

# 精氨酸对妊娠母猪繁殖性能的调节作用

晋超 吴德\* 方正峰 车炼强 林燕

(四川农业大学动物营养研究所,动物抗病营养教育部重点实验室,雅安 625014)

**摘要:** 妊娠第 30~60 天母畜体内精氨酸代谢及其所依赖的途径表现异常活跃,这些现象说明精氨酸在维持正常妊娠和提高繁殖成绩方面具有重要作用。本文就精氨酸及其代谢产物在妊娠中的作用及其对妊娠成绩的改善效果作一综述。

**关键词:** 精氨酸;精氨酸依赖的代谢途径;妊娠母猪;繁殖

**中图分类号:** S963.73<sup>+</sup>1; S828

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2010)06-1495-06

母畜产仔数属于低遗传力性状(0.09~0.11),据统计经过 20 年选育,母猪年产仔数提高了 1.04 头<sup>[1]</sup>。通过营养手段使妊娠期胚胎死亡率降低 5%,其年产仔数就可以提高 1 头左右,而降低胚胎死亡率的关键是改善胎盘生长和子宫内环境<sup>[2]</sup>。精氨酸是动物体内 1 种重要的碱性氨基酸,除参与体蛋白的沉积外,其代谢物一氧化氮(nitric oxide, NO)和多胺在调节血管发生、胚胎发生、胎盘和胎儿生长中都具有重要作用<sup>[3]</sup>。虽然哺乳动物自身能合成精氨酸,且常用饲料原料均富含精氨酸,但是随着产仔数逐渐增加,妊娠阶段母猪对精氨酸的需要量已经远高于 NRC 估计量。本文就近年来精氨酸对母畜妊娠阶段的营养作用作一综述。

## 1 精氨酸结构,来源和体内代谢途径

精氨酸分子式为 C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>,分子量 174.2,为白色晶体或晶体状粉末,在动物体内主要以 L-精氨酸的形式存在。动物机体精氨酸主要来源:1) 饲料;2) 机体蛋白质的分解;3) 小肠黏膜细胞利用机体内其他氨基酸(谷氨酸、瓜氨酸等)在氨甲酰磷酸合成酶-1(carbamyl phosphate synthetase-1, CPS-1)、鸟氨酸氨甲酰转移酶(ornithine transcarbamylase, OTC)、N-乙酰谷氨酸合成酶(N-glutamate synthase, NAG)和吡咯啉-5-羧酸合成酶(pyrraline-5-carboxylic acid synthetase, P5CS)催化作用下合成精氨酸<sup>[4]</sup>。

精氨酸体内的主要代谢途径有 2 种。1) NO 途

径:在一氧化氮合成酶(nitric oxide synthetase, NOS)作用下生成 NO 和瓜氨酸,该反应需要四氢生物蝶呤(tetrahydrobiopterin, BH<sub>4</sub>)、黄素腺嘌呤二核苷酸(flavin-adenine dinucleotide, FAD)、黄素腺嘌呤单核苷酸(flavin adenine mononucleotide, FMN)、亚铁血红素(heme)等作为辅助因子,还原型辅酶 II(reduced form of nicotinamide-adenine dinucleotide phosphate, NADPH)和分子氧(dioxygen, O<sub>2</sub>)作为酶活性的共同底物。2) 精氨酸酶途径:哺乳动物体内至少存在 2 种精氨酸酶的同功酶,精氨酸酶 I 和精氨酸酶 II,精氨酸酶 I 在肝细胞中高度表达,精氨酸酶 II 是线粒体酶,主要在肾、脑、乳腺和巨噬细胞中表达,精氨酸在精氨酸酶催化作用下生成鸟氨酸,鸟氨酸经 ODC 催化生成腐胺,再由精脞合成酶、精胺合成酶作用分别生成精脞、精胺,其中 ODC 是多胺合成的限速酶,鸟氨酸还可以在吡咯啉-5-羧酸还原酶(pyrraline-5-carboxylic acid reductases, P5CR)和吡咯啉-5-羧酸脱氨酶(pyrraline-5-carboxylic acid deaminase, P5CD)作用下分别转化成脯氨酸和谷氨酰胺。近年来又有研究新发现 1 种精氨酸分解代谢酶——精氨酸脱羧酶(arginine decarboxylase),这种酶可促使精氨酸脱去羧基生成胍基丁胺<sup>[4]</sup>,胍基丁胺可由胍基丁胺酶脱羧基形成腐胺,推测这可能是多胺在机体内合成的途径之一。

