

日粮能量水平对肥育猪肌肉脂肪含量、肌肉和皮下脂肪组织脂肪酸组成的影响

徐海军^{1,2,3}, 都文⁴, 李亚君⁴, 汤文杰¹, 刘志强¹, 谭碧娥¹,
孔祥峰¹, 黄瑞林¹, 刘玉兰⁵, 印遇龙^{1,5*}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所动物营养与人类健康实验室 & 湖南省农业生态工程重点实验室, 长沙 410125;
2. 皖西学院化学与生命科学系, 六安 237012; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
4. 中国农业大学动物科技学院, 北京 100193; 5. 武汉工学院动物营养与饲料科学重点实验室, 武汉 430023)

摘要: 以添加豆油方式提高日粮能量水平, 研究其对肥育猪肌肉脂肪(IMF)含量、肌肉和皮下脂肪的脂肪酸组成的影响。36头杜长大母猪(平均体质量约40 kg)随机平均分为3组, 分别饲喂3种能量水平(DE=12.82、14.24、15.66 MJ·kg⁻¹, 主要以添加豆油来提高日粮能量水平)的日粮。达到屠宰体质量(约90 kg)时每组屠宰5头, 采取背最长肌和背部皮下脂肪, 测定背最长肌IMF含量、肌肉和皮下脂肪组织的脂肪酸组成。结果表明: 不同能量水平日粮对IMF含量影响不显著($P>0.05$); 肌肉和皮下脂肪的大部分饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)含量随着日粮能量水平的提高而显著下降($P<0.05$), 大部分多不饱和脂肪酸(PUFA)含量随着日粮能量水平的提高而显著增加($P<0.05$); IMF中PUFA(包括C18:3n6、C20:0、C20:4n6、C22:5n3)和C24:1的含量与IMF含量呈显著负相关; 肌肉和皮下脂肪组织中的大部分脂肪酸呈显著正相关, 而少数脂肪酸(包括C18:3n6、CLA-c9t11、C20:0、C20:4n6、C22:5n3和C24:1)在2个组织中没有显著相关性; 总体上看, 2组织中的SFA、MUFA之间呈显著正相关, 与PUFA呈显著负相关, PUFA之间呈显著正相关。本研究表明以添加豆油的方式提高日粮能量水平可以在不降低IMF含量的前提下改善猪肉的脂肪酸组成, 从而提高猪肉的营养价值而不降低肉质。

关键词: 猪; 消化能; 豆油; 亚油酸; 肌肉脂肪; 皮下脂肪; 脂肪酸

中图分类号: S828; S815.4

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2009)07-1019-09

Effects of Dietary Energy Level on Intramuscular Fat Content, Fatty Acids Composition of Intramuscular Fat and Backfat in Finishing Pigs

XU Hai-jun^{1,2,3}, DU Wen⁴, LI Ya-jun⁴, TANG Wen-jie¹, LIU Zhi-qiang¹, TAN Bi-e¹,
KONG Xiang-feng¹, HUNAG Rui-lin¹, LIU Yu-lan⁵, YIN Yu-long^{1,5*}

(1. *Laboratory of Animal Nutrition and Human Health and Key Laboratory of Agro-ecology, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China*; 2. *Department of Chemistry and Life Science, West Anhui University, Liuan 237012, China*;
3. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*;
4. *College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China*;
5. *Hubei Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China*)

Abstract: Effects of increasing dietary energy by supplementation of soy oil on intramuscular fat (IMF) content, fatty acids composition of IMF and backfat in pigs were investigated. Thirty six Duroc×Landrace×Large White female pigs at a mean initial body weight of 40 kg were equally

收稿日期: 2008-05-26

基金项目: 973项目“营养素在机体器官、组织间的分配规律及其调控机理”(2004CB117502)

