

母猪哺乳期蛋白限饲对子代血脂水平、肌肉脂肪含量及 H-FABP 基因表达的影响

张宏宇, 单安山, 徐 林, 李建平, 程宝晶

(东北农业大学动物营养研究所, 哈尔滨 150030)

摘要: 【目的】本试验旨在研究哺乳期母猪蛋白限饲对子代血脂水平、肌肉脂肪含量及 H-FABP 基因表达的影响。【方法】选取胎次、体重相近 (180 ± 5 kg)、经同期纯种繁育的民猪及长白猪妊娠母猪 12 头 (民猪和长白猪各 6 头)。将每个品种母猪随机分为 2 组, 每组 3 个重复, 每个重复 1 头母猪。供试母猪妊娠期营养水平相同, 哺乳期对照组日粮蛋白水平为 18%, 限饲组蛋白水平为 9%。在子代猪断奶 (28 d) 和出栏 (180 d) 时测定血清中血脂水平、背最长肌中肌肉脂肪含量及心脏脂肪酸结合蛋白 (H-FABP) 基因相对表达量。【结果】母猪哺乳期蛋白限饲显著提高了长白猪子代 28 d 时血清总胆固醇 (CHO) 含量 ($P < 0.05$), 对 180 d 子代影响不显著; 有提高长白猪子代 28 d 及 180 d 时血清甘油三酯 (TG)、低密度脂蛋白 (LDL), 降低高密度脂蛋白 (HDL) 含量的趋势, 但差异不显著; 民猪限饲组子代 28 d 及 180 d 时血清中 CHO、TG 和 LDL 含量高于对照组, HDL 含量低于对照组, 但差异均不显著。母猪哺乳期蛋白限饲显著提高了长白猪子代 28 d 时肌肉脂肪含量及 H-FABP mRNA 相对表达量 ($P < 0.05$), 对 180 d 子代也有一定程度的提高, 且有提高民猪子代 28 d 和 180 d 肌肉脂肪含量及 H-FABP mRNA 相对表达量的趋势, 但差异均不显著。【结论】母猪哺乳期蛋白限饲可对子代早期脂肪沉积产生不同程度的母体效应, 但这种影响随着日龄的增加而减弱, 存在补偿效应, 且猪种间表现出一定的差异。

关键词: 母猪; 蛋白限饲; 子代猪; 血脂; 肌肉脂肪; H-FABP

Effects of Protein Restriction in Sows During Lactation on Serum Lipids, the Content of Intramuscular Fat, and H-FABP mRNA Expression in the Filial Pigs

ZHANG Hong-yu, SHAN An-shan, XU Lin, LI Jian-ping, CHENG Bao-jing

(Institute of Animal Nutrition, Northeast Agricultural University, Harbin 150030)

Abstract: 【Objective】 The objective of this experiment was to evaluate the effects of maternal protein restriction during lactation on serum lipids, intramuscular fat and H-FABP mRNA expression in the offspring. 【Method】 Twelve (6 Landrace and 6 Min pig) multi-parity sows with an average body weight of 180 ± 5 kg were chosen for experiment, and they were purely mated to Landrace or Min pig boars at identical estrus date respectively. Sows were allotted into two groups, with three replicates each consisting of one sow. All sows fed with a same composition diet in gestation, received a diet of either 18% or 9% protein during lactation. The serum lipids level, intramuscular fat content and H-FABP mRNA expression of *longissimus* muscle was determined in 28 d and 180 d offspring. 【Result】 The result showed that the serum CHO was significantly increased in protein restricted group of Landrace offspring at 28 d ($P < 0.05$), but no obvious differences were found in 180 d pigs. No significant difference was presented in 28 d and 180 d offspring of Landrace, although there was a tendency of increase in the serum TG and LDL, and decrease in the HDL. The serum CHO, TG and LDL of protein restricted group was increased and the HDL was decreased compared to that of the control group, but no significant effect was found in 28 d and 180 d offspring of Min pig. The content of intramuscular fat and H-FABP mRNA expression in *longissimus* muscle was significantly increased in protein restricted group of Landrace offspring at 28 d ($P < 0.05$), but no significant difference was observed in 180 d pigs. Maternal protein restriction during lactation presented a

