

# 母猪饲料添加 $\beta$ -羟基- $\beta$ -甲基丁酸对母猪繁殖性能及仔猪生长性能和免疫功能的影响

李永明 徐子伟\* 刘杰 冯尚连

(浙江省农业科学院畜牧兽医研究所, 杭州 310021)

**摘要:** 本试验旨在研究母猪饲料添加  $\beta$ -羟基- $\beta$ -甲基丁酸(HMB)对母猪繁殖性能及仔猪生长性能和免疫功能的影响。选取20头3~6胎次、妊娠74 d的“长×大”母猪,随机分成2组,每组10个重复,每个重复1头母猪,对照组饲喂基础饲料,试验组在对照组基础饲料中添加2 000 mg/kg HMB。试验从母猪妊娠第74天开始,至仔猪21日龄断奶结束。结果表明:与对照组相比,试验组仔猪初生个体重显著提高14.1% ( $P < 0.05$ ),仔猪7、21日龄窝重分别显著提高16.6%、11.7% ( $P < 0.05$ ),仔猪初生至7日龄、初生至21日龄窝增重分别显著提高28.3%和12.5% ( $P < 0.05$ );与对照组相比,试验组母猪在妊娠第98天和分娩当天血清免疫球蛋白G(IgG)含量分别提高35.3% ( $P < 0.01$ )、13.0% ( $P > 0.05$ ),免疫球蛋白M(IgM)含量分别提高34.7% ( $P < 0.05$ )、12.6% ( $P > 0.05$ );与对照组相比,试验组母猪初乳中IgG含量显著提高19.0% ( $P < 0.05$ ),分娩后第14天常乳中IgM含量显著提高21.4% ( $P < 0.05$ );与对照组相比,试验组仔猪7日龄血浆IgG、IgM含量分别显著提高11.4%和40.1% ( $P < 0.05$ )。上述结果提示,母猪妊娠后期及哺乳期饲料中连续添加2 000 mg/kg HMB,可显著提高仔猪初生重和哺乳期增重,改善母猪及仔猪免疫功能。

**关键词:**  $\beta$ -羟基- $\beta$ -甲基丁酸;母猪;仔猪;生长性能;免疫功能

**中图分类号:** S828

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2012)09-1745-09

哺乳仔猪生长发育所需营养素和对疫病的免疫抵抗力主要来源于母猪,其所面临疫病威胁的主要传染源也是母猪。因此,研究开发安全高效的生物活性添加剂,提高母猪免疫功能,减少隐性感染和排毒或排菌,促进分泌量足、质优的母乳,这对于增进仔猪健康和生长性能进而提高养猪效益具有重要意义。国内外对此进行了大量研究,主要包括微量营养素、多糖、植物雌激素、脂肪酸、氨基酸代谢产物等<sup>[1-5]</sup>。 $\beta$ -羟基- $\beta$ -甲基丁酸( $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate, HMB)是亮氨酸代谢的中间产物,由Nissen博士于1988年首次发现。研究表明,HMB能促进蛋白质合成,抑制蛋白质

降解,维护细胞膜完整性,促进肌肉生长发育,提高畜禽生长性能和产肉量,改善胴体品质<sup>[6]</sup>;刺激巨噬细胞和淋巴细胞增殖,增强其活性,增加抗体分泌细胞数量,改善机体免疫功能,降低疾病发生和死亡率<sup>[7-11]</sup>。Nissen等<sup>[12]</sup>、Krawowski等<sup>[13]</sup>及Tatara等<sup>[14]</sup>分别在母猪产前4~6周至仔猪断奶期间的不同时间段给母猪饲喂HMB,显著改善了母猪血清免疫球蛋白含量、初乳品质以及子代初生重、断奶重、初生至上市生长速度、股骨质量等指标,然而关于妊娠后期至断奶期间连续饲喂HMB的研究尚未见文献报道,连续饲喂能否取得比阶段饲喂更优的效果值得探索。本文首次研究

收稿日期:2012-03-16

基金项目:国家生猪产业技术体系(CARS-36);浙江省重点科技创新团队项目(2012R10027-10)

作者简介:李永明(1972—),男,浙江东阳人,硕士,副研究员,主要从事畜禽健康养殖与营养调控的研究。E-mail: zjhzylym@126.com

\*通讯作者:徐子伟,研究员,博士生导师,E-mail: xzwfy@sina.com

在母猪妊娠后期及哺乳期饲料中连续添加 2 000 mg/kg HMB 对母猪繁殖性能及其仔猪生长性能和免疫功能的影响,为其在养猪生产中的应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