作者简介: 徐海军(1976-), 男, 浙江江山人, 博士生, 讲师, 主要从事动物生态营养与分子生物学研究, E-mail: xhiflying@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 印遇龙, E-mail: yyulong@hotmail.com

and randomly assigned into three treatment groups. The digestible energy of the diets was 12.82, 14.24 and 15.66 MJ · kg⁻¹ for three groups respectively and the energy level of diet was adjusted mainly by the supplementation of soy oil. Five pigs of each group were slaughtered at the body weight of about 90 kg. Longissimus dorsi muscle (LM) and backfat were sampled for determination of IMF content and fatty acids composition. There was no significant effect of dietary energy level on IMF content in LM ($P > 0.05$). The percentages of most saturated (SFA) and monounsaturated fatty acids (MUFA) and of most polyunsaturated fatty acids (PUFA) decreased and increased significantly ($P < 0.05$) respectively both in LM and backfat as the dietary energy level increased. The IMF content in LM was negatively correlated with the percentages of C20:0, C18:3n6, C20:4n6, C22:5n3 and C24:1. Most fatty acids in LM were positively correlated with those in backfat while there were no significant relationships for C18:3n6, CLA-c9t11, C20:0, C20:4n6, C22:5n3 and C24:1 between the two tissues. In general, SFAs were positively correlated with MUFAs and both of them were negatively correlated with PUFAs while PUFAs were positively correlated with each other in both tissues. In conclusion, increasing dietary energy level by supplementation of soy oil is an effective way to improve IMF fatty acids composition without decreasing IMF content, thus improving the nutritional value of pork without deleteriously affecting meat quality.

Key words: pig; digestible energy; soy oil; linoleic acid; intramuscular fat; backfat; fatty acids

随着生活水平的提高,消费者对猪肉的品质要求越来越高。肌内脂肪(IMF)含量及其脂肪酸组成与猪肉的嫩度、多汁性和风味高度相关^[1]。一般来说,IMF含量在2.5%~3.5%的猪肉的品质较为理想。IMF的脂肪酸组成不但与肉的风味有密切关系,而且还与肉的营养价值密切相关^[2-3]。饱和脂肪酸(SFA)的过量摄入是诱发人类心血管疾病的危险因素^[4]。营养学家推荐膳食油脂的SFA、单不饱和(MUFA)与多不饱和脂肪酸(PUFA)的适宜比例为1:1:1,并且PUFA中 $\omega 6:\omega 3$ 的比例在1~4之间较适宜^[5]。

许多研究尝试在日粮中添加PUFA来提高猪肉的PUFA含量^[6-10],从而提高猪肉的营养价值。但是由于PUFA对脂肪酸从头合成有抑制作用^[11],因此这一措施同时降低了IMF的含量,继而对肉质可能会有不利影响。通过添加以SFA或MUFA为主要成分的原料或通过增加淀粉类能量饲料的比例来提高日粮的能量水平,可以导致IMF含量显著增加,但猪肉的PUFA含量较低。我们设想如果以增加PUFA添加量的方式来提高日粮能量水平,可能可以提高猪肉的PUFA含量而不降低IMF含量,这样可以同时提高猪肉的营养价值而不降低肉质。此外,目前对于SFA、MUFA和PUFA在猪皮下脂肪和肌内脂肪中的沉积量的内在联系还

缺乏深入认识。因此,本试验以杜长大肥育猪为试验动物,研究了不同能量水平(以添加不同量的豆油来调整)日粮对猪背最长肌的IMF含量、背最长肌和背部皮下脂肪组织脂肪酸组成的影响,并分析了IMF含量与各种脂肪酸间的内在联系,以期通过营养调控改善瘦肉型猪IMF含量和脂肪酸组成,从而提高其肉质和营养价值提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

选取40 kg左右、健康的杜×长×大三元杂交母猪36头。将试验猪随机分为3个处理,每个处理12头,单栏饲养,分别饲喂3种不同能量水平的日粮(表1)。

1.2 饲养管理

饲养试验在中国科学院亚热带农业生态研究所进行。所有试验猪于相同条件的畜舍进行饲养,室内通风良好,光线充足。每天08:00和17:00各投料1次,自由采食,充足饮水。预试期1周,在此期间用伊维菌素进行预防性驱虫,并注射猪瘟疫苗。

1.3 样品采集及处理

达到预定屠宰体质量(约饲养60 d)时,每组选体质量一致的5头猪禁食16 h后屠宰。屠宰后采取背最长肌、背部外层皮下脂肪,-20℃保存。

1.4 指标测定

IMF 含量用索氏抽提法测定。饲料、肌肉和背部皮下脂肪组织的脂肪酸组成用气相色谱法测定^[12]。

1.5 统计分析

IMF 含量、肌肉组织和脂肪组织的脂肪酸含量

数据用 SPSS11.5 软件中的 one-way ANOVA 程序进行分析,差异显著者用 Duncan 作多重比较。IMF 含量及各脂肪酸间的相关分析用 SPSS11.5 软件中的 Correlate 程序进行。