收稿日期:2010-04-29

作者简介:晋超(1985—),女,汉族,四川雅安人,硕士研究生,主要从事母猪的营养与饲料科学研究。E-mail: jinchao20040902@126.com

\* 通讯作者:吴德,教授,博士生导师, E-mail: pig2pig@sina.com

## 2 妊娠期精氨酸及其代谢产物变化规律

妊娠后第30~60天不仅是胎盘生长最快的时期<sup>[5]</sup>,而且也是胚胎死亡的高峰期(占全期胚胎死亡率的60%)<sup>[6]</sup>。在这段时间母畜孕体精氨酸代谢及其通道表现异常活跃,母畜胎液和胚胎体内精氨酸及其代谢产物的含量都非常丰富。

### 2.1 精氨酸及其代谢产物含量在母畜胎液中变化规律

Wu等<sup>[7]</sup>和Kwon等<sup>[8]</sup>研究都发现妊娠前半期,妊娠母畜尿囊液中精氨酸,鸟氨酸,瓜氨酸和谷氨酰胺浓度显著增加,这类精氨酸族氨基酸的氮含量占游离 $\alpha$ -氨基酸总含氮量百分比达60%以上。Kwon等<sup>[9]</sup>发现妊娠第30~60天母羊胎盘和内皮组织中NOS、鸟苷三磷酸环化水解酶(GTP cyclohydrolase, GTP-CH)活性、NADPH、 $BH_4$ 浓度和代谢产物NO合成量显著增加,在妊娠第60天达到峰值。Wu等<sup>[10]</sup>发现妊娠第30~40天母猪的羊水、尿囊液和胎盘中脯氨酸氧化酶(proline oxidase)、鸟氨酸转氨酶(ornithine aminotransferase, OAT)、ODC活性和代谢产物鸟氨酸和多胺浓度显著增加并在妊娠第40天达到峰值。

### 2.2 精氨酸及其代谢产物含量在胚胎体内的变化规律

Wu等<sup>[11]</sup>发现在妊娠任何阶段,精氨酸都是胎儿体内最丰富的氮载体。Gao等<sup>[12]</sup>在妊娠第10~20天的母羊孕体滋养外胚层细胞中检测到编码精氨酸转运载体(coding arginine transporter, CAT)系统的SLC7A1、SLC7A2和SLC7A3 mRNA的表达,其中SLC7A1和SLC7A2表达量随着妊娠进行而增加。SLC7A1增加幅度最大,在妊娠后第10~14天增加了4倍,第16~20天增加了1.9倍。Dekaney等<sup>[13]</sup>检测妊娠期间母猪胚胎肠道精氨酸合成酶的活性,结果发现当胚胎发育至第45天的时候,肠道中CPS-1、OTC和P5CR活性迅速升高。提示妊娠前期可以通过控制来自母源供给的精氨酸量不足,保证胚胎最佳生长发育,同时胚胎需要不断发育自身精氨酸合成酶系提高内源合成能力以满足需要。

## 3 饲料中添加精氨酸对妊娠成绩的影响

Kim等<sup>[14]</sup>研究指出母猪在妊娠前期(妊娠开始至第70天)满足胎儿正常生长发育需要的精氨酸的

量为6.09 g/d,妊娠后期(第70天~分娩)需要的精氨酸量为14.93 g/d。但就目前常用的玉米豆粕型饲料而言(精氨酸含量为0.50%~0.65%,饲喂饲料为2.0~2.5 kg/d),妊娠母猪精氨酸的摄入量为10.00~16.25 g/d。由于小肠中精氨酸酶的分解作用,只有60%精氨酸能够进入血液循环。因此仅依靠饲料提供和母体自身合成精氨酸是不能满足妊娠期间(特别是妊娠后期)胎儿正常生长发育的。研究发现外源供给母畜精氨酸,可以有效增加母畜血浆中精氨酸及其代谢产物的水平,从而保证胚胎精氨酸的供应和合成,减少因精氨酸不足对胚胎生长的限制作用,促进胚胎的生长发育。怀孕母羊、怀孕母猪以及成年鼠饲料中精氨酸的推荐安全使用剂量分别为0.081、0.21和2.14 g/(kg·d)<sup>[15]</sup>。