HMB 购自江阴三益化工有限公司,纯度 95%。

### 1.2 试验设计

采用单因素完全随机试验设计,选取 20 头 3~6 胎次、妊娠 74 d 的“长×大”母猪,按胎次、体况和预产期相近的原则随机分成 2 组,每组 10 个重复,每个重复 1 头母猪,单栏饲养。对照组饲喂基础饲料,试验组在对照组基础饲料中添加 2 000 mg/kg HMB。试验分妊娠后期和哺乳期 2 个阶段进行(妊娠后期:从妊娠第 74 天至分娩;哺乳期:从分娩至仔猪 21 日龄断奶)。参考 NRC (1998)母猪营养需要配制妊娠后期和哺乳期基础饲料,其组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

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

%

项目 Items	含量 Content	
	妊娠后期 Late gestation	哺乳期 Lactation
原料 Ingredients		
玉米 Corn	59.76	63.79
豆粕 Soybean meal	11.00	21.00
麸皮 Wheat bran	24.00	5.00
鱼粉 Fish meal	2.00	3.00
脂肪粉 Fat powder		4.00
石粉 Limestone	1.30	1.10
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	0.50	0.60
食盐 NaCl	0.30	0.30
L-赖氨酸 L-Lys	0.03	0.10
真菌毒素吸附剂 Mycotoxin absorbent	0.10	0.10
植酸酶 Phytase	0.01	0.01
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>		
消化能 DE/(MJ/kg)	12.40	13.67
粗蛋白质 CP	14.22	16.98
钙 Ca	0.82	0.83
有效磷 AP	0.30	0.32
赖氨酸 Lys	0.66	0.92
蛋氨酸+胱氨酸 Met + Cys	0.50	0.56
苏氨酸 Thr	0.54	0.68
色氨酸 Trp	0.16	0.21

<sup>1)</sup> 预混料为每千克饲料提供 The premix provides the following per kg of diet: VA 12 000 IU, VD<sub>3</sub> 2 700 IU, VE 40 IU, VB<sub>1</sub> 3 mg, VB<sub>2</sub> 8 mg, VB<sub>6</sub> 2.5 mg, VB<sub>12</sub> 0.06 mg, 烟酸 nicotinic acid 45 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 40 mg, 叶酸 folic acid 1.8 mg, 生物素 biotin 0.36 mg, Fe 150 mg, Cu 25 mg, Zn 120 mg, Mn 40 mg, I 0.4 mg, Se 0.3 mg。

<sup>2)</sup> 营养水平为计算值。Nutrient levels are calculated values.

### 1.3 饲养管理

试验母猪均饲养于同一栋妊娠母猪舍内,统

一消毒,分娩前 7~10 天转入同一栋分娩舍。母猪每日 07:30、09:40 和 15:40 各喂料 1 次,妊娠

母猪采取限饲方式,每日每头母猪饲喂 2.5 kg,并根据膘情加减 0.3 kg;哺乳母猪自由采食(以次日料槽中略有剩料为准);仔猪 7 日龄开始补饲不添加 HMB 的乳猪料,21 日龄断奶,母猪、仔猪均自由饮水。其他饲养管理及免疫程序按常规进行。

#### 1.4 样品采集

##### 1.4.1 母乳样品采集

在母猪分娩当天及分娩后第 7、14、21 天,每组随机选取 6 头母猪,从前、中、后 3 个部位的乳头采集乳样 30 mL。其中 10 mL 乳样 4 ℃、3 000 r/min 离心 20 min,取上清分装于 1.5 mL 离心管中,即为脱脂乳,用于测定免疫球蛋白含量。另外 20 mL 于 -80 ℃ 储存,用于测定乳成分。

##### 1.4.2 血样采集

在母猪妊娠第 98 天、分娩当天及分娩后第 14 天,每组随机选取 6 头母猪,耳静脉采血 5 mL,静置 30 min 后,在 4 ℃、3 000 r/min 离心 10 min,收集血清,于 -80 ℃ 储存。

在仔猪 7、14、21 日龄,每组选取 6 窝仔猪(每窝固定 2 头),采集抗凝血 5 mL,在 4 ℃、3 000 r/min 离心 10 min,收集血浆,于 -80 ℃ 储存。

#### 1.5 测定指标及方法

##### 1.5.1 繁殖性能及生长性能测定

母猪分娩后仔猪逐头称重,统计窝产仔数、窝

产活仔数,计算窝产活仔率;仔猪吮吸初乳前组内调整母猪带仔数,使之相近,并于仔猪 7、21 日龄逐头称重,计算各阶段窝增重及断奶育成率。

##### 1.5.2 乳成分及免疫指标测定

母乳成分采用超声波乳成分分析仪测定。血清及乳中免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 M(IgM)、免疫球蛋白 A(IgA)含量采用 ELISA 方法测定,IgA 试剂盒购自上海朗顿生物科技有限公司,IgG 和 IgM 试剂盒购自北京永辉生物科技有限公司。