表 1 日粮组成

Table 1 Compositions of the diet

项 目 Item	消化能水平 DE level			
	低能 Low DE	中能 Middle DE	高能 High DE	
日粮组成(% of DM) Ingredient				
玉米 Corn	57.70	64.98	59.15	
豆粕 Soybean meal	22.85	24.35	27.35	
麦麸 Wheat bran	10.20	4.50	0.00	
豆油 Soybean oil	0.00	3.17	10.50	
统糠 Unite bran	6.25	0.00	0.00	
预混料 ¹ Premix	3.00	3.00	3.00	
营养成分 Nutrition level				
粗蛋白 Crude protein/(g · kg ⁻¹)	155.00	155.00	155.00	
总钙 Total calcium/(g · kg ⁻¹)	6.00	6.00	6.00	
总磷 Total phosphorus/(g · kg ⁻¹)	5.00	5.00	5.00	
消化能 DE/(MJ · kg ⁻¹)	12.82	14.24	15.66	
脂肪酸 Fatty acids/(g · 100 g ⁻¹ 总脂肪酸)				
C10:0	0.14	0.10	0.07	
C12:0	0.06	0.05	0.03	
C14:0	0.11	0.12	0.10	
C16:0	17.82	14.31	13.01	
C16:1	0.19	0.15	0.11	
C18:0	2.64	3.45	3.75	
C18:1n9	25.86	23.52	22.33	
C18:1n7	0.88	1.09	1.30	
C18:2	48.95	52.91	54.17	
C18:3n6	0.06	0.07	0.03	
C18:3n3	2.49	3.58	4.41	
CLA-c9t11	0.00	0.00	0.04	
C20:0	0.46	0.40	0.40	
C20:1	0.29	0.22	0.20	
C20:2	0.04	0.04	0.04	
C24:1	0.00	0.00	0.02	

¹. 添加剂预混料为每千克全价料提供:Ca 6 g; P 5 g; Cu 10 mg; Fe 100 mg; Na 0.30 mg; Zn 100 mg; VD₃ 386 IU; VA 3 086 IU; VE 15.4 IU; VK₃ 2.3 mg; VB₂ 3.9 mg; 泛酸钙 15.4 mg; 烟酸 23 mg; VB₁ 215.4 μg

¹. The premix provided following for per kg diet:Ca 6 g; P 5 g; Cu 10 mg; Fe 100 mg; Na 0.30 mg; Zn 100 mg; VD₃ 386 IU; VA 3 086 IU; VE 15.4 IU; VK₃ 2.3 mg; VB₂ 3.9 mg; Calcium pantothenate 15.4 mg; Nicotinic acid 23 mg; VB₁ 215.4 μg

2 结果

2.1 背最长肌的 IMF 含量及其脂肪酸组成、相关性分析

由表 2 可知,不同能量水平对 IMF 含量无显著影响($P>0.05$),但随着日粮能量水平的提高,IMF 含量有增加的趋势。随着日粮能量水平的提高,一些 SFAs(包括 C10:0、C16:0、C18:0)和一些 MUFAs(包括 C16:1、C18:1n9、C18:1n7、C20:1)的含量明显降低,其中高能日粮组极显著地低于低能日粮组($P<0.01$),高能日粮组的 C20:0 含量显著低于中能日粮组($P<0.05$)。相反,一些 PUFAs(包括 C18:2、C18:3n3、C20:2)的含量随着日粮能量水平的提高明显增加,在高能日粮组时极显著地高于低能日粮组

($P<0.01$)。低能组的 CLA-c9t11 含量极显著高于中能组($P<0.01$)、显著高于高能组($P<0.05$)。日粮能量水平对其它 SFAs(如 C12:0、C14:0)、MUFA(如 C24:1)和 PUFAs(如 C18:3n6、C20:4n6、C22:5n3)的含量没有显著影响($P>0.05$)。高能组 $\omega 6 : \omega 3$ 比值极显著地低于低能组($P<0.01$),显著低于中能组($P<0.05$)。高能组的 SFA : MUFA : PUFA 比值最接近于 1 : 1 : 1。

