Digestibilitat fecal i ileal del greix i els àcids grassos del porc en creixement

RESUM: *L'efecte del tipus de font grassa sobre la digestibilitat del mateix greix i dels àcids grassos fou estudiat en el porc en edat de creixement. La digestibilitat fecal i ileal foren mesurades, utilitzant diòxid de titani com a marcador inert de digestibilitat, en porcs sencers o bé amb anastomosi ileorectal, respectivament. Les dietes experimentals consistiren en cinc fonts grasses diferents afegides al 10 % a una dieta a base d'ordi: sèu vacum, oli de gira-sol alt oleic, oli de gira-sol, oli de llinosa i una mescla de greixos (5,5 % de sèu, 3,5 % d'oli de gira-sol i 1 % d'oli de llinosa).*

Excepte en el cas de les dietes basal i sèu, les digestibilitats aparents fecal i ileal foren relativament similars entre dietes i lloc de mesura, i el mateix fou observat per a la digestibilitat fecal aparent de la suma d'àcids grassos. En el cas de la digestibilitat aparent ileal del greix i suma d'àcids grassos, aquesta varià en funció de la composició en àcids grassos i fou inversament proporcional al contingut en àcids grassos saturats, a causa del fet que l'àcid palmític i l'esteàric presenten una menor digestibilitat ileal aparent. La digestibilitat ileal aparent de l'àcid linoleic en la dieta d'oli de gira-sol i del linolènic en la dieta d'oli de llinosa foren superiors a les digestibilitats de la resta d'àcids grassos en les respectives dietes; en el cas de l'àcid oleic no s'observaren diferències destacables. Tot i que les digestibilitats fecal i ileal aparents presenten valors similars, la digestibilitat fecal aparent dels àcids grassos insaturats fou superior a les corresponents digestibilitats aparents ileals. Aquest fet, juntament amb la menor (en alguns casos negativa) digestibilitat fecal aparent de l'àcid esteàric, suggereix que hi ha una biohidrogenació dels àcids grassos insaturats en el cec de l'animal. La mesura de la digestibilitat al final de l'ili proporciona una millor estimació de la digestibilitat del greix i els àcids grassos que a nivell fecal.

SUMMARY: *The effect of fat source on fat and fatty acid apparent faecal and ileal digestibility was studied in growing pigs. Faecal and ileal digestibilities were measured, using titanium dioxide as inert marker, in intact and ileo-rectally anastomosed pigs, respectively. Five different fat sources, added at 10 % to a barley based diet, were tested: tallow, high oleic sunflower oil, sunflower oil, linseed oil and a fat blend (5.5 % tallow, 3.5 % sunflower oil and 1 % linseed oil of diet).*

Except for basal diet and tallow, fat apparent faecal digestibility and apparent ileal digestibility were relatively similar among diets and site of measurements and the same was observed when it was obtained from the sum of fatty acids apparent faecal digestibility. However fat and sum of fatty acid apparent ileal digestibility varied according to dietary fatty acid composition and it was inversely related with the saturated fatty acid content, due to the lower apparent ileal digestibility of palmitic acid and stearic acid. Apparent ileal digestibility of linoleic acid in sunflower oil diet and linolenic acid in linseed oil diet were higher than the

PERE DURAN I
ENRIC ESTEVE-GARCIA
Departament de Nutrició Animal.
IRTA

DOI: 10.2436/20.2005.01.4

respective fatty acids of the other diets and no differences were observed for oleic acid. The apparent faecal digestibility of the unsaturated fatty acids was higher than the corresponding apparent ileal digestibility values, despite similar fat apparent ileal and faecal digestibilities. This together with the lower (in some cases negative) apparent faecal digestibility of stearic acid suggests that there is biohydrogenation of unsaturated fatty acids in the hindgut. Measurement at the end of the ileum should give a better estimation of digestibility of fat and fatty acids than at the faecal level.

PARAULES CLAU: porc, greix, àcids grassos, digestibilitat.

INTRODUCCIÓ

La utilització de matèries grasses com a font energètica ha estat àmpliament estudiada des de diversos punts de vista. A diferència de la nutrició humana contemporània occidental, el greix de les dietes utilitzat en porcs no excedeix nivells relativament baixos de fins al 10 %. El tipus i la quantitat de greix afegit tindran una repercussió en la fabricació de pinso, palatabilitat de l'aliment, qualitat i composició de la carn, posterior processament de la carn i, finalment, en la salut del consumidor.