#### 1.6 数据统计与分析

试验结果以平均值  $\pm$  标准差表示,数据处理与分析采用 SAS 6.12 统计软件,将对照组和试验组数据进行独立样本  $t$  检验,分别以  $P < 0.01$  和  $P < 0.05$  作为差异显著性判断标准。

## 2 结果

### 2.1 母猪饲料添加 HMB 对母猪繁殖性能及仔猪生长性能的影响

由表 2 可知,与对照组相比,母猪饲料中添加 2 000 mg/kg HMB 使仔猪初生个体重显著提高 14.1% ( $P < 0.05$ ),但对母猪窝产仔数、窝产活仔数、窝产活仔率均无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

表 2 母猪饲料添加 HMB 对母猪繁殖性能的影响

Table 2 Effects of adding HMB to sow diets on reproductive performance of sows

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group
窝产仔数 Total piglets born per litter/头	12.50 $\pm$ 2.07	11.67 $\pm$ 1.21
窝产活仔数 Piglets born alive per litter/头	10.83 $\pm$ 2.23	10.33 $\pm$ 1.03
窝产活仔率 Live farrowing rate per litter/%	87.67 $\pm$ 16.86	89.00 $\pm$ 6.51
初生个体重 Birth weight of piglets born alive/kg	1.49 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	1.70 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>

同行数据肩注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ),相同或无字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ( $P < 0.01$ ), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ). The same as below.

由表 3 可知,在母猪妊娠后期及哺乳期饲料中连续添加 2 000 mg/kg HMB,可显著改善所产仔猪的生长性能。与对照组相比,试验组仔猪 7、21 日龄窝重分别显著提高 16.6% 和 11.7% ( $P < 0.05$ );与对照组相比,初生至 7 日龄及初生至 21

日龄窝增重分别显著提高 28.3% 和 12.5% ( $P < 0.05$ ),7~21 日龄窝增重提高 8.1%,但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。仔猪断奶育成数、断奶育成率 2 组间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 3 母猪饲料添加 HMB 对仔猪生长性能的影响

Table 3 Effects of adding HMB to sow diets on growth performance of piglets

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group
调整带仔数 Adjusted live piglets/头	11.14 ± 1.07	10.89 ± 1.17
断奶育成数 Weaned live piglets/头	10.29 ± 0.76	10.44 ± 0.88
断奶育成率 Survival rate from birth to weaning/%	93.00 ± 8.89	96.33 ± 5.79
初生窝重 Litter body weight at birth/kg	15.88 ± 2.14	17.34 ± 2.68
7 日龄窝重 Litter body weight at 7 days of age/kg	25.95 ± 2.11 <sup>a</sup>	30.26 ± 3.54 <sup>b</sup>
21 日龄窝重 Litter body weight at 21 days of age/kg	61.64 ± 5.44 <sup>a</sup>	68.85 ± 4.59 <sup>b</sup>
初生至 7 日龄窝增重 Litter body weight gain from birth to 7 days of age/kg	10.07 ± 1.43 <sup>a</sup>	12.92 ± 2.25 <sup>b</sup>
7~21 日龄窝增重 Litter body weight gain from 7 to 21 days of age/kg	35.70 ± 4.73	38.59 ± 4.52
初生至 21 日龄窝增重 Litter body weight gain from birth to 21 days of age/kg	45.77 ± 4.62 <sup>a</sup>	51.51 ± 3.05 <sup>b</sup>

## 2.2 母猪饲料添加 HMB 对母猪免疫功能的影响

由表 4 可知,母猪妊娠后期及哺乳期饲料中连续添加 2 000 mg/kg HMB,可显著改善母猪免疫功能。与对照组相比,试验组母猪在妊娠第 98

天、分娩当天及分娩后第 14 天血清 IgG 含量分别提高 35.3% ( $P < 0.01$ )、13.0% ( $P > 0.05$ ) 和 5.2% ( $P > 0.05$ ),IgM 含量分别提高 34.7% ( $P < 0.05$ )、12.6% ( $P > 0.05$ ) 和 5.8% ( $P > 0.05$ )。

表 4 母猪饲料添加 HMB 对母猪血清中免疫球蛋白含量的影响

Table 4 Effects of adding HMB to sow diets on serum immunoglobulin contents of sows  $\mu\text{g/mL}$ 