从表 3 可见,背最长肌的 IMF 含量与 C18:3n6、C20:0、C20:4n6、C22:5n3、C24:1 呈显著负相关($P<0.05$, $P<0.01$)。脂肪酸间的相关关系比较复杂,总体趋势是 SFA、MUFA 与 PUFA 呈显著负相关,SFA 和 MUFA 之间呈显著正相关,与 PUFA 之间呈显著正相关($P<0.05$, $P<0.01$)。

表 2 背最长肌的 IMF 含量及其脂肪酸组成

Table 2 Intramuscular fat content (IMF) and its fatty acids composition of Longissimus dorsi muscle (LM) of pigs fed different DE level diets

项 目 Item	低能(n=5) Low DE	中能(n=5) Middle DE	高能(n=5) High DE	SEM	P-value
IMF 含量 IMF content/(g · 100 ⁻¹ g 肌肉)	2.26	2.35	2.68	0.249	0.806
脂肪酸 Fatty acid/(g · 100 ⁻¹ g 总脂肪)					
C10:0	0.12 ^A	0.12 ^{AB}	0.10 ^B	0.003	0.010 2
C12:0	0.09	0.08	0.08	0.003	0.510 2
C14:0	1.20	1.08	0.99	0.048	0.217 5
C16:0	23.71 ^A	22.43 ^{AB}	20.30 ^B	0.466	0.001 7
C16:1	2.93 ^A	2.41 ^{AB}	1.66 ^B	0.168	0.000 9
C18:0	13.22 ^A	12.43 ^A	11.03 ^B	0.286	0.000 5
C18:1n9	38.26 ^A	36.21 ^A	30.63 ^B	1.009	0.000 4
C18:1n7	3.79 ^A	3.33 ^B	2.48 ^C	0.154	0.000 1
C18:2	11.56 ^{cB}	16.31 ^{bB}	26.83 ^{aA}	1.813	0.000 1
C18:3n3	0.33 ^C	0.59 ^B	1.52 ^A	0.138	0.000 1
C18:3n6	0.10	0.08	0.07	0.007	0.382 2
CLA-c9t11	0.04 ^{aA}	0.03 ^{bB}	0.03 ^{bAB}	0.002	0.014 7
C20:0	0.24 ^{ab}	0.25 ^a	0.23 ^b	0.004	0.078 2
C20:1	0.61 ^A	0.61 ^A	0.48 ^B	0.023	0.010 7
C20:2	0.36 ^C	0.56 ^B	0.85 ^A	0.056	0.000 1
C20:4n6	2.88	2.89	2.20	0.225	0.385 7
C22:5n3	0.37	0.40	0.34	0.039	0.747 0
C24:1	0.20	0.19	0.18	0.015	0.792 4
$\omega 6 : \omega 3$	36.31 ^{aA}	27.75 ^b	17.57 ^{cB}	2.438	0.001 0
SFA : MUFA : PUFA	3.2 : 3.8 : 1	2.1 : 2.5 : 1	1.1 : 1.2 : 1		

同行数据标注不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),标注不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)

Means in a row with superscripts without a common small letter or capital letter differ significantly ($P<0.05$) or very significantly ($P<0.01$). $\omega 6 : \omega 3 = \text{C18:3n6/C18:3n3}$; SFA : MUFA : PUFA = (C14:0+C16:0+C18:0):(C16:1+C18:1):(C18:3n6+C18:3n3)

表 3 背最长肌的 IMF 含量与脂肪酸组成间的相关关系(n=15)

Table 3 Pearson's correlation between lipid content and fatty acid composition of LM (n=15)

