

# 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪 肝脏脂代谢功能的影响

刘军 仲召鑫 彭众 喻礼怀 董丽\*

(扬州大学动物科学与技术学院,扬州 225009)

**摘要:** 本文旨在研究哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢功能的影响。试验成对选取 7 日龄体重相近 40 头哺乳仔猪,分为对照组(CON 组)和精氨酸组(Arg 组),每组 20 头猪(公母各占 1/2)。7 日龄起,在自然哺乳的同时,CON 组仔猪每日灌服生理盐水 40 mL,Arg 组每日灌服精氨酸 40 mL[250 mg/(kg·d)]。在 21 日龄时,仔猪断奶并饲喂基础饲料。每组在断奶当天(21 日龄)和断奶后第 3 天(24 日龄)每次随机挑选 8 头仔猪(公母各占 1/2)屠宰并采取肝脏。结果表明:1)断奶后第 3 天,仔猪的体重与肝脏重均极显著低于断奶当天( $P<0.01$ );与 CON 组相比,断奶后第 3 天,Arg 组仔猪肝脏指数极显著提高( $P<0.01$ )。2)与 CON 组相比,Arg 组仔猪肝细胞粒径极显著提高( $P<0.01$ ),肝细胞面积显著提高( $P<0.05$ )。3)断奶后第 3 天,仔猪肝脏中总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)含量极显著高于断奶当天( $P<0.01$ );断奶当天,Arg 组仔猪肝脏中高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量显著高于 CON 组( $P<0.05$ ),低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量极显著低于 CON 组( $P<0.01$ )。4)与 CON 组相比,断奶当天,Arg 组仔猪肝脏中脂蛋白脂肪酶(LPL)基因相对表达水平显著提高( $P<0.05$ )。由此可得,哺乳期补饲精氨酸能够促进断奶仔猪肝脏发育,提高肝脏中 HDL-C 含量,降低肝脏中 LDL-C 含量,提高肝脏中 LPL 基因的表达水平,进而提高断奶仔猪肝脏脂代谢的功能。

**关键词:** 精氨酸;仔猪;肝脏;脂代谢;断奶应激

中图分类号:S828

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)02-0674-08

随着养猪业的不断发展,集约化养殖已经成为一种趋势,并且随着集约化规模越来越大,为了提高生产效率,早期断奶技术的应用也越来越多。但是,仔猪早期断奶会产生免疫功能抑制、代谢紊乱、肠胃功能紊乱以及生长性能下降的不利影响<sup>[1]</sup>,尤其是早期断奶仔猪在断奶后的 2 周内对脂肪的消化能力很低,而在第 3 周或第 4 周之后就可以很好地消化<sup>[2]</sup>。精氨酸(arginine, Arg)是维持幼年动物最佳的生长和氮平衡的必需氨基酸<sup>[3]</sup>。有研究表明,一氧化氮合酶从精氨酸开始合成一氧化氮,而一氧化氮作为信号分子,其生理

水平能够调控肝脏的脂肪酸氧化,促进脂代谢<sup>[4]</sup>。周笑犁等<sup>[5]</sup>研究表明,饲料中添加精氨酸可显著下调环江香猪肝脏中乙酰辅酶 A 羧化酶(acetyl-CoA carboxylase, ACC) mRNA 的表达,并显著上调肝脏中过氧化物酶体增殖物激活受体 $\gamma$ (peroxisome proliferator-activated receptor  $\gamma$ , PPAR $\gamma$ ) mRNA 的表达,从而促进脂代谢;胡诚军等<sup>[6]</sup>研究发现在饲料中添加 1%精氨酸和 1%谷氨酸能够使皮下脂肪组织中 ACC 和脂肪酸转运蛋白 4(fatty acid transporter 4, FATP4) mRNA 的表达水平显著降低,背最长肌中脂蛋白脂肪酶(lipoprotein lipase,

收稿日期:2019-08-20

基金项目:江阴市科技创新专项(JY0603A010103180020PB);江苏省自然科学基金(青年)项目(BK20170490)