项目 Items		对照组 Control group	试验组 Experimental group
免疫球蛋白 G IgG	妊娠第 98 天 Day 98 of gestation	220.89 ± 20.61 <sup>Aa</sup>	298.81 ± 26.40 <sup>Bb</sup>
	分娩当天 The day of parturition	537.45 ± 38.86	607.30 ± 57.53
	分娩后第 14 天 Day 14 after parturition	566.37 ± 35.38	596.06 ± 18.46
免疫球蛋白 M IgM	妊娠第 98 天 Day 98 of gestation	46.09 ± 4.10 <sup>a</sup>	62.09 ± 13.65 <sup>b</sup>
	分娩当天 The day of parturition	60.50 ± 3.40	68.11 ± 7.52
	分娩后第 14 天 Day 14 after parturition	55.76 ± 3.57	59.02 ± 1.51

## 2.3 母猪饲料添加 HMB 对母乳品质的影响

由表 5 可知,母猪妊娠后期及哺乳期饲料中连续添加 2 000 mg/kg HMB,对母猪初乳及常乳中乳脂、非脂固形物和乳蛋白含量均无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

由表 6 可知,母猪妊娠后期及哺乳期饲料中连续添加 2 000 mg/kg HMB,可显著改善母乳免疫球蛋白含量。与对照组相比,试验组初乳中 IgG 含量显著提高 19.0% ( $P < 0.05$ ),分娩后第 14 天常乳中 IgM 含量显著提高 21.4% ( $P < 0.05$ );与对照组相比,试验组分娩后第 7 天常乳中 IgG、IgM 含量及初乳、分娩后第 14 天常乳中 IgA 含量有改

善趋势,分别比对照组提高 19.7%、10.7% 和 13.0%、16.5% ( $P > 0.05$ ),且试验组免疫球蛋白含量整齐度高。

## 2.4 母猪饲料添加 HMB 对仔猪免疫功能的影响

由表 7 可知,在母猪妊娠后期及哺乳期饲料中连续添加 2 000 mg/kg HMB,可显著改善所产仔猪的免疫功能。与对照组相比,试验组仔猪 7 日龄血浆 IgG、IgM 含量分别显著提高 11.4% 和 40.1% ( $P < 0.05$ );与对照组相比,试验组仔猪 14 日龄血浆 IgG、IgM 及 21 日龄血浆 IgG 含量均高于对照组,但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 5 母猪饲料添加 HMB 对母乳成分的影响

Table 5 Effects of adding HMB to sow diets on milk composition

%

项目 Items		对照组 Control group	试验组 Experimental group
	初乳 Colostrum	7.48 ± 1.19	7.79 ± 0.59
乳脂 Milk fat	分娩后第 7 天常乳 Milk on day 7 after parturition	4.74 ± 0.15	4.69 ± 0.06
	分娩后第 14 天常乳 Milk on day 14 after parturition	4.77 ± 0.17	4.63 ± 0.10
	分娩后第 21 天常乳 Milk on day 21 after parturition	4.78 ± 0.31	4.61 ± 0.16
	初乳 Colostrum	21.73 ± 3.10	23.27 ± 2.03
非脂固形物 Solid(s)-not-fat	分娩后第 7 天常乳 Milk on day 7 after parturition	10.49 ± 0.74	10.54 ± 0.24
	分娩后第 14 天常乳 Milk on day 14 after parturition	10.80 ± 0.53	10.77 ± 0.56
	分娩后第 21 天常乳 Milk on day 21 after parturition	11.08 ± 0.45	10.89 ± 0.41
	初乳 Colostrum	6.09 ± 1.22	6.09 ± 0.59
乳蛋白 Milk protein	分娩后第 7 天常乳 Milk on day 7 after parturition	5.51 ± 0.48	5.42 ± 0.09
	分娩后第 14 天常乳 Milk on day 14 after parturition	5.47 ± 0.33	5.22 ± 0.43
	分娩后第 21 天常乳 Milk on day 21 after parturition	5.36 ± 0.57	5.05 ± 0.38

表 6 母猪饲料添加 HMB 对母乳中免疫球蛋白含量的影响

Table 6 Effects of adding HMB to sow diets on milk immunoglobulin contents

μg/mL

项目 Items		对照组 Control group	试验组 Experimental group
	初乳 Colostrum	414.28 ± 51.91 <sup>a</sup>	493.06 ± 54.58 <sup>b</sup>
免疫球蛋白 G IgG	分娩后第 7 天常乳 Milk on day 7 after parturition	263.25 ± 88.79	315.20 ± 34.07
	分娩后第 14 天常乳 Milk on day 14 after parturition	213.25 ± 34.48	209.46 ± 28.62
	初乳 Colostrum	75.29 ± 5.24	76.19 ± 9.79
免疫球蛋白 M IgM	分娩后第 7 天常乳 Milk on day 7 after parturition	89.49 ± 7.89	99.06 ± 4.36
	分娩后第 14 天常乳 Milk on day 14 after parturition	77.62 ± 7.39 <sup>a</sup>	94.24 ± 9.53 <sup>b</sup>
	初乳 Colostrum	241.40 ± 23.67	272.71 ± 41.82
免疫球蛋白 A IgA	分娩后第 7 天常乳 Milk on day 7 after parturition	368.87 ± 72.92	382.94 ± 36.52
	分娩后第 14 天常乳 Milk on day 14 after parturition	305.74 ± 66.91	356.31 ± 27.19