项目 Item	IMF	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1n7	C18:1n9	C18:2	C18:3n3	C18:3n6	CLA-c9t11	C20:0	C20:1	C20:2	C20:4n6	C22:5n3
C24:1	-0.52*	NS	-0.58*	-0.67**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.74**	NS	NS	NS	NS	0.89***	0.85***
C22:5n3	-0.70**	NS	NS	-0.67**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.85***	NS	NS	NS	NS	0.95***	
C20:4n6	-0.66**	NS	NS	-0.54*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.90***	NS	NS	NS	NS		
C20:2	NS	-0.85***	NS	-0.57*	-0.88***	-0.91***	-0.79***	-0.95***	-0.91***	0.97***	0.95***	NS	NS	NS	-0.59*			
C20:1	NS	NS	0.51*	0.62*	0.73**	0.70**	0.55*	0.74**	0.73**	-0.75**	-0.68**	NS	NS	NS				
C20:0	-0.58*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS					
CLA-c9t11	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS						
C18:3n6	-0.56*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS							
C18:3n3	NS	-0.76**	NS	NS	-0.81***	-0.81***	-0.86***	-0.93***	-0.87***	0.95***								
C18:2	NS	-0.84***	NS	-0.65**	-0.93***	-0.94***	-0.79***	-0.97***	-0.96***									
C18:1n9	NS	0.84***	NS	0.61*	0.87***	0.94***	0.61*	0.94***										
C18:1n7	NS	0.81***	NS	0.61*	0.89***	0.96***	0.69**											
C18:0	NS	0.61*	NS	NS	0.70**	0.57*												
C16:1	NS	0.84***	0.54*	0.76**	0.93***													
C16:0	NS	0.80***	0.61*	0.87***														
C14:0	NS	0.56*	0.82***															
C12:0	NS	NS																
C10:0	NS																	

NS. 表示差异不显著($P>0.05$); *, ** 和 ***. 分别表示 $P<0.05$, $P<0.01$ 和 $P<0.001$ 。表 5、表 6 同

NS. No significant difference ($P>0.05$); *. $P>0.05$, **, $P>0.01$, ***, $P>0.001$. The same as table 5 and table 6

2.2 背部皮下脂肪组织的脂肪酸组成及相关性分析

从表 4 可见,随着日粮能量水平的提高,一些 SFAs(C10:0、C14:0、C16:0、C18:0)和一些 MU-FAs(C16:1、C18:1n9、C18:1n7、C20:1)的含量明显降低,其中高能日粮组极显著地低于低能日粮组($P<0.01$),高能日粮组的 C12:0 和 C20:0 含量显著低于低能日粮组($P<0.05$)。相反,一些 PUFAs(包括 C18:2、C18:3n3、C18:3n6、C20:2)的含量随着日粮能量水平的提高明显增加,在低能日粮组时极显著地高于低能日粮组($P<0.01$)。日粮能量水平对其它 MUFA(C24:1)和 PUFAs(如 CLA-c9t11、C20:4n6、C22:5n3)的含量没有显著影响($P>0.05$)。

从表 5 可见,背部皮下脂肪组织脂肪酸间的相关关系与 IMF 的脂肪酸间相关关系基本一致。但也有些未在 IMF 脂肪酸中表现显著的脂肪酸在皮下脂肪组织中却表现显著相关,如 C10:0 与 C12:0、C21:1、C18:3n6; C12:0 与 C18:0、C18:2、

C20:2; C14:0 与 C18:0、C18:3n3、C18:3n6; C16:0、C18:3n3 与 C18:3n6、C20:0、C22:5n3、C20:4n6; C16:1、C18:0 与 C20:0、C18:3n6; C18:1n7、C18:1n9 与 C20:0、C22:5n3、C18:3n6; C18:2 与 C20:0、C22:5n3、C20:4n6、C18:3n6; C18:3n3 与 C22:5n3、C20:0、C18:3n6; C18:3n6 与 C20:2、C20:1、C20:0、CLA-c9t11; CLA-c9t11 与 C20:4n6; C20:0 与 C24:1、C21:1; C21:1 与 C24:1、C22:5n3、C20:4n6。少数脂肪酸在皮下组织中没有相关性,但在 IMF 中有显著相关性,如 C12:0 与 C24:1、C20:1; C14:0 与 C20:4n6、C22:5n3、C24:1。

2.3 IMF 与皮下脂肪脂肪酸组成的相关性分析

IMF 与皮下脂肪的脂肪酸在组成上存在很大的相关性,除了 C18:3n6、CLA-c9t11、C20:0、C20:4n6、C22:5n3 和 C24:1 在 2 个部位脂肪中不存在显著相关外,其他检测出的脂肪酸都存在极显著的相关性,但 C20:1 只表现显著相关(表 6)。

表 6 IMF 与皮下脂肪的脂肪酸相关性

Table 6 Pearson's correlation of individual fatty acids between IMF and backfat

脂肪酸 Fatty acid	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1n7	C18:1n9	C18:2	C18:3n3	C18:3n6	CLA- ω 11	C20:0	C20:1	C20:2	C20:4n6	C22:5n3	C24:1
相关系数 r	0.735**	0.73**	0.649**	0.867***	0.895***	0.847***	0.887***	0.829***	0.924***	0.957**	NS	NS	NS	0.559*	0.945***	NS	NS	NS