作者简介:刘军(1998—),男,安徽池州人,本科生,研究方向为动物营养调控与饲料资源开发。E-mail: 770772073@qq.com

\*通信作者:董丽,讲师,E-mail: donglijiaoyou@126.com

*LPL*) mRNA 的表达水平显著升高。因此,我们推测哺乳期补饲精氨酸可能可以调节断奶仔猪的肝脏脂代谢功能。本实验室之前研究过血液中脂代谢的变化,在前期研究基础上,本研究进一步通过研究断奶仔猪肝脏脂代谢相关指标以及脂代谢相关基因指标,说明精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢功能的影响,进一步探究其影响的机制,以期为后人研究断奶仔猪肝脏脂代谢提供相关参考。此外,由于猪与人的消化代谢模式相近,本研究也有助于为阐明人类脂肪代谢相关机理和提高人类自身的健康水平提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

选择具有相似体重和相似胎次(3~4胎)的母猪所生的仔猪,成对选取7日龄时体重相似的健康“杜×长×大”哺乳仔猪40头,随机分为对照组(CON组)和精氨酸组(Arg组),每组20头猪(公母各占1/2)。7日龄起,在自然哺乳的同时,CON组仔猪每日灌服40 mL生理盐水,Arg组仔猪每日灌服40 mL精氨酸[250 mg/(kg·d)]。所有仔猪21日龄断奶,饲喂基础饲粮。每组分别在断奶当天(21日龄)和断奶后第3天(24日龄)每次随机选择8头仔猪(公母各占1/2)屠宰,然后对其肝脏组织进行甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)等相关指标的测定,以及*LPL*、脂肪酸合成酶(*FAS*)、过氧化物酶体增殖物激活受体 $\alpha$ (*PPAR* $\alpha$ )等基因的表达测定。根据NRC(2012)仔猪营养需求并结合生产实践制备仔猪的基础饲粮,其组成及营养水平见表1。

### 1.2 饲养管理

该试验于2018年7月在太仓市金诸种猪场进行。7~20日龄期间CON组和Arg组仔猪自由哺乳,每日2次分别补饲0.9%生理盐水和精氨酸水溶液(灌服时间分别为08:00和14:00)。所用仔猪在21日龄时断奶,CON组和Arg组在21~24日龄期间饲喂基础饲粮,每日饲喂3次(饲喂时间分别为08:00、14:00和20:00),每次添加的量以料槽中略有剩余为宜,自由饮水。每天清理围场,保持围场清洁,日常管理、消毒、防疫生产按照养猪场的正常程序进行。

表1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	60.50
鱼粉 Fish meal	5.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	5.00
大豆油 Soybean oil	1.00
豆粕 Soybean meal	24.00
石粉 Limestone	1.18
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	1.30
L-赖氨酸 L-Lys	0.60
蛋氨酸 Met	0.13
苏氨酸 Thr	0.17
色氨酸 Ser	0.02
氯化胆碱 Choline chloride	0.10
食盐 NaCl	0.40
预混料 Premix <sup>1)</sup>	0.60
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>	
消化能 DE/(MJ/kg)	14.11
粗蛋白质 CP	20.21
钙 Ca	0.76
有效磷 AP	0.45
赖氨酸 Lys	1.25
蛋氨酸 Met	0.43
苏氨酸 Thr	0.71
色氨酸 Trp	0.16

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kilogram of the diet: VA 6 000 IU, VD<sub>3</sub> 400 IU, VE 30 mg, VK<sub>3</sub> 2 mg, VB<sub>1</sub> 3.5 mg, VB<sub>2</sub> 5.5 mg, VB<sub>6</sub> 3.5 mg, VB<sub>12</sub> 25.0  $\mu$ g, 生物素 biotin 0.05 mg, 叶酸 folic acid 0.3 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 20 mg, 烟酸 niacin 20 mg, 氯化胆碱 choline chloride 500 mg, Fe (as ferrous sulfate) 110 mg, Zn (as zinc sulfate) 100 mg, Cu (as copper sulfate) 20 mg, Mn (as manganese sulfate) 40 mg, Se (as sodium selenite) 0.30 mg, I (as potassium iodide) 0.40 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