表 7 母猪饲料添加 HMB 对仔猪血浆中免疫球蛋白含量的影响

Table 7 Effects of adding HMB to sow diets on plasma immunoglobulin contents of piglets

μg/mL

项目 Items		对照组 Control group	试验组 Experimental group
免疫球蛋白 G IgG	7 日龄 7 days of age	510.88 ± 41.00 <sup>a</sup>	568.93 ± 23.17 <sup>b</sup>
	14 日龄 14 days of age	519.31 ± 43.29	544.06 ± 60.44
	21 日龄 21 days of age	442.31 ± 25.40	479.43 ± 60.21
免疫球蛋白 M IgM	7 日龄 7 days of age	42.47 ± 4.81 <sup>a</sup>	59.51 ± 15.68 <sup>b</sup>
	14 日龄 14 days of age	60.43 ± 6.23	64.65 ± 16.00
	21 日龄 21 days of age	70.17 ± 5.58	63.10 ± 5.88

### 3 讨论

#### 3.1 母猪饲料添加 HMB 对母猪繁殖性能及其仔猪生长性能的影响

母猪窝产仔数主要受排卵率、受精率和怀孕期胚胎存活率的影响,其中胚胎死亡主要发生在

妊娠后第 9~13 天、3 周左右和第 60~70 天 3 个时期<sup>[15]</sup>。本试验母猪饲料添加 HMB 对母猪窝产仔数、窝产活仔数均无显著影响,可能与其添加时间(妊娠第 74 天开始)已过胚胎死亡高峰期有关。本研究试验组仔猪初生个体重显著高于对照组,与 Tataru 等<sup>[14]</sup>报道一致。研究表明,HMB 能显著

提高鼠和羔羊生长激素/胰岛素样生长因子 I 轴 (GH/IGF-I) 的活性<sup>[16-17]</sup>。生长激素能增加胎盘重量,改善胎儿营养供应,促进其生长<sup>[18]</sup>。因此笔者推测本研究中 HMB 提高仔猪初生个体重与其改善母猪体内生长激素水平有关,详细机制有待进一步研究。

Nissen 等<sup>[12]</sup>、Krakowski 等<sup>[13]</sup>报道母猪饲喂 HMB 可显著提高仔猪 21 日龄或 28 日龄体重,本试验结果与其基本一致。本试验进一步分析发现,母猪饲粮添加 HMB 对仔猪的促生长效应主要表现在出生后第 1 周(补饲前),而补饲后(7~21 日龄)2 组间增重差异缩小,究竟是 HMB 的促生长效应随时间延长而逐渐减弱,还是补饲掩盖了促生长效应,尚有待研究。有研究表明,饲粮中添加适量 HMB 能提高肉仔鸡<sup>[19]</sup>、绒山羊<sup>[20]</sup>的生长性能。根据 Nissen 等<sup>[12]</sup>对母乳 HMB 含量分析结果,仔猪通过母乳直接获得的 HMB 含量远小于由母乳中亮氨酸吸收后在体内代谢转化而间接获得的 HMB 含量及文献报道的畜禽饲粮中 HMB 添加量,因此, HMB 难以通过母乳转运途径在仔猪体内发挥直接的促生长作用。HMB 可能通过以下途径改善仔猪增重:1) 增加母猪泌乳量。母乳是哺乳仔猪尤其是补饲前仔猪获取营养物质的主要途径,母乳质和量对哺乳期仔猪生长性能起关键作用。本试验中 HMB 对母猪初乳和常乳成分含量均无显著影响,因此增加母猪泌乳量可能是 HMB 发挥作用的途径之一。2) 改善仔猪肠道功能。Gerlinger-Romero 等<sup>[16]</sup>报道鼠连续饲喂 HMB 可提高垂体 GH 基因及肝 IGF-I 基因的转录与表达,增加血清中 IGF-I 含量。血液中 IGF-I 等激素通过母乳被仔猪摄入后能促进小肠发育和功能成熟,提高养分的消化吸收。3) 改善仔猪 GH/IGF-I 轴活性。Tatara 等<sup>[14]</sup>研究发现母猪产前 2 周饲喂 HMB 显著提高了初生仔猪血液中 GH、IGF-I 含量,并显著改善初生至上市全期的生长速度。今后应从多角度进行深入研究,以揭示 HMB 的促生长机制。