### 3.1 增强胚胎附植和提高存活率

Zeng等<sup>[16]</sup>在妊娠第1~7天给大鼠饲喂添加了1.3%精氨酸的饲料,结果发现妊娠第7天胚胎存活率和窝产仔数分别增加了30%和3头。Berard等<sup>[17]</sup>发现在妊娠第14~28天给母猪饲喂添加1%精氨酸的饲料不会影响排卵率,但是会增加妊娠第70天胚胎数(3头/窝)。这些试验结果说明妊娠早期添加精氨酸可改善胚胎附植和存活率。

### 3.2 提高母畜窝产仔数和新生儿初生重

van der Lende等<sup>[18]</sup>在母猪妊娠第14~30天和第105天~分娩分别补加1%精氨酸后发现,母猪的分娩率、窝产仔数和窝产活仔数分别提高了15%、8%和8%。Mateo<sup>[19]</sup>在妊娠第30~114天给母猪饲喂添加1.0%精氨酸盐酸盐的饲料,发现母猪窝产活仔数和仔猪初生重分别增加2头和24%。Ramaekers等<sup>[20]</sup>在妊娠第14~28天给母猪饲喂添加1%精氨酸饲料,窝产活仔数增加了1头,仔猪平均初生重不受影响。Wu等<sup>[3]</sup>最新研究显示,在妊娠母猪饲料中添加0.6%谷氨酰胺和0.4%精氨酸混合物效果优于单独添加精氨酸,结果显示混合添加组总胎儿和活产胎儿初生重的变异度分别下降了27%和24%,总窝产仔猪和活仔重分别提高10%和15%。但是也有研究发现妊娠早期(妊娠第14天)饲料中添加精氨酸会对母猪繁殖成绩造成一定的负面影响。de Blasio等<sup>[21]</sup>分别从妊娠第14天和第16天开始持续给母猪饲喂添加1%精氨酸的饲料16d,发现从第14天开始饲喂精氨酸饲料不会增加窝产活仔数,同时还会增加产弱仔数。第16天开始饲喂精氨酸会增加窝产活仔数,但是也会增加产弱仔数,

仔猪初生重与对照组相比没有变化。精氨酸和赖氨酸均为碱性氨基酸,两者存在吸收竞争的关系,添加精氨酸时要特别注意精氨酸和赖氨酸的比例,防止出现氨基酸不平衡降低动物生产性能的现象,一般而言,精氨酸/赖氨酸小于2.5<sup>[4]</sup>。

### 3.3 改善胎儿宫内发育受阻(IUGR)的现象

精氨酸可以用于预防和治疗动物和人类胎儿 IUGR 病征。Lassala<sup>[22]</sup> 给母羊每天静脉注射 81 mg/kg 精氨酸盐酸盐,由于母体营养不良和自然造成的胎儿 IUGR 现象得到改善。Xiao 等<sup>[23]</sup> 在妊娠晚期(妊娠第 33 周)给 IUGR 的妇女每天静脉注射精氨酸,共注射 7 d,发现胎儿初生重提高 6.4%。

## 4 饲料添加精氨酸改善妊娠成绩机制的探讨

### 4.1 改善子宫胎盘血流量

胎盘是母体将养分、氧气传递给胎儿和运输胎儿代谢废物的重要器官,而且所有这些活动都是通过子宫胎盘血液循环来完成,所以子宫胎盘血流量是影响胎儿生长发育的关键因素<sup>[24]</sup>。子宫胎盘血流量主要受到胎盘血管化程度的调控。研究发现梅山猪胎盘的血管化程度高于外种猪<sup>[25]</sup>。