收稿日期: 2009-10-28; 接受日期: 2009-12-31

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2004CB11750-5)、黑龙江省科技攻关项目 (GC05B402)、东北农业大学创新团队项目 (CXT006)

作者简介: 张宏宇, 硕士。Tel: 13654654191; E-mail: zhhy303@163.com。通信作者单安山, 教授, 博士。E-mail: asshan@mail.neau.edu.cn

tendency to increase in the content of intramuscular fat and H-FABP mRNA expression in 28 d and 180 d offspring of Min pig, however, the influence was not significant. 【Conclusion】 The results indicated that there was a difference in influence of maternal protein restriction on fat deposition in the offspring. The effect was decreased with the prolongation of time. The maternal effect showed some difference between breeds.

Key words: sows; protein restriction; filial pigs; serum lipids; intramuscular fat; H-FABP

0 引言

【研究意义】人类流行病学数据显示, 母体营养效应不仅可以影响子代早期生长发育, 并且可以使成年子代患代谢疾病的几率增加。大量以鼠为模型的试验也表明, 母体营养效应可以通过代谢及基因印记等途径对成年子代甚至隔代产生远期影响^[1-5]。【前人研究进展】近年来, 母体效应引起了许多国内外动物营养学家的重视, 做了许多母体营养对子代肉质性状调控的研究。前人研究发现, 母体妊娠期营养对后代肌纤维类型的形成有一定程度的影响^[6-8]; Daniel 等^[9]研究表明, 母体妊娠期中期限饲可影响子代胴体组成及肌纤维发育。Cerisuolo 等^[10]也发现母体妊娠期营养可影响子代猪出栏时的肉质。哺乳期是子代出生后早期生长的重要阶段, 哺乳期营养水平的变化可在许多方面对后代产生远期的影响。许多鼠模型的试验表明, 母体哺乳期蛋白限饲会引起成年子代甲状腺功能障碍^[11-12]。Silva 等^[13]最新研究结果显示, 哺乳期早期母体营养性应激可影响成年子代的免疫应答, 细胞因子的产生及中性白细胞的活性。另外, Fagundes 等^[14]也证明, 母体哺乳期低蛋白日粮可影响成年后代的体组成。【本研究切入点】目前关于猪哺乳期母体营养效应对成年子代肉质相关指标的影响尚未见报道。民猪具有抗逆性强、耐粗饲、泌乳性能好等特点; 而长白猪具有生长速度快, 对营养水平要求高的特点。在相当于自由采食

26%的亚维持水平下, 民猪体内能贮的损耗为长白猪的1/2^[15]。韩维中等^[16]研究表明, 民猪对低营养水平及耐粗饲能力均高于长白猪。【拟解决的关键问题】因此本试验选用民猪和长白猪为试验对象, 研究母猪哺乳期低蛋白日粮对子代血脂水平、肌肉脂肪含量及 H-FABP 基因表达的影响, 探讨猪哺乳期母体效应对子代脂肪代谢的影响及其作用机制, 并比较猪种间的差异性。

1 材料与方法

1.1 试验设计及样品采集

选取东北农业大学香坊实验基地发情日期一致、经产、体重相近(180±5 kg)的民猪及长白猪母猪12头(民猪和长白猪各6头), 进行纯种繁育, 确认妊娠后将母猪进行单栏饲养, 妊娠期营养水平相同。哺乳期母猪对照组日粮蛋白水平为18%, 限饲组日粮蛋白水平为9%, 日粮消化能均为13.81 MJ/kg, 其余营养素相同。将每头母猪的哺乳仔猪数均统一至8头, 即共96头子代猪供断奶前及生长育肥试验。仔猪28日龄断奶, 哺乳期间不补料。仔猪断奶后以窝为单位分组饲养, 均饲喂正常标准日粮, 日喂3次, 自由饮水, 试验期间按照猪场常规饲养及免疫程序进行操作。参照NRC1998和中国农业部2004年颁布的猪饲养标准配制试验猪各阶段日粮配方, 母猪妊娠期及子代各生长阶段对照组与限饲组之间均采用相同营养标准日粮。试验日粮见表1。

