des protéines (%)
<b>EB</b>	[T <sup>-</sup> ] [V <sup>+</sup> ]	90,5	94,3	4177	90,7
<b>EB</b>	[T <sup>-</sup> ] [V <sup>-</sup> ]	89,3	88,2	3913	89,1
<b>EB</b>	[T <sup>+</sup> ] [V <sup>+</sup> ]	80,9	76,7	3454	82,9
<b>EB</b>	[T <sup>+</sup> ] [V <sup>-</sup> ]	82,2	81,0	3645	79,5
<b>Fabiola</b>	[T <sup>-</sup> ] [V <sup>+</sup> ]	89,1	86,3	3782	85,2
<b>cv Fabiola</b>	[T <sup>+</sup> ] [V <sup>+</sup> ]	80,7	78,5	3457	78,9
<b>302</b>	[T <sup>-</sup> ] [V <sup>+</sup> ]	90,3	89,8	3989	86,7
<b>302</b>	[T <sup>+</sup> ] [V <sup>+</sup> ]	79,3	77,9	3522	79,2
<b>EE</b>	[T <sup>-</sup> ] [V <sup>-</sup> ]	92,5	91,6	4082	90,2
<b>Fcv Robin</b>	[T <sup>+</sup> ] [V <sup>+</sup> ]	80,0	79,6	3539	79,3
<b>Moyenne lots isogéniques sans tanins (n=4)</b>		89,8	89,6	3965	87,9
<b>Moyenne lots isogéniques avec tanins (n=4)</b>		80,8	78,5	3520	80,1
<b>P</b>		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>Moyenne des génotypes sans tanins (n=5)</b>		90,3	90,0	3990	88,4
<b>Moyenne des génotypes avec tanins (n=5)</b>		80,6	78,7	3520	80,0
<b>P</b>		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

digestibilité de la matière organique supérieure à celle des génotypes avec tanins (90,3 contre 80,6 %,  $P < 0,001$ ). Ils montrent une digestibilité de leur énergie également plus élevée (90,0 contre 78,7 %,  $P < 0,001$ ); en conséquence, l'énergie digestible des féveroles sans tanins est supérieure à celle des féveroles avec tanins de 470 kcal/kg MS (3990 contre 3520 kcal/kg MS en moyenne,  $P < 0,001$ ). Le génotype 'EE' ayant le gène *zt2* se comporte comme les autres génotypes sans tanins, tout en présentant une digestibilité de l'énergie parmi les plus élevées. Enfin, il est à noter chez les 5 féveroles sans tanins des corrélations intéressantes et, proches de  $P = 0,10$ , entre leur énergie digestible et leur teneur en fibres ( $R = -0,80$   $P < 0,10$  avec les parois insolubles, et  $R = -0,75$  avec le NDF) – les mêmes corrélations dans les féveroles à tanins n'ayant pas été recherchées du fait de la faible variabilité de la teneur en énergie digestible.

La supériorité de la digestibilité de l'énergie observée avec les féveroles sans tanins est en accord avec la plupart des résultats publiés (DUÉE et al, 1979 ; GROSJEAN et al, 1995 ; VAN DER POEL et al, 1992) mais s'oppose aux résultats de BOURDON et PÉREZ (1992). Par ailleurs, cette conclusion est similaire à ce qui est observé dans la comparaison de pois avec ou sans tanins (GROSJEAN et al, 1998).

La digestibilité fécale des protéines dans les 5 variétés sans tanins est supérieure à celles des variétés avec tanins (88,4 contre 80,0 %,  $P < 0,001$ ). Le génotype EE ayant le gène *zt2* présente, comme les autres génotypes sans tanins, une forte digestibilité de l'azote, mais avec une valeur se situant parmi les plus élevées. Enfin, chez les 5 féveroles sans tanins, les corrélations entre digestibilité des protéines et teneurs en fibres sont relativement élevées ( $R = -0,78$  avec les parois insolubles, et  $-0,76$  avec le NDF) avec une probabilité légèrement supérieure à 0,10.

La différence de digestibilité fécale des protéines entre génotypes ayant ou non des tanins confirme les nombreux travaux publiés sur le sujet - travaux réalisés probablement avec des génotypes contenant le gène *zt1* (DUÉE et al, 1979 ; HEINZ et al, 1991 ; BOURDON et PÉREZ, 1992 ; VAN DER POEL et al, 1992 ; JANSMAN et al, 1993a). Ce résultat est également en accord avec les comparaisons entreprises dans des essais de digestibilité iléale (HEINZ et al, 1991 ; GRALA et al, 1993 ; JANSMAN et al, 1993a ; GROSJEAN et al, 1995 ; MOSENTHIN et al, 1993). Par ailleurs, cette conclusion est similaire à ce qui est observé dans la comparaison de pois avec ou sans tanins (GROSJEAN et al, 1998).

Les différences observées sur la digestibilité fécale apparente de l'énergie et de la protéine entre lots peuvent être attribuées principalement à la présence des tanins, ceux-ci ayant à la fois un effet sur la digestibilité réelle des féveroles et un effet sur l'augmentation des pertes azotées endogènes (JANSMAN et

al, 1995). Une autre partie des différences observées trouverait son explication dans les différences de teneurs en fibres des lots étudiés, comme le suggèrent les corrélations entre teneurs en fibres et l'énergie digestible ou la digestibilité des protéines chez les féveroles sans tanins dans notre travail, et comme cela a été montré chez la féverole par JANSMAN et al (1995) et chez différentes matières premières par GÂTEL (1993). L'effet des fibres expliquerait de plus, la tendance à une forte digestibilité chez le génotype EE.