### 1.3 屠宰与样品采集

在断奶当天(21日龄)和断奶后第3天(24日龄)每组随机选择8头仔猪(公母各占1/2)进行屠宰和采样,屠宰前对每头仔猪进行称重,电击后颈静脉放血致死,进行屠宰解剖,分离出肝脏,在肝脏中部用刀划出方块状肝脏组织,用4%多聚甲

醛固定,用于光镜试验。同时另取肝脏组织存贮于 2 mL 冻存管,随后保存于液氮罐中,后移至 -80 °C 保存待测。

## 1.4 测定指标与方法

### 1.4.1 肝脏指数测定

试验断奶当天(21 日龄)和断奶后第 3 天(24 日龄),每头仔猪进行称重并记录下各组仔猪的体重。称重后经过重度电击屠宰解剖后,将肝脏分离,剥离胆囊,吸水纸吸收表面多余的血液,立即称重,记录并计算肝脏指数。肝脏指数计算公式如下:

$$\text{肝脏指数 (g/kg)} = \frac{\text{器官重 (g)}}{\text{活体重 (kg)}}$$

### 1.4.2 肝脏组织切片

试验结束后取肝脏组织用 4% 多聚甲醛固定。制作肝脏组织切片。通过显微镜 (Olympus CKX41, 日本) 拍摄染色部分的代表性图像,使用 Image-Pro Plus 6.0 软件测量肝细胞的大小。将每个组织切成 5 个切片,每个切片计数 3 个不同视野中 30 个细胞的面积和粒径,最后取平均值。

### 1.4.3 脂代谢相关指标测定

从 -80 °C 冰箱取出肝脏样本,重约 260 mg,以

1:9 (质量体积比) 比例加入盐水溶液,冰浴条件下机械均质化,2 500 r/min 离心 10 min,取上清液待测。采用试剂盒测定 TC、TG、HDL-C 和 LDL-C 含量,试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,严格按照试剂盒说明操作。

### 1.4.4 脂代谢相关基因表达测定

从 -80 °C 取出肝脏样品,使用 Trizol 提取样品的总 RNA,测定纯度 (Applied Biosystems™ 7500),RNA 质量通过琼脂糖凝胶电泳鉴定。将合格的 RNA 反转录为 cDNA,存放于 -80 °C 中待测,具体方案根据 TaKaRa 试剂盒说明书 (TaKaRa RR047A) 进行。通过 NCBI PubMed 获得所需的引物,引物序列如表 2 所示。特异性引物由金维智生物科技有限公司 (GENEWIZ, 苏州) 合成。以磷酸甘油醛脱氢酶 (glyceraldehyde phosphate dehydrogenase, *GAPDH*) 作为内参,对目的基因进行相对定量分析。使用  $2^{-\Delta\Delta Ct}$  方法计算目的基因的相对表达水平。反转录和荧光定量试剂盒购自 TaKaRa 生物技术有限公司,并且严格按照说明书中规定的程序进行操作。

表 2 实时荧光定量 PCR 引物序列

Table 2 Primer sequences of real time quantitative PCR

基因 Genes	登录号 Accession No.	引物序列 Primer sequences (5'—3')	产物大小 Product size/bp
磷酸甘油醛脱氢酶 <i>GAPDH</i>	NM_001206359	F:GTCGGAGTGAACGGATTTGGC R:GGAGGTCAATGAAGGGGTCA	106
脂肪酸合成酶 <i>FAS</i>	NM_213839	F:CTGGGTTCTCCTGTCACTGGT R:GAATCGGGGTCAGTCACTTGG	84
脂蛋白脂肪酶 <i>LPL</i>	NM_214286	F:GCCCAGTGCTTTGGGAGATT R:GGCCACTCTCTCTCAAAC	130