La digestió i absorció dels greixos té lloc a l'intestí, però es pot dir que comença a l'estómac, on es donen els processos d'emulsió mitjançant els sucs gàstrics i l'acció proteolítica. La digestió del greix és més lenta que la d'altres nutrients, com les proteïnes o els polisacàrids, si bé la fibra seria un cas a part. Les sals biliars tenen la funció de resoldre un dels principals problemes de la digestió dels greixos, que és la seva insolubilitat en aigua. A l'entrada de l'intestí, amb la unió de la bilis, els sucs pancreàtics i les secrecions estomacals canvien les propietats fisicoquímiques de la barreja i permeten l'acció enzimàtica. Els productes de la digestió enzimàtica, com el glicerol, els àcids grassos, el monoacilglicerol i altres de menys comuns, com el lisofosfoglicerol o colesterol, poden ser absorbits per les cèl·lules intestinals del jejú i l'ili. Tot i així, una part entra al cec i a l'intestí gros (en el cas dels humans únicament a l'intestí gros), on té lloc la biohidrogenació dels àcids grassos insaturats per la flora intestinal. A diferència dels monogàstrics com el porc o l'home, en els remugants el procés de biohidrogenació per la flora intestinal té lloc abans de l'absorció a causa de les característiques del sistema digestiu. Aquest fet és important, ja que farà que aquests animals redueixin l'absorció dels greixos del tipus insaturat. La biohidrogenació en principi no provoca variacions substancials de la quantitat total del greix, fet que fa acceptable tant la mesura ileal com fecal del greix, però la mesura de la digestibilitat individual dels diferents àcids grassos podria afectar la mesura a nivell fecal, cosa que podria fer necessari que es fes la mesura a nivell ileal.

La digestibilitat, entesa com a absorció, difereix entre greixos i depèn de la composició de l'aliment, la composició del greix i la seva estructura molecular. Probablement el factor més important sobre la digestibilitat és la seva pròpia estructura molecular i es correlaciona amb la seva solubilitat en solucions aquoses i la seva capacitat d'interaccionar amb el medi aquós. Els triglicèrids són la part grassa més important que compon els aliments i la seva composició en àcids grassos és el que en determina la digestibilitat. En principi, incrementant el grau d'insaturació i disminuint la longitud de la molècula d'àcid gras, augmenta la digestibilitat del greix i dels àcids grassos. En greixos oliosos la digestibilitat és en general superior al 95 %, mentre que per a greixos amb un punt de fusió superior al de la temperatura de l'organisme, la digestibilitat disminueix ràpidament.

Per a aquest estudi es van realitzar dos experiments: un, per determinar si la composició en greix i àcids grassos de l'aliment es reflecteix en la digestibilitat fecal d'aquests; l'altre, per estudiar la digestibilitat ileal del greix i els àcids grassos.

En principi, incrementant el grau d'insaturació i disminuint la longitud de la molècula d'àcid gras, augmenta la digestibilitat del greix i dels àcids grassos

MATERIALS I MÈTODES

Per a la realització de l'estudi es van dur a terme dos experiments diferents, el protocol dels quals va ser aprovat pel Comitè Ètic de l'IRTA: un de digestibilitat fecal aparent

(DFa) i un altre d'ileal (DIa). En cadascun es van utilitzar dos grups de dotze animals mascles d'uns 45 kg de pes inicial. En l'experiment 2, els porcs van ser preparats quirúrgicament amb una anastomosi ileorectal (Laplace *et al.*, 1985) per permetre la recol·lecció del contingut ileal (figura 1).

Es van utilitzar sis dietes diferents: una dieta basal consistent en ordi i una premescla de vitamines i minerals, i cinc dietes amb greix afegit al 10 % a costa de l'ordi. Els greixos utilitzats foren sèu, oli de gira-sol alt oleic, oli de gira-sol, oli de llinosa o una mescla de greixos (5,5 % sèu, 3,5 % oli de gira-sol, 1 % oli de llinosa). Per tal de mesurar la digestibilitat, totes les dietes foren suplementades amb un marcador inert de digestibilitat, l'òxid de titani. En l'experiment 1 el sèu fou inclòs al 12 %, ja que era d'esperar una menor digestibilitat. Els animals foren assignats aleatòriament a un dels sis tractaments d'acord a un quadrat llatí de 6 × 6.