表1 母猪哺乳期日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Dietary ingredients and composition of sows during lactation (air dry basis)

原料 Ingredients	对照 Standard	低蛋白 Low-protein	营养水平 ¹⁾ Nutrient levels		
玉米 Corn	67.90	91.75	消化能 DE, MJ/kg	13.81	13.81
豆粕 soybean meal	26.15	2.00	粗蛋白 CP (%)	18.00	9.00
麦麸 Wheat bran	3.30	3.43	赖氨酸 Lys (%)	0.99	0.41
石粉 Limestone	0.75	0.785	蛋+胱 Met+Cys (%)	0.62	0.40
磷酸氢钙 Calcium phosphate	1.165	1.3	苏氨酸 Threonine (%)	0.67	0.33
食盐 Salt	0.35	0.35	钙 Ca (%)	0.76	0.76
赖氨酸 Lys	0.10	0.10	有效磷 AP (%)	0.40	0.40
预混料 ²⁾ Premix	0.285	0.285			
合计 Total	100.00	100.00			

¹⁾ 营养水平为计算值; ²⁾ 为每千克日粮提供: VA12500IU, VD₃1500IU, VE40mg, VK2mg, 烟酸 24mg, 泛酸 13mg, 叶酸 1.2mg, 氯化胆碱 600mg, Fe 90.0mg, Zn 80.0mg, Cu 6.0mg, Mn 30.0mg, Se 0.3mg, I 0.28mg

¹⁾ Nutrient level is calculated value; ²⁾ The premix provided per kilogram of diet: VA12500IU, VD₃1500IU, VE40mg, VK2mg, VB₃24mg, VB₅13mg, Folic acid 1.2mg, Choline 600mg, Fe 90.0mg, Zn 80.0mg, Cu6.0mg, Mn 30.0mg, Se 0.3mg, I 0.28mg

1.2 肌肉脂肪含量的测定

于子代 28 d 及 180 d 分别取 2 头和 4 头(共 6 头)进行屠宰, 公母各半, 取左侧胴体背最长肌中段最后肋骨与第一、二腰椎间核心部分肌肉样品, 迅速将一部分肉样转入-20℃冰箱中。采用索氏抽提法测定猪背最长肌中肌肉脂肪含量。肌肉脂肪含量=测定脂肪量/鲜肉样重量×100%。

1.3 血脂水平的测定

采集各组子代猪 28 d 及 180 d 前腔静脉血液 10 mL, 分离血清分装于编号试管中, -20℃保存待测。血清中 TG 和 CHO 的测定采用酶比色法, HDL 采用磷钨酸-镁沉淀法, LDL 采用聚乙烯硫酸沉淀法; 试剂盒均购自中生北控生物科技股份有限公司, 使用全自动生化分析仪(意大利 FULLY 仪器公司)进行测定。

1.4 总 RNA 的提取

取左侧背最长肌中央处肉样, 液氮速冻, 于-80℃冰箱保存备用。按照北京百泰克生物技术有限公司生产的离心柱型试剂盒的操作规则提取总 RNA。用 1.2% 琼脂糖变性凝胶电泳和分光光度计分别测定总 RNA 的质量及浓度, -80℃低温冰箱保存。

1.5 引物设计与合成

根据 GenBank 中检索到的猪管家基因 β -actin 和 H-FABP 基因的 cDNA 序列 (AY 550069) 和 (EF 619344) 设计引物。 β -actin 上游引物: 5'-ATGCTTCTA GGCGGACTGT-3', 下游引物: 5'-CCATCCAACCGA CTGCT-3', 扩增产物长度为 217 bp。H-FABP 上游引物: 5'-ATGACCAAGCCTACCACA-3', 下游引物: 5'-AAGTTTGCCTCCATCCAG-3', 扩增产物长度为 171 bp。引物由上海生物工程有限公司合成。