## 1.5 数据统计与分析

在用 Excel 2016 对测试数据进行初步计算后,采用 SPSS 23.0 软件对测试数据进行统计分析。肝脏指数、肝细胞粒径、脂代谢相关指标以及基因表达指标等数据采用两因素方差分析,时间和精氨酸作为固定效应。CON 组和 Arg 组 2 组之间再用独立 *t* 检验进一步进行差异分析。显著性差异水平为  $P < 0.05$ ,极显著性差异水平为  $P < 0.01$ 。

## 2 结果

### 2.1 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏器官发育的影响

由表 3 可知,断奶后第 3 天(24 日龄)断奶仔猪的体重、肝脏重和肝脏指数均极显著低于断奶当天(21 日龄) ( $P < 0.01$ );与 CON 组相比,Arg 组仔猪断奶后第 3 天肝脏指数极显著提高 ( $P < 0.01$ )。

### 2.2 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏细胞大小的影响

由图 1 可知,Arg 组仔猪肝脏细胞较清晰,排

列较整齐。由表 4 可知,与 CON 组相比,Arg 组仔猪肝细胞粒径极显著提高( $P<0.01$ ),肝细胞面积显著提高( $P<0.05$ )。

表 3 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏器官发育的影响

Table 3 Effects of arginine supplementation during the lactation period on liver organ development of weaned piglets

项目 Items	时间 Time	组别 Groups		SEM	P 值 P-value		
		CON	Arg		精氨酸 Arg	时间 Time	精氨酸×时间 Arg×time
体重 Body weight/kg	21 日龄	6.34	6.35	0.64	0.379	<0.001	0.434
	24 日龄	5.16	5.38				
肝脏重 Liver weight/g	21 日龄	163.44	157.60	25.29	0.762	<0.001	0.164
	24 日龄	115.20	124.20				
肝脏指数 Liver index/(g/kg)	21 日龄	25.78	24.84	2.28	0.910	<0.001	0.203
	24 日龄	22.26	23.05**				

与 CON 组相比,同行 Arg 组数据肩标 \* 表示差异显著( $P<0.05$ ),肩标 \*\* 表示差异极显著( $P<0.01$ )。下表同。

In the same row, compared with the CON group, values with \* superscripts of the Arg group mean significant difference ( $P<0.05$ ), and with \*\* superscripts mean extremely significant difference ( $P<0.01$ ). The same as below.

表 4 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏细胞大小的影响

Table 4 Effects of arginine supplementation during the lactation period on liver cell size of weaned piglets

项目 Items	时间 Time	组别 Groups		SEM	P 值 P-value		
		CON	Arg		精氨酸 Arg	时间 Time	精氨酸×时间 Arg×time
肝细胞粒径 Liver particle size/ $\mu\text{m}$	21 日龄	9.06	10.36*	0.78	<0.001	0.826	0.658
	24 日龄	9.02	10.42*				
肝细胞面积 Liver cell area/ $\mu\text{m}^2$	21 日龄	97.76	103.59	1.09	0.039	0.351	0.975
	24 日龄	100.05	105.73				

### 2.3 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢相关指标的影响

由表 5 可知,断奶后第 3 天仔猪肝脏中 TC 和 TG 含量极显著高于断奶当天( $P<0.01$ ),Arg 组仔猪肝脏中 LDL-C 含量极显著低于 CON 组( $P<0.01$ )。CON 组和 Arg 组仔猪肝脏中 TC 和 TG 含量无显著差异( $P>0.05$ )。断奶当天,Arg 组仔猪肝脏中 HDL-C 含量显著高于 CON 组( $P<0.05$ )。

### 2.4 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢相关基因表达的影响

由表 6 可知,断奶当天,Arg 组仔猪肝脏 LPL 基因相对表达水平显著高于 CON 组( $P<0.05$ ),其他脂代谢相关基因相对表达水平无显著差异( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏发育的影响