El contingut en matèria orgànica i grassa, entesa com a extracte eteri, fou analitzat d'acord amb els procediments descrits per l'AOAC (AOAC, 1990), i l'òxid de titani, d'acord amb el mètode descrit per Short *et al.* (1996). Els lípids per a la determinació d'àcids grassos foren extrets pel mètode de Folch *et al.* (1957) i els àcids grassos foren determinats per cromatografia de gasos, utilitzant l'àcid nonandecanoic com a estàndard intern.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

La composició de la dieta (taula 1) mostra que el contingut d'àcids grassos (AG) varia considerablement d'acord amb el tipus de greixos afegits i que cada dieta destaca per tenir un contingut elevat en un determinat tipus d'àcids grassos. Els resultats de digestibilitat es mostren a la taula 2. La digestibilitat de la matèria orgànica fou similar entre dietes i superior a nivell fecal (82 %) que a nivell ileal (78 %), la qual cosa era d'esperar, ja que al llarg de l'intestí gros part de la matèria orgànica no digerida

La digestibilitat dels AG difereix si es mesura a nivell ileal o a nivell fecal

al final de l'ili és degradada per la flora intestinal i/o absorbida pel mateix animal. Les dietes riques en greix van mostrar una digestibilitat fecal aparent (DFa) del greix similar (85 %) entre elles, i superior a la basal (29 %), la qual cosa suggereix que els lípids estructurals de l'ordi podrien tenir una menor digestibilitat que els lípids provinents dels greixos i olis afegits. Aquestes diferències també es podrien explicar pel major impacte de les secrecions endògenes de greixos sobre la DFa (Jorgensen i Fernández, 2000) en dietes amb continguts molt baixos de greix, com és la dieta basal. Tal com descriuen Jorgensen *et al.* (2000), la DFa de greix afegit del sèu no fou diferent a la resta de greixos utilitzats, probablement a causa de l'efecte de la microflora del cec. La major inclusió de greix a la dieta (12 % en comptes del 10 %) també podria explicar l'absència de diferències. Excepte per al sèu, la digestibilitat ileal aparent (DIa) fou similar tant entre dietes amb greix afegit com per la digestibilitat del mateix greix afegit, la qual cosa és congruent amb el fet que ni l'animal no té capacitat d'absorbir àcids grassos al llarg de l'intestí gros, ni la flora intestinal pot degradar completament els greixos, ja que només els pot hidrogenar.

Igual que en el cas del greix, la DFa dels AG fou inferior en la dieta basal. Quan es realitza el càlcul de la digestibilitat aparent, no es té en compte la influència endògena tant del mateix animal com de la seva flora intestinal, és per això que, per exemple, els valors de digestibilitat individual dels AG a nivell fecal són negatius per als AG saturats en les dietes que tenen un contingut molt

TAULA 1. *Contingut en greix i perfil d'àcids grassos de les dietes experimentals*[1]

Dietes	Basal[2]	Sèu[3]	Oli de gira-sol alt oleic	Oli de gira-sol	Oli de llinosa	Mescla grassa
Greix (%)	2,0	11,9	12,0	11,7	11,7	12,0
Suma d'AG	1,86	8,33	8,70	9,89	9,32	8,65
ÀCIDS GRASSOS (%)						
Mirístic (C14:0)	0,6	3,2	0,2	0,2	0,2	1,6
Palmític (C16:0)	21,5	25,6	7,3	9,4	8,5	18,4
Palmitoleic (C16:1)	0,2	2,4	0,1	0,1	0,1	2,1
Esteàric (C18:0)	1,9	18,0	3,6	3,8	3,5	10,3
Oleic (C18:1)	12,8	31,0	65,7	27,3	17,8	23,5
Linoleic (C18:2)	54,3	12,3	18,6	55,2	22,4	20,0
Linolènic (C18:3)	4,6	1,3	0,9	0,8	45,6	19,6

1. Les dades corresponen a l'anàlisi química de les dietes utilitzades en l'experiment ileal; les dades de les dietes utilitzades en la prova fecal s'han omès a causa de la similitud.
2. La dieta basal és a base d'ordi suplementada amb una premescla vitaminicomineral.
3. En la prova fecal el sèu es va incloure al 12 % en comptes del 10 %; el contingut en greix per a aquesta prova fou del 13,3 %.