1.6 反转录

按照 Applied Biosystems 公司生产的 High-Capacity cDNA Reverse Transcription Kits 试剂盒要求进行反转录。

1.7 荧光定量 PCR

Real-Time PCR 反应按照大连宝生物公司的 SYBR Real-Time PCR Kit (TAKAR Code: DRRO41A) 试剂盒进行。反应体系为: SYBR[®] Premix Ex Taq[™] (2×) 10.0 μ L, PCR Forward Primer (10 μ mol·L⁻¹) 0.4 μ L, PCR Reverse Primer (10 μ mol·L⁻¹) 0.4 μ L, ROX Reference Dye II (50×) 0.4 μ L, d H₂O (灭菌蒸馏水) 6.8 μ L, cDNA 模板 2 μ L, 共 20 μ L。

1.8 H-FABP 基因相对表达量的计算

用浓度梯度从 10⁵ 至 1 的质粒样品制得标准曲线,

根据标准曲线建立线性方程, 将 Ct 值代入方程分别计算出 H-FABP 基因及管家基因 β -actin 的基因拷贝数丰度。样品的 mRNA 丰度用 H-FABP 基因与 β -actin 的比值来表示。

1.9 数据处理

数据用 SPSS 16.0 软件中的 One-Way ANOVA 程序分别对两个品种猪的数据进行统计分析, 结果以平均值±标准差表示。

2 结果

2.1 总 RNA 的检测

提取的总 RNA 经核酸分析测定计算 A₂₆₀/A₂₈₀, 其比值都在 1.8—2.0 的范围之内。总 RNA 经 1.2% 琼脂糖变性凝胶电泳进行完整性检测, 部分样品结果见图 1。

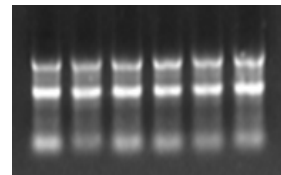


图 1 总 RNA 完整性检测

Fig. 1 Determination of integrity for total RNA

2.2 PCR 扩增曲线及熔解曲线

管家基因 (β -Actin 基因) 与 H-FABP 基因 Real-time PCR 产物扩增曲线和熔解曲线分析结果(图 2 和图 3)。从熔解曲线图上可以看出, 无引物二聚体及非特异性产物形成, 表明 PCR 扩增片段均为单一特异性产物。

2.3 母猪哺乳期蛋白限饲对子代血清脂类水平的影响

母猪哺乳期蛋白限饲对子代血清脂类水平的影响(表 2)。母体哺乳期蛋白限饲显著提高了长白猪子代 28 d 血清中 CHO 的含量 ($P < 0.05$), 对 180 d 子代影响不显著; 提高了长白猪限饲组子代 28 d 及 180 d 限饲组 TG 和 LDL 的含量, 使 HDL 含量下降, 但均未达到显著水平。母体蛋白限饲提高了民猪子代 28 d 及 180 d 血清中 TG、CHO 及 LDL 含量, 降低了 HDL 含量, 但差异均不显著。猪种与饲料间无互作效应。