大量数据显示精氨酸的代谢产物 NO 在调节胎盘血管化方面扮演重要角色。Xuan 等<sup>[26]</sup> 发现 NO 增强血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)及其受体表达,参与诱导的血管发生,促进胎盘血管发生过程。NO 作为一种重要的内皮衍生的血管释放因子,除了参与调控胎盘血管发生过程,还可以通过扩张血管作用增加胎盘-胎儿血液流量<sup>[27]</sup>。Kassab 等<sup>[28]</sup> 每天给妊娠大鼠分别饲喂添加 0 和 1 mg NOS 抑制剂,试验组平均动脉血压、总外周阻力显著高于对照组,心血输出量显著低于对照组。Kim 等<sup>[29]</sup> 发现与正常妊娠相比,先兆子痫(妊娠高血压征状)妇女血浆中精氨酸和胎盘中 NOS 含量显著降低。静脉注射精氨酸 0.16 g/(kg·d),可以改善因为抑制小鼠体内 NO 合成诱导的先兆子痫病征<sup>[30]</sup>。推测机理如下:1) NO 与细胞内可溶性鸟苷酸环化酶(soluble guanylyl cyclase, sGC)中亚铁原卟啉的 Fe<sup>2+</sup> 结合,激活 sGC 使 GTP 转化为 cGMP 的速度加快 50~200 倍<sup>[31]</sup>,细胞内 cGMP 迅速升高,激活 cGMP 依赖性蛋白激酶,胞浆内 Ca<sup>2+</sup> 外流或贮存于细胞内贮库中,也可抑制 Ca<sup>2+</sup> 内流,从而使细胞浆游离 Ca<sup>2+</sup> 含量降低,抑制 Ca<sup>2+</sup>/Ca 钙调蛋白介导的肌球蛋白轻

链的脱磷酸化及肌动蛋白与肌球蛋白的结合,最终使血管平滑肌松弛,最大限度地扩张胎盘血管;2)减少血小板黏附,防止因血小板黏附和聚集引起的胎盘营养动脉阻塞,维持宫内胎儿氧供和血供;3)通过抑制血管内缩血管物质(如内皮素、血栓烷素)<sup>[32-33]</sup> 生成、减弱血管紧张素 II 对血管的收缩作用<sup>[34]</sup>、显著减弱由 5-羟色胺引起的血管收缩作用<sup>[35]</sup> 等间接扩血管作用来调节胎盘血液动力学。

### 4.2 促进胎儿肌肉生长和减少胎儿脂肪沉积

妊娠期间母体蛋白质营养会影响后代肌肉生长和肌间脂肪的含量<sup>[27]</sup>。Handel 等<sup>[36]</sup> 发现 IUGR 仔猪体内肌纤维数目少且细,脂肪含量高于正常胎儿。Berard 等<sup>[17]</sup> 研究表明饲料中添加精氨酸可以促进胎儿肌肉生长和降低脂肪沉积,在妊娠第 14~28 天给母猪饲喂添加 1% 精氨酸的饲料发现精氨酸组胎儿半腱肌中初级肌纤维显著高于对照组,次级纤维:初级纤维比值显著低于对照组。具体作用途径可能是通过其代谢产物发挥作用。

多胺不仅可以通过调节基因表达、信号转导、离子通道等途径影响机体 DNA 和蛋白质合成,而且也是细胞增殖和分化过程中的必需物质,因此推测有可能会影响胎儿肌纤维和脂肪细胞的生长和发育。Wu 等<sup>[3]</sup> 发现 IUGR 胎儿骨骼肌中精氨酸、鸟氨酸和多胺浓度显著低于正常猪胎儿(28%~35%)。同样结果也在母羊 IUGR 胎儿的骨骼肌中得到证实。但是多胺究竟是通过何种信号途径调节胎儿肌纤维发育,还需要进一步研究。

谷氨酰胺和生理浓度的 NO 可以激活骨骼肌中 mTOR1 信号途径, mTOR1 激活后会促进 P70S6 激酶和真核生物启动子 4E-结合蛋白 1(eIF4E-BP1)磷酸化,然后形成用于多肽合成的激活启动复合物,启动蛋白质合成<sup>[37-38]</sup>。Yao 等<sup>[39]</sup> 发现给新生仔猪饲料中添加精氨酸会增强肌肉中 mTOR1、4E-结合蛋白 1(4E-BP1)的磷酸化及激活启动复合物产量。但是目前为止这条途径仅在新生仔猪骨骼肌中得到证实,在胎儿生长发育过程中体内是否存在这条途径还有待证实。