### 3.2 母猪饲粮添加 HMB 对母猪免疫功能的影响

现代养猪业高密度集约化饲养模式,使猪舍空气质量恶化、猪群长期处于应激状态,加之免疫抑制性疾病的广泛存在,导致猪群免疫功能低下,疫苗使用效果不理想。这种状况对母猪而言后果更为严重:疫病在猪群中呈隐性感染,长期排菌或

排毒而垂直传播给仔猪;仔猪因无法从母猪获得足够的被动免疫保护力,极易被外界病原感染。人们开始探索在饲粮中添加生物活性物质来提高母猪免疫功能。HMB 是亮氨酸在动物体内的中间代谢产物,具有免疫刺激活性<sup>[7-11]</sup>。Siwicki 等<sup>[10]</sup>报道 HMB 显著提高虹鳟鱼脾脏离体接种鲁氏耶尔森菌疫苗后产生的特异性抗体分泌细胞的数量;虹鳟鱼接种鲁氏耶尔森菌疫苗前 2 周饲喂含 HMB 饲粮显著提高总抗体分泌细胞及特异性抗体分泌细胞数量。饲粮中添加适量 HMB 显著提高梭鲈<sup>[9]</sup>、肉鸡<sup>[19,21]</sup>、绒山羊<sup>[20]</sup>血清中总 IgG 或特异性 IgG 含量。Krakowski 等<sup>[13]</sup>研究表明母猪产前 4~6 周连续 21 d 口服适量 HMB 能显著提高血清 IgG 含量。本试验对自妊娠 74 d 开始连续饲喂含 HMB 饲粮母猪血清免疫球蛋白含量动态监测发现,HMB 显著提高了妊娠第 98 天血清中 IgG、IgM 含量;分娩当天及分娩后第 14 天血清中 IgG、IgM 含量仍呈增高趋势,该结果与 Krakowski 等<sup>[13]</sup>相似。母猪血液中 IgG 自产前 10~14 天开始向乳腺转运富集供生成初乳<sup>[22]</sup>,因此妊娠第 98 天血清中免疫球蛋白含量是评价母猪免疫功能状态的较理想指标。本试验结果提示,HMB 可显著增强母猪体液免疫功能,为自身及所产仔猪提供抗病保护。本试验发现,分娩后第 14 天无论是血浆 IgG 还是 IgM 含量,试验组相比对照组提高的幅度均明显低于妊娠第 98 天,饲粮中 HMB 对免疫系统的激活效应是否随着饲喂时间的延长而钝化减弱,值得今后进一步研究,以确定 HMB 在母猪饲粮中的合理添加方案。

### 3.3 母猪饲粮添加 HMB 对母乳品质的影响

母乳是哺乳仔猪获取营养和母源抗体的主要途径,其质量对仔猪的生长和健康有重要影响。人们探索各种方法来提高母乳品质。Nissen 等<sup>[12]</sup>报道母猪自产前 2 天至仔猪断奶连续饲喂添加 HMB 饲粮,初乳中乳脂含量增加 41%。Krakowski 等<sup>[13]</sup>在母猪产前 4~6 周开始连续 21 d 饲喂 HMB 显著提高了初乳比重,但乳蛋白含量无显著差异;显著提高了初乳中 IgG 含量。初乳比重增加,表明乳脂含量降低或非脂固形物含量增加。本试验自妊娠第 74 天至仔猪断奶,在母猪饲粮中连续添加 HMB 对初乳及常乳中乳脂、乳蛋白、非脂固形物含量均无显著影响,与 Nissen 等<sup>[12]</sup>、Krakowski 等<sup>[13]</sup>结果不一致,可能与 HMB 添加量及

持续时间、母猪体况等多种因素有关,有待进一步研究。初乳中抗体通过肠黏膜进入仔猪体内后,可在全身各组织发挥免疫保护作用;常乳中的抗体(尤其是IgA)虽不能被仔猪吸收进入血液,但可在消化道发挥局部抗菌、抗病毒作用。本试验对初乳及常乳中免疫球蛋白含量动态监测发现,HMB显著提高了初乳中IgG含量及分娩后第14天常乳中IgM含量,常乳中IgG、IgM、IgA含量有改善趋势,与Krakowski等<sup>[13]</sup>结果相似。研究表明,母猪初乳中所有的IgG、80%的IgM和40%的IgA来源于血液,而常乳中90%的IgA和IgM及70%的IgG是在乳腺组织局部合成的<sup>[23]</sup>。本试验HMB显著提高了初乳中IgG含量,与试验组母猪妊娠第98天血清中IgG含量显著高于对照组相吻合;试验组常乳中IgG、IgM、IgA含量高于对照组,表明HMB能刺激乳腺组织局部合成免疫球蛋白。