2.4 母猪哺乳期蛋白限饲对子代猪肌肉脂肪含量的影响

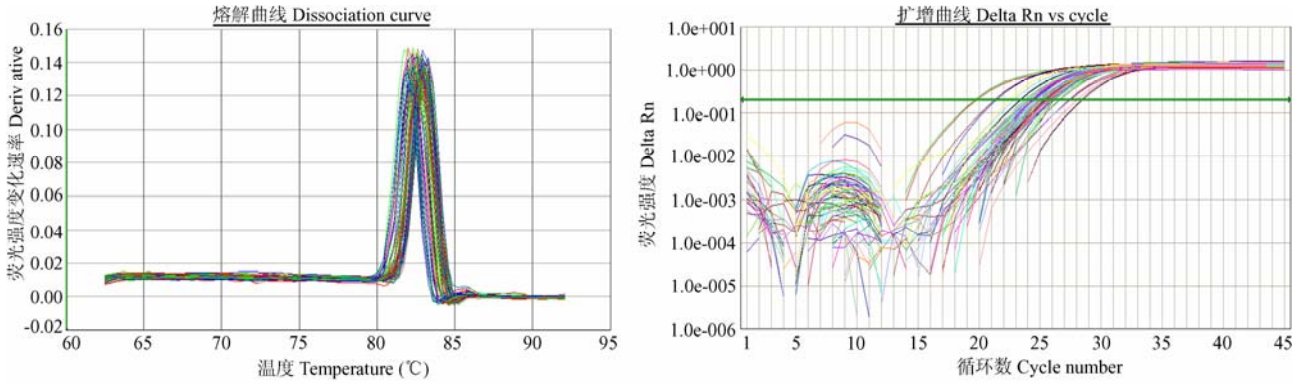


图 2 β-actin 熔解曲线及 PCR 扩增曲线
Fig. 2 PCR melting and amplification curve of β-actin

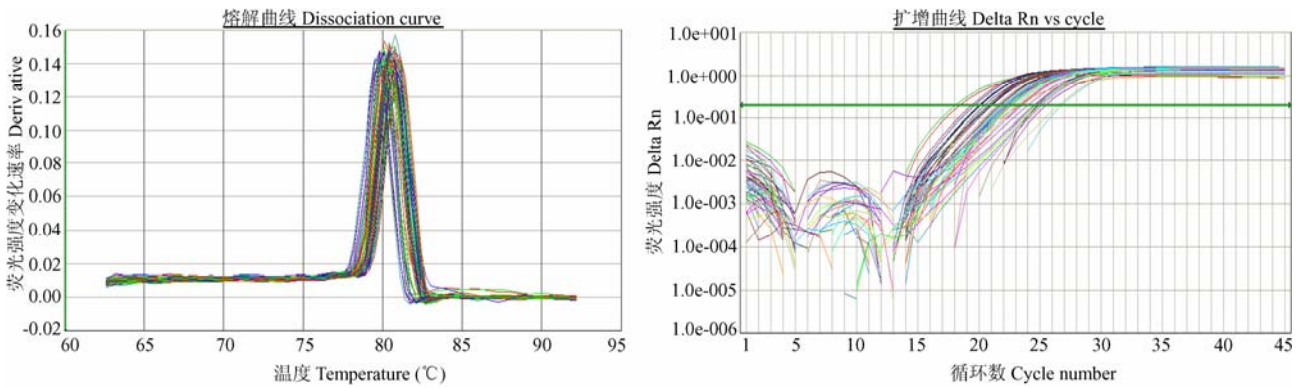


图 3 H-FABP 熔解曲线及 PCR 扩增曲线
Fig. 3 PCR melting and amplification curve of H-FABP

表 2 母猪哺乳期蛋白限饲对子代血脂、肌内脂肪含量及 H-FABP mRNA 相对表达量的影响

Table 2 Effects of protein restriction in sows during lactation on serum lipids, the content of intramuscular fat and mRNA expression of H-FABP in the offspring

项目 Item	民猪 Min pig			长白猪 Landrace			品种×饲料 交互效应 B×F	
	正常 Control	低蛋白 LP	P 值 P value	正常 Control	低蛋白 LP	P 值 P value	P 值 P value	P 值 P value
甘油三酯 TG								
28 d	0.91±0.09	0.96±0.11	0.19	0.74±0.04	0.78±0.05	0.11		0.61
180 d	0.72±0.06	0.74±0.05	0.27	0.61±0.07	0.64±0.08	0.26		0.83
总胆固醇 CHO								
28 d	4.43±0.29	4.64±0.23	0.07	3.95b±0.27	4.21a±0.26	0.03		0.76
180 d	2.64±0.13	2.76±0.26	0.16	2.07±0.19	2.20±0.26	0.17		0.94
高密度脂蛋白 HDL								
28d	0.71±0.08	0.66±0.06	0.14	0.77±0.05	0.73±0.06	0.11		0.82
180d	0.53±0.05	0.51±0.05	0.26	0.53±0.06	0.49±0.04	0.13		0.57
低密度脂蛋白 LDL								
28 d	2.42±0.20	2.52±0.17	0.19	2.33±0.15	2.41±0.12	0.17		0.78
180 d	1.42±0.08	1.46±0.06	0.18	1.32±0.06	1.35±0.07	0.16		0.88
肌内脂肪含量								
28 d	2.84±0.14	2.95±0.09	0.12	1.73b±0.09	1.86a±0.08	0.02		0.84
180 d	4.36±0.23	4.56±0.38	0.13	2.09±0.13	2.18±0.16	0.12		0.47
H-FABP mRNA 表达量								
28 d	1.42±0.08	1.50±0.07	0.10	0.62b±0.03	0.71a±0.09	0.04		0.80
180 d	0.51±0.06	0.55±0.06	0.15	0.28±0.04	0.31±0.05	0.12		0.81