Les effets de la présence de vicine et de convicine, étudiés au travers les résultats de digestibilité obtenus avec les 4 féveroles isogéniques EB, se révèlent faibles. Par exemple, la présence de ces glucosides augmente en moyenne de 2,5 points la digestibilité de la protéine des féveroles ( $P = 0,04$ ). De plus, ces effets se révèlent marqués par une interaction ( $P < 0,001$ ) avec la présence de tanins pour ce qui est de la digestibilité de l'énergie et de la teneur en énergie digestible : ces valeurs augmentent avec la présence de vicine/convicine dans les génotypes sans tanins alors qu'elles diminuent dans les génotypes contenant des tanins.

## CONCLUSIONS

Notre essai confirme que les génotypes de féveroles sans tanins ont une meilleure digestibilité de leur protéine et de leur énergie que les variétés contenant des tanins. Cet effet peut être attribué principalement aux tanins, et ce quel que soit le gène *zt1* ou *zt2* responsable de leur présence. Cet effet peut aussi être attribué dans une moindre mesure à la plus faible teneur en fibres des variétés sans tanins. La sélection de féveroles sans tanins est donc doublement bénéfique par la réduction de la teneur en tanins et la réduction de la teneur en fibres.

Par ailleurs, un génotype portant le gène zéro-tanin *zt2*, a extériorisé des digestibilités apparentes de l'énergie et de l'azote élevées qui pourraient s'expliquer par le fait que ce gène *zt2* semble associé à une plus forte réduction de la teneur en fibres des graines que le gène zéro-tanin *zt1*. Cette observation, unique pour le moment, incite à compléter nos connaissances sur le sujet, avant de recommander aux sélectionneurs de féverole d'utiliser le gène *zt2*.

Enfin, la présence de vicine et de convicine ne semble pas avoir d'effet important chez le porc. Cependant, en raison du faible nombre de lots de féveroles testés dans notre essai, ce résultat nécessite d'être confirmé, notamment dans des dispositifs en factoriel incluant la présence / absence de tanins.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été partiellement financé par la Commission des Communautés Européennes que les auteurs remercient.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BASTIANELLI D., GROSJEAN F., PEYRONNET C., et al., 1998. Anim. Sci., 67, 609-619.
- BOURDON D., PÉREZ J.M., 1992. Energy and protein values of faba beans for pigs: synthesis of French results. In : First European Conference on Grain Legumes, Angers. AEP, Eds. Paris, 521-522.

- DUC G., MARGET P., ESNAULT R., et al., 1999. *J. Agric. Sci. Cambridge*, 133, 185-196.
- DUÉE P.H., BOURDON D., GUILBAULT, L., et al., 1979. *Journées Rech. Porcine en France*, 11, 277-282.
- GÂTEL F., 1993. Dietary factors affecting protein digestibility in pigs. In : *Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*, Verstegen M.W.A., Den Hartog L.A., Van Kempen G.J.M., Metz J.H.M. eds. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 70-89.
- GRALA J., JANSMAN A.J.M., VAN LEUWEN P., et al., 1993. *J. Anim. and Feed Sci.*, 2, 169-179.
- GROSJEAN F., BARRIER-GUILLOT B., JONDREVILLE C., PEYRONNET C., 1995. Feeding value of different cultivars of faba beans, In : *Proceedings of the 2nd European Conference on Grain Legumes*, Copenhagen, 9-13 Jul. 1995, AEP Ed. Paris, p 308-309.
- GROSJEAN F., BASTIANELLI D., BOURDILLON A., et al., 1998. *Anim. Sci.*, 67, 621-625.
- GROSJEAN F., BOURDILLON A., RUDEAUX F., et al., 2000. *Sciences et Techniques Avicoles*, 32, 17-23.
- HEINZ T., SOUFFRANT W.B., HUISMAN J., 1991. Apparent and true digestibility on ANF containing legume seeds measured by <sup>15</sup>N technique. 42nd meeting of the EAAP, Berlin. Pig Production Commission session 3, paper 9.
- JANSMAN A.J.M., HUISMAN J., VAN DER POEL A.F.B., 1993a. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 42, 83-96.
- JANSMAN A.J.M., VERSTEGEN M., HUISMAN J., 1993b. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 43, 239-257.
- JANSMAN A.J.M., VERSTEGEN M., HUISMAN J., VAN DEN BERG J.W.O., 1995. *J. Anim. Sci.*, 73, 118-127.
- JONDREVILLE C., GROSJEAN F., BURON G., et al., 1992. *J. Anim. Physiol. and Anim. Nut.*, 68, 113-122.
- MOSENTHIN R., SAUER W.C., LIEN K.A., DE LANGE C.F.M., 1993. *J. Anim. Physiol. and Anim. Nut.*, 70, 253-265.
- MUDUULI D.S., MARQUARDT R.R., GUENTER W., 1981. *Can. J. Anim. Sci.*, 61, 757-764.
- NEWTON S.D., HILL G.D., 1983. *Nutrition Abstracts and Reviews*, 53, 99-115.
- VAN DER POEL A.F.B., DELLAERT L.M., VAN NOREL A., HELSPER J.P.F.G., 1992. *Br. J. Nut.*, 68, 793-800.