TAULA 2. *Digestibilitat fecal i ileal de la matèria orgànica, greix i àcids grassos individuals*[1]

Dietes[2]	Basal	Sèu	Oli de gira-sol alt oleic	Oli de gira-sol	Oli de llinosa	Mescla grassa
DIGESTIBILITAT FECAL APARENT (%)						
Matèria orgànica	82,2^{b}	83,3^{ab}	82,4^{b}	83,8^{a}	82,9^{ab}	82,7^{ab}
Greix dieta	29,4	86,5	84,7	85,5	85,0	85,4
Greix afegit		96,3^{a}	96,2^{a}	95,9^{a}	95,9^{a}	96,4^{a}
ÀCIDS GRASSOS						
Mirístic (C14:0)	5,4^{a}	94,2	39,6	47,3	33,0	90,7^{b}
Palmític (C16:0)	37,4^{e}	84,7^{a}	61,6^{d}	75,2^{b}	71,3^{c}	82,5^{a}
Palmitoleic (C16:1)	78,0	98,0^{a}	89,0	94,4	97,2	98,4^{a}
Esteàric (C18:0)	–11,3	64,1^{a}	–58,9^{b}	–44,5^{b}	–42,0^{b}	47,6^{a}
Oleic (C18:1)	73,3^{c}	95,9^{a}	95,7^{a}	95,7^{a}	94,2^{b}	94,7^{ab}
Linoleic (C18:2)	88,4^{d}	91,2^{c}	93,5^{b}	97,2^{a}	93,8^{b}	92,6^{bc}
Linolènic (C18:3)	90,9	94,4	89,4	93,4	98,6^{a}	98,5^{a}
Suma d'àcids grassos	43,8^{d}	84,1^{c}	84,5^{c}	87,8^{a}	87,6^{ab}	85,5^{bc}
DIGESTIBILITAT ILEAL APARENT (%)						
Matèria orgànica	78,1	78,0	78,3	79,5	78,2	77,1
Greix dieta	47,6	78,4^{b}	84,4^{a}	83,8^{a}	85,6^{a}	84,5^{a}
Greix afegit		83,7^{b}	90,8^{a}	90,4^{a}	92,6^{a}	91,1^{a}
Àcids grassos						
Mirístic (C14:0)	83,7	84,6^{a}	83,9	85,3	79,0	87,8^{a}
Palmític (C16:0)	74,6^{b}	64,3^{b}	77,6^{b}	84,8^{a}	78,1^{ab}	73,3^{a}
Palmitoleic (C16:1)	73,2	94,9^{b}	82,9	88,2	82,8	97,1^{a}
Esteàric (C18:0)	55,3	51,2^{b}	72,5^{a}	80,8^{a}	74,9^{a}	59,0^{b}
Oleic (C18:1)	73,9^{b}	88,6^{a}	89,2^{a}	89,6^{a}	89,4^{a}	91,1^{a}
Linoleic (C18:2)	90,0^{dc}	87,2^{d}	89,2^{dc}	96,4^{a}	94,7^{ab}	92,5^{bc}
Linolènic (C18:3)	91,9	88,7	80,6	88,4	98,9^{a}	96,8^{b}
Suma d'àcids grassos	83,1^{c}	74,9^{d}	86,9^{b}	91,9^{a}	93,2^{a}	85,5^{bc}

1. No es van observar diferències significatives de període i animal. La digestibilitat dels àcids grassos només va ser comparada en aquells casos en què el contingut de la dieta era superior al 0,14 % (valors amb lletres al superíndex). Mitjanes dins una mateixa línia amb lletres diferents són significativament diferents ($P < 0,05$).
2. Per a la prova de digestibilitat fecal, el sèu fou afegit al 12 % en comptes del 10 %.