肝脏作为能量代谢的中枢器官,在脂肪生成、

糖异生和脂质的分解代谢上起着非常重要的作用<sup>[7]</sup>,而且能量和脂质的代谢之间的平衡在维持肝功能方面十分重要。脂代谢与机体健康关系密切,并且它还还为机体提供能量生成基质<sup>[8]</sup>。所以,肝脏是研究机体脂代谢合适的靶器官,它对机体中脂代谢相关酶以及脂蛋白的合成与释放有着十分重要的影响<sup>[9]</sup>。而器官指数是判断动物体器官发育状况的一种重要的指标,对我们判断动物器官健康状况具有一定指导意义<sup>[10]</sup>。本试验中,Arg 组仔猪断奶后第 3 天肝脏指数极显著高于 CON 组。此结果表明,哺乳期补饲精氨酸能够有效缓解断奶应激对肝脏重的影响,这与彭瑛等<sup>[11]</sup>的研究结果基本一致,我们推断哺乳期补饲精氨酸能够对断奶仔猪肝脏发育有一定的促进作用。我们进一步通过苏木精-伊红(HE)染色切片,观察肝脏细胞发育情况,从而了解断奶仔猪的组织学的变化或者是否发生组织损伤。在正常生理条件



下,肝组织 HE 染色图中的肝细胞排列整齐,放射状排列在中央静脉中央周围,肝细胞排列整齐,无细胞变性和异常<sup>[12]</sup>。本试验研究发现,2 组仔猪肝细胞均清晰,无病理变化,Arg 组仔猪肝细胞粒径和肝细胞面积显著提高,Arg 组的断奶仔猪肝

脏发育程度更好一些,从而推测其营养代谢功能(脂代谢)可能强于 CON 组断奶仔猪。本试验中,Arg 组仔猪肝脏发育更好,但其脂代谢功能是否受到影响需要进一步研究。

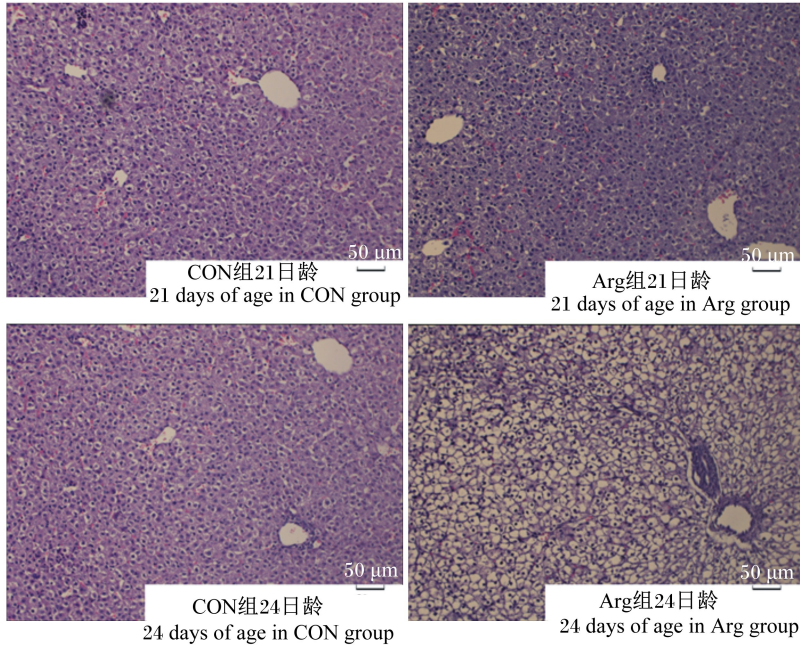


图 1 断奶仔猪肝脏组织切片

Fig.1 Liver tissue section of weaned piglets (400×)

表 5 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢相关指标的影响

Table 5 Effects of arginine supplementation during the lactation period on liver lipid metabolism related indices of weaned piglets