同一行相同因素内比较，标字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)，不标字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$)；LP 表示低蛋白日粮；B×F 表示品种与蛋白水平的交互效应

Values with different letters within a row indicate linear treatment effects ($P < 0.05$), with no letters indicate no significant effect ($P > 0.05$); LP means low-protein; B×F means interactive effect between breed and feed

由表 2 可知, 母体哺乳期蛋白限饲显著提高了长白猪子代 28 d 背最长肌中肌肉脂肪含量 ($P<0.05$), 对 180 d 子代也有一定程度的提高, 但差异不显著。母体哺乳期蛋白限饲有提高民猪 28 d 及 180 d 子代背最长肌中肌肉脂肪含量的趋势, 但差异均不显著, 且不存在猪种与饲料间的互作效应。

2.5 母猪哺乳期蛋白限饲对子代猪 H-FABP 基因相对表达量的影响

从表 2 可以看出, 母体哺乳期蛋白限饲显著提高了长白猪 28 d 子代背最长肌 H-FABP mRNA 相对表达量 ($P<0.05$), 180 d 子代限饲组仍高于对照组, 但差异不显著。母体哺乳期蛋白限饲对民猪 28 d 及 180 d 子代 H-FABP mRNA 相对表达量均无显著影响, 但限饲组子代均高于对照组。母体哺乳期蛋白限饲对 28 d 子代 H-FABP mRNA 相对表达量的影响强度大于 180 d 子代, 两猪种间表现出相同的趋势, 且不存在猪种与饲料间的互作。

3 讨论

血液 CHO 和 TG 含量基本可以反映脂类的吸收状况和动物的营养状况; 血清 LDL 为胆固醇的主要携带者, 而 HDL 含量可代表体内胆固醇的清除情况。Sink 等^[17]研究表明血清 CHO 水平与机体脂肪沉积呈显著正相关^[9]。Wheeler 等^[18]也认为血清 CHO 浓度可反映机体脂类代谢的基本状况。本试验结果表明, 母体哺乳期蛋白限饲显著提高了长白猪 28 d 子代血清 CHO 的含量, 对民猪及长白猪 28 d 及 180 d 子代血清 TG 及 LDL 含量并未造成显著影响, 但均有升高的血脂水平的趋势。说明母体蛋白限饲促进了长白猪 28 d 子代体内脂肪的沉积, 从而使血清脂类水平增加, 但对民猪影响不显著。

Ford 等^[19]研究表明, 母体妊娠初期至中期限饲可促进子代脂肪的沉积。Zhu 等^[20]的研究也说明, 母体妊娠期限饲对子代肌纤维发育不利, 但可促进脂肪的沉积, 并可使肌肉内甘油三酯的含量增加。Desai 等^[21]以鼠为模型发现, 母体哺乳期蛋白限饲可对子代体重及肌肉发育产生明显的母体效应。以上资料表明, 母体妊娠期及哺乳期限饲均可影响子代的脂类代谢, 可促进脂肪沉积。在本试验中, 母猪哺乳期蛋白限饲对长白猪 28 d 子代肌肉脂肪含量产生了显著影响, 使肌肉内脂肪沉积增加; 民猪 28 d 子代及两猪种 180 d 子代也表现出升高的趋势, 但影响不显著。可见, 母体哺乳期蛋白限饲对长白猪子代早期血脂及肌肉脂肪