baix d'aquests (dietes amb olis vegetals); en canvi en les dietes sèu i mescla l'efecte endogen queda diluït per la gran quantitat d'aquests àcids grassos que hi són presents. Així doncs, excepte per a les dietes sèu i mescla, que contenen més esteàric, la DFa d'aquest AG fou negativa, la qual cosa suggereix que la microflora podria modificar el seu contingut a nivell fecal a costa dels àcids grassos poliinsaturats (Jorgensen *et al.*, 2000). Quan mesurem la digestibilitat ileal aparent (DIa), no evitem completament l'efecte endogen, però sí el provinent de la flora intestinal. És per això que els valors de DIa de l'esteàric no són negatius, com en alguns casos per a la DFa. Si ens fixem en la dieta mescla, aquesta va mostrar una DIa relativament baixa dels AG saturats en comparació als PUFA. Aquesta dieta és especialment interessant perquè contenia nivells relativament similars dels principals AG i confirma la disminució en la digestibilitat a mesura que augmenta la longitud de la cadena d'àcid gras i s'incrementa la digestibilitat amb l'augment del grau d'insaturació de la molècula d'àcid gras. La DIa de la suma d'AG en dietes amb olis vegetals fou superior a la del greix, i similars al greix animal. Les diferències entre la digestibilitat dels AG i del greix podrien ser causades per diferències entre el mètode d'extracció (Christie, 1982). En general, la DIa dels AG insaturats fou inferior que les corresponents DFa i la inversa per als AG saturats, la qual cosa és normal si pensem que part dels greixos insaturats no digerits a l'ili passaran a l'intestí gros i cec, i seran biohidrogenats transformant-se en AG saturats. Si ens fixem en la menor DIa de la suma d'AG en la dieta sèu, aquesta s'explica pel contingut superior en AG saturats, AG de menor digestibilitat. Les dietes de llinosa i oli de gira-sol van mostrar les majors digestibilitats a causa del contingut superior en linolènic (C18:3) i linoleic (C18:2), respectivament, AG de major digestibilitat; mentre que la dieta gira-sol alt oleic va mostrar DIa intermèdies. Tot i que la influència dels AG endògens (Jorgensen *et al.*, 1992*a*) no es pot descartar, els nostres resultats es corresponen als d'altres estudis on també s'observa la biohidrogenació dels PUFA (Jorgensen *et al.*, 1992*b*; Reis de Souza *et al.*, 1995; Jorgensen *et al.*, 2000). Es pot dir que els àcids grassos oleic (C18:1), linoleic (C18:2) i linolènic (C18:3) que arriben al cec són almenys parcialment saturats per la microflora i convertits a àcid esteàric (C18:0), la qual cosa pot

FIGURA 1. Anastomosi ileorectal.

explicar la menor digestibilitat (en alguns casos negativa) a nivell fecal que a nivell ileal per aquest àcid gras.

CONCLUSIONS

La digestibilitat dels AG difereix si es mesura a nivell ileal o a nivell fecal, probablement a causa de la biohidrogenació dels AG insaturats a esteàric per la microflora del cec i intestí gros. La mesura dels AG individuals al final de l'ili dóna una millor estimació del valor nutritiu de les fonts grasses. La digestibilitat individual dels AG augmenta en incrementar-se el grau d'insaturació, i disminueix en augmentar la longitud de la cadena d'AG. Per tant, la digestibilitat del greix varia en funció del seu contingut en AG.

BIBLIOGRAFIA

AOAC (1990). *Official methods of analysis*. 15a ed. AOAC. Arlington (EUA). 1.230 p.

CHRISTIE, W. W. (1982). *Lipid analysis: Pergamon Press*. 2a ed. Oxford (Regne Unit). 207 p.

FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G. H. S. (1957). «A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues». *J. Biol. Chem.*, 226, p. 497-509.

JORGENSEN, H.; JAKOBSEN, K.; EGGUM, B. O. (1992*a*). «Excretion of biliary fat and fatty acids in growing pigs». *J. Anim. Feed Sci.*, 1, p. 139-149.

JORGENSEN, H.; JAKOBSEN, K.; EGGUM, B. O. (1992*b*). «The influence of different protein, fat and mineral levels on the digestibility of fat and fatty acids measured at the terminal ileum and in faeces of growing pigs». *Acta Agric. Scandinavica Section A Anim. Sci.*, 42, p. 177-184.

JORGENSEN, H.; FERNÁNDEZ, J. A. (2000). «Chemical composition and energy value of different fat sources for growing pigs». *Acta Agric. Scandinavica Section A Anim. Sci.*, 50, p. 129-136.

JORGENSEN, H.; GABERT, V. M.; HEDEMANN, M. S.; JENSEN, S. K. (2000). «Digestion of fat does not differ in growing pigs fed diets conteining fish oil, rapeseed oil or coconut oil». *J. Nutr.*, 130, p. 852-857.

LAPLACE, J. P.; DARCY-VRILLON, B.; PICARD, M. (1985). «Évaluation de la disponibilité d'acides aminés: choix raisonné d'une méthode». *Journ. Rech. Porc. France*, 17, p. 353-370.

REIS DE SOUZA, T.; PEINIAU, J.; Mounier, A.; AUMAITRE, A. (1995). «Effect of addition of tallow and lecithin in the diet of weanling piglets on the appparent total tract and ileal digestibility of fat and fatty acids». *Anim. Feed Sci. Technol.*, 55, p. 77-91.

SHORT, F. J.; GORTON, P.; WISEMAN, J.; BOORMAN, K. N. (1996). «Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies». *Anim. Feed Sci. Technol.*, 59, p. 215-221.

Museu de botelles d'aigua del Laboratori Doctor Oliver Rodés.