项目 Items	时间 Time	组别 Groups		SEM	P 值 P-value		
		CON	Arg		精氨酸 Arg	时间 Time	精氨酸×时间 Arg×time
总胆固醇 TC	21 日龄	0.11	0.13	0.08	0.418	<0.001	0.082
	24 日龄	0.27	0.20				
甘油三酯 TG	21 日龄	0.15	0.15	0.11	0.484	<0.001	0.560
	24 日龄	0.32	0.27				
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C	21 日龄	0.28	0.56*	0.02	<0.001	0.154	0.055
	24 日龄	0.12	0.07				
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C	21 日龄	0.08	0.05**	0.02	<0.001	0.574	0.819
	24 日龄	0.07	0.05				

### 3.2 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢的影响

通过动物脂代谢相关产物含量以及相关基因表达水平的情况能够判断仔猪的脂代谢功能的强

弱<sup>[13]</sup>。脂代谢功能的强弱与动物的生长、发育和繁殖有着重要的关系。TC 是一种可以合成多种类固醇的脂,机体内的 TC 含量能够有效反映动物脂质代谢和吸收的状况<sup>[14]</sup>。TG 是脂肪的重要组

成成分,因此 TG 的含量一定程度上可以反映机体脂代谢的情况。HDL-C 和 LDL-C 的含量与动物的健康有着密切的关系,HDL-C 被公认为是抗动脉粥样硬化的保护因子,两者在适宜范围内均被认为与心血管事件风险有关<sup>[15]</sup>。有关于精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢的影响的相关研究并未见刊,但是在方勇军<sup>[16]</sup>的研究中发现,添加 0.5% 精氨酸可以显著降低肉鸭血清 TG 含量。Jobgen 等<sup>[17]</sup>发现饲料添加精氨酸能够显著降低大鼠血清中 TG 含量。刘艳妍等<sup>[18]</sup>研究表明,在饲料中添加精氨酸可显著提高獭兔血清 HDL-C 含量。本试验中,断奶后第3天的仔猪肝脏中 TC 与 TG 含

量极显著高于断奶当天,说明断奶应激对仔猪肝脏脂代谢有明显的抑制作用;但是相比于 CON 组,Arg 组仔猪肝脏中 TG 和 TC 含量增加幅度有限,说明补饲精氨酸能够有效缓解断奶应激对肝脏脂代谢的影响。对于 HDL-C 来说,断奶当天的 Arg 组仔猪肝脏中含量显著高于 CON 组,与此同时 Arg 组仔猪肝脏中 LDL-C 含量极显著低于 CON 组,说明哺乳期补饲精氨酸能够有效促进断奶仔猪肝脏脂代谢。上述试验结果表明在哺乳期补饲精氨酸对缓解断奶仔猪造成的影响有一定的缓解机制,但是对其机制尚不明确。

表 6 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢相关基因表达的影响

Table 6 Effects of arginine supplementation during the lactation period on expression of genes related to lipid metabolism in liver of weaned piglets

项目 Items	时间 Time	组别 Groups		SEM	P 值 P-value		
		CON	Arg		精氨酸 Arg	时间 Time	精氨酸×时间 Arg×time
脂蛋白脂肪酶 <i>LPL</i>	21 日龄	1.01	1.83 <sup>*</sup>	0.12	0.235	0.002	0.041
	24 日龄	2.17	2.41				
脂肪酸合成酶 <i>FAS</i>	21 日龄	1.02	0.76	0.15	0.815	0.891	0.275
	24 日龄	1.05	0.65				

### 3.3 哺乳期补饲精氨酸对断奶仔猪肝脏脂代谢相关基因表达的影响

FAS 能够促进脂肪酸的合成,其基因表达量越高,动物体内的脂肪沉积越高<sup>[19]</sup>。研究表明,LPL 是体内脂类代谢的关键酶之一,而且其水平的变化对脂类代谢有着重要影响,与脂类代谢异常、高脂血症的发生有重要的密切关系<sup>[20]</sup>。LPL 表达上升能够降低 TC、TG 以及 LDL-C 等的含量,提高 HDL-C 的含量<sup>[21]</sup>。本试验中,Arg 组仔猪断奶当天肝脏中 LPL 相对表达水平显著高于 CON 组。孟德连<sup>[22]</sup>研究发现,添加精氨酸能够显著提高 LPL 在肝脏中的基因表达,同时可以显著降低过氧化物酶体增殖物激活受体 (PPAR) 和 FAS 基因在肝脏中的表达。此结果表明了精氨酸能够显著提高仔猪肝脏中 LPL 的基因表达水平,进而促进断奶仔猪的脂代谢。