沉积均产生了明显的母体效应, 但存在猪种间的差异。

H-FABP 基因是肌肉脂肪候选基因。Gerbens 等^[22]研究发现 H-FABP 基因多态性与肌肉脂肪含量、背膘厚及日增重显著相关。Gerbens 等^[23]又发现 H-FABP mRNA 表达水平与肌肉脂肪含量存在显著正相关。本试验中子代不同日龄肌肉脂肪含量与 H-FABP mRNA 相对表达量的变化趋势基本一致, 与前人的研究结果相同。Aalinkeel 等^[24]研究表明, 哺乳期母体营养可通过调节基因表达而程序化小鼠的胰岛功能, 导致成年子代患肥胖症。Robert 等^[25]研究也发现, 哺乳期母体营养可通过影响印记基因的表达对子代产生影响。可见, 哺乳期母体营养可对后代产生显著影响, 且母体营养的变化可通过影响子代印记基因的表达而发挥作用。由此可知, 本试验中母体哺乳期蛋白限饲影响了子代背最长肌中 H-FABP 基因的表达, 使子代肌肉脂肪含量升高。

4 结论

4.1 本试验结果表明, 母猪哺乳期蛋白限饲对两猪种子代脂肪代谢产生了不同程度的母体效应, 且趋势一致, 但对长白猪断奶子代作用明显, 说明不同猪种之间表现出一定的差异性;

4.2 母猪哺乳期蛋白限饲对两猪种出栏子代影响不显著, 母体效应随着日龄的增加而减弱, 存在补偿效应。

References

- [1] Bennis-Taleb N, Remacle C, Hoet J J, Reusens B. A low-protein isocaloric diet during gestation affects brain development and alters permanently cerebral cortex blood vessels in rat offspring. *The Journal of Nutrition*, 1999, 129(8): 1613-1619.
- [2] Toscana A E, Manhães-de-Castro R, Canon F. Effect of a low-protein diet during pregnancy on skeletal muscle mechanical properties of offspring rats. *Nutrition*, 2008, 24: 270-278.
- [3] Liang H, Xiong W H, Zhang Z B. Effect of maternal food restriction during gestation on early development of F1 and F2 offspring in the rat-like hamster (*Cricetulus triton*). *Zoology*, 2007, 110: 118-126.
- [4] Merezak S, Reusens I B, Renard A, Goosse K, Kalbe L, Ahn M T, Tamarit-Rodriguez J, Remacle C. Effect of maternal low-protein diet and taurine on the vulnerability of adult Wistar rat islets to cytokines. *Diabetologia*, 2004, 47: 669-675.
- [5] Srinivasan M, Aalinkeel R, Song F, Patel M S. Programming of islet functions in the progeny of hyperinsulinemic/obese rats. *Diabetes*,