一些研究表明生理浓度的 NO 可以抑制脂肪细胞的生长<sup>[40-41]</sup> 和刺激肌肉中脂肪酸和糖原的氧化<sup>[42-43]</sup>。机理可能包括以下几个方面:1) NO 刺激 AMP 激活性蛋白激酶的磷酸化,可以通过抑制乙酰 CoA 羧化酶的活性和激活丙二酰 CoA 脱羧酶的活性而降低丙二酰 CoA 的含量,并且抑制脂肪与糖原

合成相关基因的表达;2)NO增加了激素敏感脂酶和脂滴蛋白的磷酸化,使其转位至中性脂肪粒,激活脂肪降解;3)NO激活过氧化物酶体增生物激活受体共激活子(peroxisome proliferator-activated receptor, PPAR $\gamma$ )的表达,增加线粒体的氧化磷酸化;4)NO增加胰岛素敏感组织(肌肉、心脏、肝脏和脂肪组织)的血流,增加底物代谢速度<sup>[44]</sup>。

#### 4.3 降低母体血浆氨浓度,提高母体对饲料中氨基酸的利用率

精氨酸缺乏会阻碍NAG的激活,影响CPS-1的活性,阻碍氨和重碳酸盐的反应,使大量氨在体内积聚<sup>[45]</sup>。血氨是造成胚胎和胎儿死亡很重要因素之一,可以作为哺乳动物机体氮利用效率的指示器。血浆尿素浓度越低,可以为胎儿创造更好的生长环境,提高机体对氨基酸的利用率。Mateo<sup>[19]</sup>在妊娠第30~114天给母猪饲喂添加1.0%精氨酸盐酸盐饲料发现,精氨酸组母猪血浆中尿素浓度显著低于对照组(采食量和背膘损失无显著差异的情况下)。

#### 4.4 提高母体免疫力

母畜的健康是畜牧生产可持续发展的保障,对后代的生长和发育至关重要。大量研究发现精氨酸在体内的免疫调节作用主要通过Arg-NO途径和对内分泌激素上调免疫抑制,下调过高的炎症反应,维持机体的免疫平衡。Mateo<sup>[19]</sup>发现饲料中添加精氨酸显著增加妊娠第110天母猪血液中中性粒细胞数量,改变血液中很多与免疫相关的基因的表达量。目前研究集中在基因水平,蛋白质水平上的探讨也是有必要进行的。

## 5 小结

妊娠母畜饲料中添加精氨酸不仅可以满足胎儿和母体对精氨酸的需求,而且其代谢产物(如多胺和NO)在有助于改善胎盘胎儿血液动力学、子宫内环境和母体免疫应激,提高妊娠母畜窝产活仔数和改善胎儿IUGR现象。已有研究在饲料中添加精氨酸的时间基本是在妊娠以后,而从配种开始在饲料中添加精氨酸对妊娠母畜早期胚胎附植(尤其是附植窗口期)和胚胎存活率影响及其机制的研究有待探讨。同时,精氨酸与代谢产物混合添加对动物生产性能的影响也有待进一步研究。

#### 参考文献:

[1] DISTL O. Mechanisms of regulation of litter size in

pigs on the genome level[J]. *Reproduction in Domestic Animals*, 2007, 42:10-16.