综上,在哺乳期对仔猪补饲精氨酸后,能够有效缓解断奶应激所带来的不利影响,同时,精氨酸能够促进断奶仔猪肝脏的发育,促进肝脏脂代谢的代谢能力。这可能一方面是因为仔猪断奶应激

导致大量精氨酸消耗,而本身合成的精氨酸不能满足自身需要;另一方面可能是精氨酸能够通过促进 LPL 基因在肝脏中的表达量,进而加强了肝脏的脂代谢功能。

## 4 结 论

哺乳期补饲精氨酸能够促进断奶仔猪的肝脏发育,提高断奶仔猪肝脏中 HDL-C 含量,降低肝脏中 LDL-C 含量,同时能够提高肝脏中 LPL 基因的表达水平,一定程度上增强肝脏脂代谢的功能。

### 参考文献:

- [1] 王恬.仔猪断奶应激及营养调控措施的应用[J].畜牧与兽医,2009,41(5):1-4.
- [2] 蒋宗勇.仔猪早期断奶营养综合症及其防治(续)[J].广东畜牧兽医科技,1993(4):26-28.
- [3] 郭广伦,刘玉兰.精氨酸对动物免疫功能影响研究进展[J].中国饲料,2006(20):27-29,36.
- [4] JOBGEN W S, FRIED S K, FU W J, et al. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabo-

- lism of energy substrates[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2006, 17(9): 571-588.
- [5] 周笑犁, 刘俊锋, 吴琛, 等. 精氨酸和 N-氨甲酰谷氨酸对环江香猪脂质代谢的影响[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(4): 1055-1060.
- [6] 胡诚军, 张婷, 李华伟, 等. 饲料添加精氨酸和谷氨酸对肥育猪脂代谢相关基因表达的影响[C]//中国畜牧兽医学动物营养学会第十二次动物营养学术研讨会论文集. 武汉: 中国畜牧兽医学动物营养学会, 2016: 47.
- [7] BECHMANN L P, HANNIVOORT R A, GERKEN G, et al. The interaction of hepatic lipid and glucose metabolism in liver diseases[J]. *Journal of Hepatology*, 2012, 56(4): 952-964.
- [8] LI Y X, KANG H F, CHU Y, et al. Cidec differentially regulates lipid deposition and secretion through two tissue-specific isoforms [J]. *Gene*, 2018, 641: 265-271.
- [9] 李丹丹, 刘佳佳, 吴玉泓, 等. 黄芪多糖联合二甲双胍对衰老 2 型糖尿病模型小鼠肝脏糖脂代谢的影响[J]. *中国中医药信息杂志*, 2019, 26(2): 47-51.
- [10] RIVAS A L, FABRICANT J. Indications of immunodepression in chickens infected with various strains of Marek's disease virus[J]. *Avian Diseases*, 1988, 32(1): 1-8.
- [11] 彭瑛, 蔡力创. 精氨酸和精氨酸生素对断奶仔猪生长性能、器官重及生化指标的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2011, 38(8): 23-26.
- [12] XIANG Q S, LIU Z G, WANG Y T, et al. Carnosic acid attenuates lipopolysaccharide-induced liver injury in rats via fortifying cellular antioxidant defense system[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 53: 1-9.
- [13] KOTRONEN A, YKI-JÄRVINEN H. Fatty liver: a novel component of the metabolic syndrome[J]. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 2008, 28(1): 27-38.
- [14] 赵水平. 血脂代谢基础及临床相关问题[J]. *临床荟萃*, 2006(14): 989-993.
- [15] 官宝怡, 赵福海. 高密度脂蛋白胆固醇与心血管风险研究进展[J]. *心血管病学进展*, 2019, 40(3): 317-320.
- [16] 方勇军. 精氨酸对肉鸭生长性能、免疫机能、胴体品质和血液脂质的影响[D]. 硕士学位论文. 武汉: 武汉工业学院, 2009: 1-37.
- [17] JOBGEN W, MEININGER C J, JOBGEN S C, et al. Dietary L-arginine supplementation reduces white fat gain and enhances skeletal muscle and brown fat masses in diet-induced obese rats[J]. *The Journal of Nutrition*, 2009, 139(2): 230-237.
- [18] 刘艳妍, 朱飞, 邹梅, 等. L-精氨酸对 3~5 月龄獭兔脂代谢的影响[J]. *饲料研究*, 2017(11): 44-49.
- [19] DONKIN S S, CHIU P Y, YIN D, et al. Porcine somatotropin differentially down-regulates expression of the *GLUT4* and fatty acid synthase genes in pig adipose tissue[J]. *The Journal of Nutrition*, 1996, 126(10): 2568-2577.
- [20] 万文涛, 郭红卫, 薛琨, 等. 脂蛋白脂酶基因多态性与代谢综合征的膳食易感性研究[J]. *营养学报*, 2009, 31(4): 325-329.
- [21] 杨武英, 吴磊燕, 洪艳平, 等. 芦荟蒽醌对高脂血症小鼠脂代谢及 *LPL*、*MTTP* 基因 mRNA 表达的影响[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(12): 13-21.
- [22] 孟德连. 精氨酸家族对肉鸡生长和脂肪代谢及肉品质相关基因转录表达水平的影响研究[D]. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010: 1-85.