3 讨 论

机体的脂肪酸有两个来源:直接由日粮中的脂肪酸沉积得到和从头合成。本试验中主要通过增加豆油的添加量来提高日粮的能量水平,各日粮中含量最丰富的 3 种脂肪酸依次是 C18:2>C18:1n9>C16:0。但肌内和皮下脂肪中这 3 种脂肪酸的沉积量却与其在日粮中的含量不完全一致。在饲喂低能和中能日粮时,2 组织中这 3 种脂肪酸的沉积量依次是 C18:1n9>C16:0>C18:2;但在饲喂高能日粮时,这一顺序分别是 C18:1n9>C18:2>C16:0 和 C18:2>C18:1n9>C16:0。表明本试验中从头合成途径在机体脂肪酸的最终沉积模式中起决定作用,并且不同类型的脂肪酸有着不同的沉积特点,同时还受日粮能量水平和组织部位的影响。由于 PUFA 主要是必需脂肪酸,不能从头合成,只能来自于日粮,因此,机体组织的脂质合成主要是 SFA 和 MUFA,并且主要是 C16:0、C16:1、C18:0 和 C18:1 的合成^[13]。从分子结构看,以 SFA 和 MUFA 形式来贮存脂肪酸,以 PUFA 形式进行脂肪酸的动员和氧化在能量上是有利的^[14]。C18:1n9 的碳链可以回折,使之能像 SFA 一样有效地折叠起来,从而有利于贮存^[14]。从脂肪酸被动员和氧化的难易程度看,研究表明几种常见脂肪酸发生动员和 β -氧化的容易程度从大到小依次是 C18:3n3>C18:2>C18:1>C16:0>C18:0,因此在饥饿时 C18:3n3 和 C18:2 能更快地从脂肪组织或脂肪细胞中动员出来,被用于氧化供能^[15]。体外试验也证实 C18:2 比 C18:1n9 更易被激素敏感脂酶水解动员出来^[16]。本试验发现在饲喂低能和中能日粮时,猪的 IMF 和皮下脂肪组织中 C16:0 和 C18:1n9 的含量占主要部分,而 C18:2 的含量略低一些。这可能是因为 C16:0 和 C18:1n9 比 C18:2 在沉积上更有优势,而在动员和氧化上又要慢于 C18:2,因此 C16:0 和 C18:1n9 沉积的多而动员的少,C18:2 沉积的少却动员的多,两方面共同作用导致 C16:0 和

C18:1n9 的沉积量占绝对优势。但随着日粮中 C18:2 含量大量增加,也会显著增加机体中 C18:2 的沉积量,特别是在皮下脂肪中 C18:2 可以成为最丰富的脂肪酸。这可能是因为在合成中性脂肪或磷脂时,高能日粮中所含的大量 C18:2 使之与 C16:0 和 C18:1n9 在底物竞争中占据了绝对优势。此外,IMF 组织需动员氧化较多的 C18:2 以供应肌肉组织代谢所需能量,因而可能导致在饲喂高能日粮时 IMF 的 C18:2 沉积量仍低于 C18:1n9,这与此时皮下脂肪中 C18:2 沉积量最大有一定差异。本研究中高能组 IMF 的 SFA:MUFA:PUFA 比例为 1:1.2:1,非常接近 1:1:1。但是此时 ω 6: ω 3 仍高达 17.57,远远高于 1-4 之间的要求。

肌内和皮下脂肪的各种脂肪酸相关分析均表明 SFA、MUFA 之间呈显著正相关,并与 PUFA 呈显著负相关,而 PUFA 之间又呈显著正相关。这可能反映了它们之间在相互转化上的关系。C16:0 和 C18:0 可以在硬脂酰脱饱和酶(SCD)的催化下分别转化为 C16:1 和 C18:1^[13]。日粮中 PUFA 含量的增加会抑制 SCD 的活性^[10]。Kouba 等^[10]还发现日粮中添加亚麻籽后皮下脂肪组织中的 SCD 活性下降了 40%,但肌肉中 SCD 活性未受影响,说明 PUFA 对 SCD 的影响还存在组织特异性。PUFA 对 SFA 和 MUFA 的从头合成也有抑制作用^[11]。这些结果解释了 SFA、MUFA 与 PUFA 之间存在负相关的原因。本试验中随着日粮必需脂肪酸含量的升高,机体中沉积的 PUFA 也增加。这一结果与许多报道一致^[6-7,10,12]。