- [2] BAZER F W, SPENCER T E, JOHNSON G A, et al. Comparative aspects of implantation[J]. *Reproduction*, 2009, 138:195-209.
- [3] WU G, BAZER F W, BURGHARDT R C, et al. Impacts of amino acid nutrition on pregnancy outcome in pigs: mechanisms and implications for swine production[J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88:E195-E204.
- [4] WU G, MORRIS S M. Arginine metabolism: nitric oxide and beyond[J]. *Journal of Biochemistry*, 1998, 336:1-17.
- [5] SELF J T, SPENCER T E, JOHNSON G A, et al. Glutamine synthesis in the developing porcine placenta[J]. *Biology of Reproduction*, 2004, 70:1444-1451.
- [6] WU G, BAZER F W, WALLACE J M, et al. Intrauterine growth retardation: implications for the animal sciences[J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84:2316-2337.
- [7] WU G, BAZER F W, TUO W, et al. Unusual abundance of arginine and ornithine in porcine allantoic fluid[J]. *Biology of Reproduction*, 1996, 54:1261-1265.
- [8] KWON H, SPENCER T E, BAZER F W, et al. Developmental changes of amino acids in ovine fetal fluid[J]. *Biology of Reproduction*, 2003, 68:1813-1820.
- [9] KWON H, WU G, MEININGER C J, et al. Developmental changes in nitric oxide synthesis in the ovine placenta[J]. *Biology of Reproduction*, 2004, 70:679-686.
- [10] WU G, BAZER F W, HU J, et al. Polyamine synthesis from proline in the developing porcine placenta[J]. *Biology of Reproduction*, 2005, 72:842-850.
- [11] WU G, OTT T L, KNABE D A, et al. Amino acid composition of the fetal pig[J]. *Journal of Nutrition*, 1999, 129:1031-1038.
- [12] GAO H J, WU G, SPENCER T E, et al. Select nutrients in the ovine uterine lumen. III. expression of cationic amino acid transporters ovine uterus and peri-implantation conceptuses[J]. *Biology of Reproduction*, 2009, 80(3):602-609.
- [13] DEKANEY C M, WU G. Gene expression and activity of enzymes in the arginine biosynthetic path-

- way in porcine fetal small intestine[J]. *Pediatric Research*, 2003, 53:274 - 280.
- [14] KIM S W, HURLEY W L, WU G, et al. Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation[J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87: 123 - 132.
- [15] WU G, BAZER F W, CUDD T A, et al. Pharmacokinetics and safety of arginine supplementation in animals [J]. *Journal of Nutrition*, 2007, 137: 1673S - 1680S.
- [16] ZENG X F, WANG F L, FAN X, et al. Dietary arginine supplementation during early pregnancy enhances embryonic survival in rats[J]. *Journal of Nutrition*, 2008, 138:1421 - 1425.
- [17] BERARD J, KREUZER M, BEE G. Effect of dietary arginine supplementation to sows on litter size, fetal weight and myogenesis at d 75 of gestation[J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(E-Suppl. 3):30. (Abstr.)
- [18] VAN DER LENDE T, KNOL E F, LEENHOUWERS J I, et al. Prenatal development as a predisposing factor for perinatal losses in pigs[J]. *Reproduction Supplement*, 2001, 58:247 - 261.
- [19] MATEO R. Arginine and omega - 3 fatty acids for enhancing reproductive performance of sows[D]. Lubbock: Texas Tech University, 2007.
- [20] RAMAEKERS P, KEMP B, VAN DER LENDE T. Progenos in sows increases number of piglets born [J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84 (Suppl. 1):394. (Abstr.)
- [21] DE BLASIO M J, DODIC M, JEFFERIES A J, et al. Effect of dietary arginine supplementation during gestation on litter size of gilts and sows[J]. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 2007, 293:E75 - E82.
- [22] LASSALA A. Arginine and fetal growth in ovine models of intrauterine growth restriction[D]. Texas, College Station; Texas A & M University, 2008.
- [23] XIAO X M, LI L P. L-arginine treatment for asymmetric fetal growth restriction[J]. *International of Journal Gynecology and Obstetrics*, 2005, 88: 15 - 18.
- [24] GOOTWINE E. Placental hormones and fetal-placental development[J]. *Animal Reproduction Science*, 2004, 82/83:551 - 566.
- [25] VOONAHME K, FORD S P. Placental vascular endothelial growth factor receptor system mRNA expression in pigs selected for placental efficiency[J]. *The Journal of Physiology*, 2004, 554:194 - 201.
- [26] XUAN Z G, WAN G, HONG M, et al. Effect of NO on the expression of VEGF and its receptors in mouse uterus during peri-implantation [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2004, 50(1):55 - 61.
- [27] WU G, BAZER F W, CUDD T A, et al. Maternal nutrition and fetal development[J]. *Journal of Nutrition*, 2004, 134:2169 - 2172.
- [28] KASSAB S M, TODD M. Systemic hemodynamics and regional blood flow during chronic nitric oxide synthesis inhibition in pregnant rats[J]. *Hypertension*, 1998, 31:315.
- [29] KIM Y J, PARKS H S, LEE H Y. Reduced L-arginine level and decreased placental eNOS activity in preeclampsia[J]. *Placenta*, 2006, 27:438 - 444.
- [30] HELMBRECHT G D, FARHAT M Y, LOCHBAUM L. L-arginine reverses the adverse pregnancy changes induced by nitric oxide synthase inhibition in the rat[J]. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 1996, 175:800 - 805.
- [31] 杜影芬, 吕秋波. 一氧化氮生成异常与妊高征[J]. *现代妇产科进展*, 1996, 5(3):271.
- [32] MA C, ZHUANG Y, XU Y. The effect of inhibition of nitric oxide synthesis on vasoregulatory factors in pregnant rats[J]. *Zhonghua Fu Chan Ke Za Zhi*, 1999, 34(9):521 - 524.
- [33] BARROSO R P, OSUARMKP C, NAGAMANI M. Nitric oxide inhibits development of embryos and implantation in mice[J]. *Molecular Human Reproduction*, 1998, 4(5):503 - 507.
- [34] MAEDA T, YOSHUNURA T, OHSHIGE A. Nitric oxide affects angiotensin II pressor response possible mechanism of attenuated pressor response during pregnancy and etiology of pregnancy-induced Hypertension[J]. *Gynecologic and Obstetric Investigation*, 2000, 49(2):84 - 87.
- [35] MANDALA M, GOKINA N, OSOL G. Contribution of nonendothelial nitric oxide to altered rat uterine resistance artery serotonin reactivity during pregnancy[J]. *Obstetrics and Gynecology*, 2002, 187(2):463 - 468.
- [36] HANDEL S E, STICKLAND N C. The growth and differentiation of porcine skeletal muscle fiber types and the influence of birth weight[J]. *Journal of Anatomy*, 1987, 152:107 - 119.
- [37] WU G, BAZER F W, DAVIS T A, et al. Impor-