## Effects of Arginine Supplementation during Lactation Period on Liver Lipid Metabolism Function of Weaned Piglets

LIU Jun ZHONG Zhaoxin PENG Zhong YU Lihuai DONG Li\*

(College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate the effects of arginine supplementation during the lactation period on liver lipid metabolism function of weaned piglets. Forty 7-day-old suckling piglets with similar body weight were selected in pairs and divided into control group (CON group) and arginine group (Arg group) with 20 heads in each group (half male and half female). From the 7 days of age, under the natural breastfeeding, piglets in the CON group were given 40 mL normal saline daily, and those in the Arg group were given 40 mL arginine [250 mg/(kg · d)] daily. All piglets were weaned at 21 days of age and then fed a basal diet. Every eight piglets (half male and half female) were randomly selected for slaughter sampling and taking liver on day of weaning (21 days of age) and 3 days after weaning (24 days of age), respectively. The results showed as follows: 1) the body weight and liver weight of piglets after weaning for 3 days were extremely significantly lower than those of piglets at weaning day ( $P < 0.01$ ). Compared with the CON group, the liver index of piglets in the Arg group was extremely significantly increased after weaning for 3 days ( $P < 0.01$ ). 2) Compared with the CON group, the hepatocyte size was extremely significantly increased ( $P < 0.01$ ) and the hepatocyte area was significantly increased ( $P < 0.05$ ) of piglets in the Arg group. 3) Three days after weaning, the contents of liver total cholesterol (TC) and triglyceride (TG) of piglets were extremely significantly higher than those of piglets at the day of weaning ( $P < 0.01$ ); on the day of weaning, the high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) content in the liver of piglets in the Arg group was significantly higher than that in the CON group ( $P < 0.05$ ), and the low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) content in the liver of piglets in the Arg group was extremely significantly lower than in the CON group ( $P < 0.01$ ). 4) Compared with the CON group, the relative expression level of lipoprotein lipase (LPL) gene in the liver of piglets in the Arg group was significantly higher than that in the CON group on the day of weaning ( $P < 0.05$ ). It is concluded that arginine supplementation during the lactation period can promote liver development of weaned piglets, increase HDL-C content in liver, decrease LDL-C content in liver, increase the expression level of LPL gene in liver, and improve liver lipid metabolism function of weaned piglets. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(2):674-681]

**Key words:** arginine; piglets; liver; lipid metabolism; weaning stress