### 3.4 母猪饲料添加HMB对仔猪免疫功能的影响

母猪特有的上皮绒毛膜类型胎盘结构,使胎儿无法经胎盘获得母源免疫球蛋白。初生仔猪的肠道在24 h内能吸收母乳中的抗体以抵御病原感染,7日龄前血清中的IgG全部来源于母乳。目前有关母猪饲料中添加HMB对仔猪免疫功能的影响鲜见文献报道。本试验中HMB显著提高了仔猪7日龄血浆IgG、IgM含量,但母猪初乳中仅IgG含量试验组显著高于对照组,提示HMB能提高母猪初乳分泌量,通过质和量的双重改善作用提高仔猪体内抗体水平。HMB对14、21日龄仔猪血浆IgG、IgM含量无显著影响,可能与抗体在血液循环中的衰减、外界病原微生物刺激引起的主动免疫应答等多种因素有关。在母猪饲料中添加HMB,与其前体物亮氨酸相比,具有显著优点:1)亮氨酸在母猪体内仅有约5%被代谢转化为HMB,理论上要达到相同效果所需添加量将大大高于HMB<sup>[24]</sup>;2)饲料中添加过量的亮氨酸会破坏氨基酸平衡,尤其是干扰其他支链氨基酸的吸收、转运和代谢。

## 4 结论

母猪妊娠后期及哺乳期饲料中连续添加2 000 mg/kg HMB,可显著提高仔猪初生重及哺乳期增重,改善母猪及仔猪免疫功能。

## 参考文献:

- [1] VAN DE LIGT J L G, LINDEMANN M D, HARMON R J, et al. Effect of chromium tripicolinate supplementation on porcine immune response during the periparturient and neonatal period[J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(2): 456-466.
- [2] CZECH A, GRELA E R, MOKRZYCKA A, et al. Efficacy of mannanoligosaccharides additive to sows diets on colostrum, blood immunoglobulin content and production parameters of piglets[J]. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 2010, 13(3): 525-531.
- [3] 张荣庆, 韩正康, 陈杰, 等. 大豆黄酮对母猪免疫功能 and 血清及初乳中GH、PRL、SS水平的影响[J]. *动物学报*, 1995, 41(2): 201-206.
- [4] CORINO C, PASTORELLI G, ROSI F, et al. Effect of dietary conjugated linoleic acid supplementation in sows on performance and immunoglobulin concentration in piglets[J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(7): 2299-2305.
- [5] 田春庄, 肖成林, 黄飞若, 等.  $\beta$ -CD-半胱胺对母猪繁殖性能和仔猪生长性能的影响[J]. *动物营养学报*, 2007, 19(5): 559-566.
- [6] 乔璇, 张海军, 齐广海, 等.  $\beta$ -羟基- $\beta$ -丁酸甲酯调控肌肉代谢的研究进展[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(12): 2064-2070.
- [7] NISSEN S, FULLER J C, Jr, SELL J, et al. The effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on growth, mortality, and carcass qualities of broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 1994, 73(1): 137-155.
- [8] PETERSON A L, QURESHI M A, FEREKET P R, et al. *In vitro* exposure with  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate enhances chicken macrophage growth and function[J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 1999, 67(1): 67-78.
- [9] SIWICKI A K, FULLER J C, Jr, NISSEN S, et al. *In vitro* effects of  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB) on cell-mediated immunity in fish[J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2000, 76(3/4): 191-197.
- [10] SIWICKI A K, MORAND M, FULLER J C, Jr, et al. Influence of HMB ( $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate) on antibody secreting cells (ASC) after *in vitro* and *in vivo* immunization with the anti-Yersinia ruckeri vaccine of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Veterinary Research*, 2001, 32(5): 491-498.
- [11] SIWICKI A K, ZAKCŚ Z, FULLER J C, Jr, et al. In-