许多研究表明,PUFA 与 IMF 含量呈负相关^[17-18]。IMF 的增加主要是由于中性脂肪的增加,而不是磷脂的增加^[19]。与自由采食相比,限饲可以减少脂肪沉积,同时增加 PUFA 的含量^[20]。随着年龄增大,猪的脂肪组织中 C18:2 含量下降,脂肪沉积增加^[21]。与 IMF 含量高的品种相比,IMF 含量低的猪 C18:2 含量增加^[18],脂肪酸从头合成的能力也下降。而脂肪合成能力下降的猪似乎具有更强的脂质分解率^[22-23]。这些结果提示 C18:2 与

IMF 含量之间存在内在的负相关联系。本试验中虽然 C18 : 2 与 IMF 含量的相关关系不显著,但其衍生物仍与 IMF 呈显著负相关,这可能说明本研究中 C18 : 2 的衍生物对 IMF 含量的影响大于 C18 : 2,或者说明 C18 : 2 对 IMF 的影响主要是通过其衍生物间接实现的。

IMF 和皮下脂肪组织的脂肪酸沉积规律基本一致,除了 C18 : 3n6、CLA-c9t11、C20 : 0、C20 : 4n6、C22 : 5n3 和 C24 : 1 含量在 2 个部位的脂肪组织中不存在显著相关外,其它检测出的脂肪酸都存在极显著的正相关,但 C20 : 1 只表现显著正相关。说明大部分脂肪酸在这 2 个部位的脂肪组织中可以同步沉积,而少数脂肪酸在这 2 个部位的沉积具有组织特异性,彼此相互独立,互不相关。有趣的是,本试验中这几种脂肪酸(除 CLA-c9t11 外)均与 IMF 含量呈显著负相关。巧合的是,研究表明日粮中添加 CLA-c9t11 可以增加 IMF 含量^[24]。本试验中不同能量水平对 IMF 中 C18 : 3n6、C20 : 4n6、C22 : 5n3、C24 : 1 的含量无显著影响,这正好与本试验中不同能量水平日粮对 IMF 含量的影响不显著相一致。

研究表明,日粮能量水平的增加将会导致 IMF 含量显著升高^[25]。但本试验发现增加日粮能量水平对 IMF 含量的影响不显著。这可能是因为在试验中主要通过添加豆油来提高能量水平,这样就同时提高了日粮中 PUFA(特别是 C18 : 2)的水平。而 PUFA 又会影响 SFA 和 MUFA 的合成,所以就降低了 IMF 的含量。因此,本试验中日粮能量水平的提高一方面有利于增加 IMF 沉积,但另一方面又因 PUFA 含量的增加而抑制了 IMF 沉积。这 2 种效应共同作用的结果可能导致了本试验中不同能量日粮对 IMF 含量的影响不显著。

4 结 论

SFA、MUFA 和 PUFA 之间存在内在的相互联系,这种联系是由它们的分子结构特点和代谢特点决定的,同时也受它们在日粮中的含量、组织部位等因素影响。C18 : 2 和 C18 : 3n3 的衍生物可能在调控机体脂肪沉积和脂肪酸组成中起一定作用。本试验结果也提示以添加豆油的形式来提高日粮能量水平,可以在不降低 IMF 含量的前提下改善 IMF 的脂肪酸组成,从而可以提高猪肉的营养价值而不影响肉质。可以设想如果以富含 C18 : 3n3 的油类

替代适当比例的豆油,同时添加较高剂量的维生素 E 或其他抗氧化剂(如茶多酚)以减少肉中的 PUFA 氧化,可能可以更好地提高猪肉的营养价值并保持较好的肉质。

参 考 文 献:

- [1] WOOD J D, RICHARDSON R I, NUTE G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review [J]. *Meat Science*, 2003, 66(1): 21-32.
- [2] DeVOL D L, MCKEITH F K, BECHTEL P J, et al. Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses [J]. *Journal of Animal Science*, 1988, 66(2): 385-395.
- [3] CAMERON N D, ENSER M, NUTE G R, et al. Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat [J]. *Meat Science*, 2000, 55(2): 187-195.
- [4] KATAN M B, ZOCK P L, MENSINK R P. Effects of fats and fatty acids on blood lipids in humans: an overview [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1994, 60(6): 1017-1022.
- [5] SCOLLAN N D, HOCQUETTE J-F, NUERNBERG K, et al. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality [J]. *Meat Science*, 2006, 74(1): 17-33.
- [6] ENSER M, RICHARDSON R I, WOOD J D, et al. Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork: Fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages [J]. *Meat Science*, 2000, 55(2): 201-212.
- [7] MATTHEWS K R, HOMER D B, THIES F, et al. Effect of whole linseed (*Linum usitatissimum*) in the diet of finishing pigs on growth performance and on the quality and fatty acid composition of various tissues [J]. *British Journal of Nutrition*, 2000, 83(6): 637-643.
- [8] EDER K, NONN H, KLUGE H. The fatty acid composition of lipids from muscle and adipose tissues of pigs fed various oil mixtures differing in their ratio between oleic acid and linoleic acid [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2001, 103(10): 668-676.
- [9] AVERETTE G L, SEE M T, HANSEN J A, et al. The effects of dietary fat sources, levels, and feeding

- intervals on pork fatty acid composition [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(6): 1606-1615.
- [10] KOUBA M, ENSER M, WHITTINGTON F M, et al. Effect of a high linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig [J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81(8): 1967-1979.
- [11] PASCUAL JV, RAFECAS M, CANELA M A, et al. Effect of increasing amounts of a linoleic-rich dietary fat on the fat composition of four pig breeds. Part III: Triacylglycerol composition in muscle and fat tissues [J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(1): 50-58.
- [12] BEE G, GEERT S, MESSIKOMMER R. Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose tissues and lipogenesis in the pig [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(6): 1564-1574.
- [13] WOOD J D, ENSER M, FISHER AV, et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review [J]. *Meat Science*, 2008, 78(4): 343-358.
- [14] BROADHURST CL, SCHMIDT W F, CUNNANE S C. Molecular modeling and experimental confirmation of selective mobilization of polyunsaturates from triacylglycerols [J]. *Lipids*, 1999, 34(Supplement): S179-S180.
- [15] STEPHEN C C. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and ketogenesis: an emerging connection [J]. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 2004, 70(3): 237-241.
- [16] RACLOT T, HOLM C, LANGIN D. A role for hormone-sensitive lipase in the selective mobilization of adipose tissue fatty acids [J]. *Biochimica et Biophysica Acta- Molecular and Cell Biology of Lipids*, 2001, 1532(1-2): 88-96.
- [17] SUZUKI K, SHIBATA T, KADOWAKI H, et al. Meat quality comparison of Berkshire, Duroc and crossbred pigs sired by Berkshire and Duroc [J]. *Meat Science*, 2003, 64(1): 35-42.
- [18] ZHANG S, KNIGHT T J, STALDER K J, et al. Effects of breed, sex, and halothane genotype on fatty acid composition of pork longissimus muscle [J]. *Journal of Animal Science*, 2007, 85(3): 583-591.
- [19] WOOD J D, NUTE G R, RICHARDSON R I, et al. Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs [J]. *Meat Science*, 2004, 67(4): 651-667.
- [20] WOOD J D. Fat deposition and the quality of fat tissue in meat animals [M]. In: J. Wiseman (ed.) *Fat in Animal Nutrition*. Butterworths, London, 1984: 407-435.
- [21] SCOTT R A, CORNELIUS S G, MERSMANN H J. Fatty acid composition of adipose tissue from lean and obese swine [J]. *Journal of Animal Science*, 1981, 53: 977-981.
- [22] WOOD J D, ENSER M, WHITTINGTON F M, et al. Backfat composition in pigs: Differences between fat thickness groups and sexes [J]. *Livestock Production Science*, 1989, 22(3-4): 351-362.
- [23] WOOD J D, GREGORY N G, HALL G M, et al. Fat mobilization in Pietrain and Large White pigs [J]. *British Journal of Nutrition*, 1977, 37(2): 167-186.
- [24] WIEGAND B R, SPARKS J C, PARRISH F C, et al. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(3): 637-643.
- [25] QUINIOU N, NOBLET J. The effect of energy supply on the contribution of lean tissue to total body protein mass in pigs slaughtered at 100 kg [J]. *Animal Science*, 1997, 65(4): 509-513.