- tant roles for the arginine family of amino acids in swine nutrition and production[J]. *Livestock Science*, 2007, 112(1):8-22.
- [38] PERVIN S, SINGH R, HERNANDEZ E, et al. Nitric oxide in physiological concentrations targets the translational machinery to increase the proliferation of human breast cancer cells; involvement of mammalian target of rapamycin/eIF4E pathway[J]. *Cancer Research*, 2007, 67:289-299.
- [39] YAO K, YIN Y L, CHU W, et al. Dietary arginine supplementation increases mTOR signaling activity in skeletal muscle of neonatal pigs[J]. *Journal of Nutrition*, 2008, 138:867-872.
- [40] FU W, HAYNES T E, KOHLI R, et al. Dietary *L*-arginine supplementation reduces fat mass in Zucker diabetic fatty rats[J]. *Journal of Nutrition*, 2005, 135:714-721.
- [41] JOBGEN W S, FRIED S K, FU W J, et al. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2006, 17:571-588.
- [42] 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]. *Journal of Nutrition*, 2009, 139:230-237.
- [43] TAN B E, YIN Y L, LIU Z, et al. Dietary *L*-arginine supplementation increases muscle gain and reduces body fat mass in growing-finishing pigs[J]. *Amino Acids*, 2009, 37:169-175.
- [44] JOBGEN W S, FRIED S K, FU W J, et al. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2006, 17:571-588.
- [45] IGNARRO L J, BUGA G M, WEI L H, et al. Role of the arginine-nitric oxide pathway in the regulation of vascular smooth muscle cell proliferation[J]. *Proceedings of the National Academy Science*, 2001, 98:4202-4208.

## Regulation of Arginine on Reproductive Performance of Gestation Sows

JIN Chao WU De\* FANG Zhengfeng CHE Lianqiang LIN Yan

(Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of China Education Ministry, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** The arginine metabolic and arginine-dependent metabolic pathways are extremely active during the 30th to 60th day after pregnancy in female livestock, which suggest that arginine plays a crucial role in establishing pregnancy and improving reproductive performance. The article reviews the roles of arginine and arginine metabolic products played during gestation and their amelioration effect on reproductive performance. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(6):1495-1500]

**Key words:** arginine; arginine-dependent metabolic pathways; gestation sows; reproduction