- fluence of  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate on nonspecific humoral defense mechanisms and protection against furunculosis in pikeperch (*Sander lucioperca*) [J]. *Aquaculture Research*, 2006, 37(2): 127–131.
- [12] NISSEN S, FAIDLEY T D, ZIMMERMAN D R, et al. Colostral milk fat percentage and pig performance are enhanced by feeding the leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methyl butyrate to sows [J]. *Journal of Animal Science*, 1994, 72(9): 2331–2337.
- [13] KRAKOWSKI L, KRZYZANOWSKI J, WRONA Z, et al. The influence of nonspecific immunostimulation of pregnant sows on the immunological value of colostrum [J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2002, 87(1/2): 89–95.
- [14] TATARA M R, SLIWA E, KRUPSKI W. Prenatal programming of skeletal development in the offspring: effects of maternal treatment with beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) on femur properties in pigs at slaughter age [J]. *Bone*, 2007, 40(6): 1615–1622.
- [15] 郭万正. 规模养猪实用技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 2010: 65.
- [16] GERLINGER-ROMERO F, GUIMARÃES-FERREIRA L, GIANNOCCO G, et al. Chronic supplementation of beta-hydroxy-beta methylbutyrate (HMB) increases the activity of the GH/IGF-I axis and induces hyperinsulinemia in rats [J]. *Growth Hormone & IGF Research*, 2011, 21(2): 57–62.
- [17] TATARA M R. Neonatal programming of skeletal development in sheep is mediated by somatotrophic axis function [J]. *Experimental Physiology*, 2008, 93(6): 763–772.
- [18] STERLE J A, CANTLEY T C, LAMBERSON W R, et al. Effects of recombinant porcine somatotropin on placental size, fetal growth, and IGF- I and IGF- II concentrations in pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(10): 2980–2985.
- [19] BUYSE J, SWENNEN Q, VANDEMAELE F, et al. Dietary  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate supplementation influences performance differently after immunization in broiler chickens [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2009, 93(4): 512–519.
- [20] 郭俊清. 亮氨酸及  $\beta$ -羟基- $\beta$ -甲基丁酸钙对绒山羊免疫机能和生产性能影响的研究 [D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009: 36–54.
- [21] PETERSON A L, QURESHI M A, FERKET P R, et al. Enhancement of cellular and humoral immunity in young broilers by the dietary supplementation of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate [J]. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 1999, 21(2): 307–330.
- [22] MARTINSSON K. Mammary secretion of IgG in sows [J]. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 1972, 13(2): 191–196.
- [23] BOURNE F J, CURTIS J. The transfer of immunoglobulins IgG, IgA and IgM from serum to colostrum and milk in the sow [J]. *Immunology*, 1973, 24(1): 157–162.
- [24] VAN KOEVERING M, NISSEN S. Oxidation of leucine and  $\alpha$ -ketoisocaproate to  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate *in vivo* [J]. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 1992, 262(1): E27–E31.



## Effects of Adding $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -Methylbutyrate to Sow Diets on Reproductive Performance of Sows and Growth Performance of Piglets and Their Immune Function

LI Yongming XU Ziwei\* LIU Jie FENG Shanglian

(Institute of Animal Science and Husbandry, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to study the effects of adding  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB) to sow diets on reproductive performance of sows and growth performance of piglets and their immune function. Twenty crossbred pregnant sows (Landrace  $\times$  Large White) were randomly allotted by parity and expected delivery date into 2 groups with 10 replicates of 1 sow. Control group was fed a basal diet, and experimental group was fed the basal diet supplemented with 2 000 mg/kg HMB. The experiment was from day 74 of gestation to day 21 after parturition. The results showed that with addition of 2 000 mg/kg HMB to late gestation and lactation sow diets, compared with the control group, birth weight of piglets born alive was increased by 14.1% ( $P < 0.05$ ), litter body weight at 7 and 21 days of age was increased by 16.6% and 11.7% ( $P < 0.05$ ), and litter body weight gain from birth to 7 days of age and from birth to 21 days of age was increased by 28.3% and 12.5% ( $P < 0.05$ ). On day 98 of gestation and the day of parturition, compared with the control group, the serum immunoglobulin G (IgG) content of sows was increased by 35.3% ( $P < 0.01$ ) and 13.0% ( $P > 0.05$ ), and the serum immunoglobulin M (IgM) content was increased by 34.7% ( $P < 0.05$ ) and 12.6% ( $P > 0.05$ ). Compared with the control group, colostrum IgG content was increased by 19% ( $P < 0.05$ ), and milk IgM content on day 14 after parturition was increased by 21.4% ( $P < 0.05$ ). Compared with the control group, plasma IgG and IgM contents of piglets at 7 days of age were increased by 11.4% and 40.1% ( $P < 0.05$ ). It is concluded that 2 000 mg/kg HMB can enhance body weight at birth and body weight gain during suckling periods of piglets, and improve immune function of sows and their suckling piglets. [ *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(9):1745-1753 ]

**Key words:** HMB; sow; piglet; growth performance; immune function