- 2003, 52: 984-990.
- [6] Bee G. Effect of early gestation feeding, birth weight, and gender of progeny on muscle fiber characteristics of pigs at slaughter. *Journal of Animal Science*, 2004, 82: 826-836.
- [7] Dwyer C M, Stickland N C, Fletcher J M. The influence of maternal nutrition on muscle fiber number development in the porcine fetus and on subsequent postnatal growth. *Journal of Animal Science*, 1994, 72: 911-917.
- [8] Fahey A J, Brameld J M, Parr T, Buttery P J. The effect of maternal undernutrition before muscle differentiation on the muscle fiber development of the newborn lamb. *Journal of Animal Science*, 2005, 83: 2564-2571.
- [9] Daniel Z C T R, Brameld J M, Craigon J, Scollan N D, Buttery P J. Effect of maternal dietary restriction during pregnancy on lamb carcass characteristics and muscle fiber composition. *Journal of Animal Science*, 2007, 85: 1565-1576.
- [10] Cerisuelo A, Baucells M D, Gasa J, Coma J, Carrión D, Chapinal N, Sala R. Increased sow nutrition during midgestation affects muscle fiber development and meat quality, with no consequences on growth performance. *Journal of Animal Science*, 2009, 87: 729-739.
- [11] Passes M C F, da Fonte Ramos C, Dutra S C P, Mouco T, de Moura E G. Long-term effects of malnutrition during lactation on the thyroid function of offspring. *Hormone Metabolism Research*, 2002, 34: 40-43.
- [12] Ramos C F, Lima A P S, Teixeira C V, Brito P D, Moura E G. Thyroid function in post-weaning rats whose dams were fed a low-protein diet during suckling. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 1997, 30: 133-137.
- [13] Silva S V, Garcia-Souza É P, Moura A S, Barja-Fidalgo C. Maternal protein restriction during early lactation induces changes on neutrophil activation and TNF- α production of adult offspring. *Inflammation*. <http://www.springerlink.com/content/c71756718628p2v3/fulltext.pdf>. Accessed on 15 October 2009.
- [14] Fagundes A T S, Moura E G, Passos M C F, Oliveira E, Toste F P, Bonomo I T, Trevenzoli I H, Garcia R M G, Lisboa P C. Maternal low-protein diet during lactation programmes body composition and glucose homeostasis in the adult rat offspring. *British Journal of Nutrition*, 2007, 98: 922-928.
- [15] 杨公社. 猪生产学. 北京: 中国农业出版社, 2008: 36.
Yang G S. *Pig Production*. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 36. (in Chinese)
- [16] 韩维中, 肖振铎, 崔宝瑚, 高慕琪. 东北民猪抗逆性能的观察研究. 中国畜牧杂志, 1983, 5: 15-17.
Han W Z, Xiao Z D, Cui B H, Gao M Q. The observation and study in stress resistance of Min pig. *Chinese Journal of Animal Science*, 1983, 5: 15-17. (in Chinese)
- [17] Sink J D, Wilson L L, McCarthy R D, Rugh M C. Angus-Holstein cows and their progeny production, growth and body characteristics in interrelationships between serum Lipids, energy intake, milk. *Journal of Animal Science*, 1973, 36: 313-317.
- [18] Wheeler T L, Davis G W, Stoecker B J, Harmon C J. Cholesterol concentration of longissimus muscle, subcutaneous fat and serum of two beef cattle breed types. *Journal of Animal Science*, 1987, 65: 1531-1537.
- [19] Ford S P, Hess B W, Schwoppe M M, Nijland J S, Gilbert J S, Vonnahme K A, Means W J, Han H, Nathanielsz P W. Maternal undernutrition during early to mid-gestation in the ewe results in altered growth, adiposity, and glucose tolerance in male offspring. *Journal of Animal Science*, 2007, 85: 1285-1294.
- [20] Zhu M J, Ford S P, Means W J, Hess B W, Nathanielsz P W, Du M. Maternal nutrient restriction affects properties of skeletal muscle in offspring. *The Journal of Physiology*, 2006, 575: 241-250.
- [21] Desai B M, Crowther N J, Lucas A, Hales C N. Organ-selective growth in the offspring of protein-restricted mothers. *British Journal of Nutrition*, 1996, 76: 591-603.
- [22] Gerbens F, ven Erp A J M, Harders F L, Verburg F J, Meuwissen T H E, Veerkamp J H, te Pas M F W. Effect of genetic variants of the heart fatty acid-binding protein gene on intramuscular fat and performance traits in pigs. *Journal of Animal Science*, 1999, 77: 846-852.
- [23] Gerbens F, Verburg F J, ven Moerlerl H T B, Engel B, Buist W, Veerkamp J H, te Pas M F W. Associations of heart and adipocyte fatty acid-binding protein gene expression with intramuscular fat content in pigs. *Journal of Animal Science*, 2001, 79: 347-354.
- [24] Aalinkeel R, Srinivasan M, Song F, Patel M S. Programming into adulthood of islet adaptations induced by early nutritional intervention in the rat. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 2001, 281: 640-648.
- [25] Robert A W, Cutberto G. Early postnatal nutrition determines adult pancreatic glucose-responsive insulin secretion and islet gene expression in rats. *The Journal of Nutrition*, 2002, 132: 357-364.