

# 中草药结合 AKG 对断奶仔猪生长及消化吸收功能的影响

王金泉, 项方献, 姚 刚

(新疆农业大学 动物医学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**[摘要]** **【目的】**研究新型中草药配方结合  $\alpha$ -酮戊二酸(AKG)作为饲料添加剂对断奶仔猪生长和消化吸收功能的影响。**【方法】**将 56 头 26 日龄体重相近( $6.0 \pm 0.5$  kg)的断奶仔猪随机分为 4 组,每天在饲喂基础日粮的同时,每只仔猪分别灌胃给予 100 mL 生理盐水(对照组(C))、100 mL 中草药煎剂(中草药组(H))、100 mL 生理盐水+0.1 g AKG(AKG 组(A))、100 mL 中草药煎剂+0.1 g AKG(中草药+AKG 组(AH)),连续饲喂 4 周后屠宰,测定生长指标和血清中脂类含量,并制备常规石蜡切片,测量肠绒毛高度和隐窝深度。**【结果】**①仔猪日增质量 H、A、AH 组均显著高于 C 组, H、AH 组显著高于 A 组;日采食量 H、A、AH 组显著高于 C 组( $P < 0.05$ )。②胃指数 H 组极显著高于 C 组( $P < 0.01$ ), A、AH 组显著高于 C 组;小肠指数 H 组显著高于 C 组( $P < 0.05$ )。③空肠各段绒毛高度 A 组极显著高于 C 组( $P < 0.01$ ); AH 组前、中段绒毛高度极显著高于 C 组( $P < 0.01$ ), 后段显著高于 C 组( $P < 0.05$ )。空肠隐窝深度 AH 组前、中段极显著低于 C 组( $P < 0.01$ ), 后段显著低于 C 组; A 组后段较 C 组显著降低( $P < 0.05$ )。④仔猪血清中高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、胆固醇含量 A 组显著高于 C 组( $P < 0.05$ )。**【结论】**中草药结合 AKG 可以改善断奶仔猪消化管形态和消化吸收能力,从而增加动物的生长性能,且 AKG 有增强中草药功效的作用。

**[关键词]** 中草药;  $\alpha$ -酮戊二酸; 消化吸收; 断奶仔猪

**[中图分类号]** S852.21

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2011)05-0027-05

## Effects of Chinese herbs combined with $\alpha$ -ketoglutarate on the growth and gastrointestinal tract function in weaned pigs

WANG Jin-quan, XIANG Fang-xian, YAO Gang

(College of Veterinary Medicine, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** **【Objective】** This present study was conducted to evaluate effects of Chinese herbs combined with  $\alpha$ -ketoglutarate (AKG) on the growth and gastrointestinal tract function in weaned pigs. **【Method】** Fifty six 26-day-old weaned piglets (body weight  $6.0 \pm 0.5$  kg) were randomly divided into 4 groups ( $n = 14$ ), and then fed basic diets containing: Control (C) group (fed with 100 mL normal saline), Chinese herbs (H) group (fed with 100 mL Chinese herbal preparations), AKG (A) group (fed with 100 mL normal saline plus 0.1 g AKG) and Chinese herbs combined AKG (AH) group (fed with 100 mL Chinese herbal preparations plus 0.1 g AKG), respectively. The piglets were slaughtered after 4 weeks feeding experiment. The samples were collected. The determinations were completed by auto-blood biochemical analyzer, Motic Image Advanced 3.2 System. **【Result】** ① The daily weight gain (DWG) and daily feed intake in group H, A and AH were significantly higher than those in group C ( $P < 0.05$ ). DWG in group A was significantly higher than that in group H and AH ( $P < 0.05$ ). However, the feed gain ratio showed no signifi-

\* [收稿日期] 2010-10-10

[基金项目] 教育部回国人员科研启动基金; 基础兽医学新疆维吾尔自治区重点学科项目

[作者简介] 王金泉(1975—), 男, 甘肃秦安人, 讲师, 硕士, 主要从事动物形态学和生理学研究。E-mail: wangjinquan163@163.com

[通信作者] 姚 刚(1959—), 男, 山东巨野人, 教授, 博士, 主要从事动物形态学和生理学研究。E-mail: yaogang516@sina.com

cant difference between group H, A, AH and C. ②Compared with group C, stomach index was increased dramatically in group H( $P<0.01$ ), group A and AH( $P<0.05$ ), small intestine index was improved remarkably in H group ( $P<0.05$ ). ③In group A and AH, the villus height of proximal jejunum, middle jejunum and distal jejunum was higher ( $P<0.01$  or  $P<0.05$ , respectively) than that in group C. The crypt depth was significantly reduced in proximal jejunum ( $P<0.01$ ), middle jejunum ( $P<0.01$ ) and distal jejunum ( $P<0.05$ ) in group AH, and distal jejunum ( $P<0.05$ ) in group A. ④The concentration of high density lipoprotein, low density lipoprotein and cholesterol in group A was significantly higher than that in group C( $P<0.05$ ). 【Conclusion】 These results indicated that Chinese herbs combined with AKG could improve histological morphology and function of the digestive tract of weaned piglets, and enhance growth performance. Furthermore, AKG strengthened the effect of Chinese herbs.

**Key words:** Chinese herbs;  $\alpha$ -ketoglutarate; digestion and absorption; weaned piglets

在现代规模化养猪场,断奶仔猪的饲养管理是养殖生产过程中的关键环节之一,对仔猪的后期生长发育和健康具有很大影响。仔猪在断奶后由于应激、胃肠道环境变化等因素,易导致腹泻、生长抑制等断奶仔猪综合症<sup>[1]</sup>。目前,人们普遍利用饲料中添加抗生素防治断奶仔猪综合症,但抗生素的长期使用会产生抗药性和药物残留等问题,从而影响环境和食品安全,威胁人类健康。中草药是纯天然绿色植物,能增强机体的免疫机能、提高动物的抗应激和抗病力,改善动物的生产性能,且不易产生耐药性,体内无残留<sup>[2]</sup>。有研究报道,断奶仔猪饲料中添加中草药复方可降低腹泻发病率,提高仔猪的日增质量。但与抗生素相比,中草药成分复杂,见效较慢。 $\alpha$ -酮戊二酸( $\alpha$ -ketoglutarate, AKG)是谷氨酰胺(Glutamine, Gln)的前体物,在溶液中有良好的稳定性,且在体内可迅速转化为 Gln,为胃肠道供能,促进胃肠道细胞增殖<sup>[3]</sup>。AKG 作为饲料添加剂,可通过促进氮的代谢而减轻动物生产过程中的代谢应激,还能保护日粮氨基酸经肠道作为能量被利用<sup>[4]</sup>。目前,国内外有关中草药结合 AKG 对动物生长和疾病防治的研究报道还较少。本实验室在大鼠上的研究发现,中草药结合 AKG 对肠道的黏膜免疫和小肠的生长发育均有显著促进作用<sup>[5-6]</sup>。本试验研究了中草药结合 AKG 作为饲料添加剂对断奶仔猪消化吸收功能的影响,现将结果报道如下。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 复方中草药制剂 中草药购自新疆九州通医药有限公司。以新疆农业大学动物医学院王正党教授研制的 921 合剂为基本方组成本试验中草药配方(主要成分为板蓝根、金银花、黄芪、肉桂、地榆、黄

连、甘草、神曲等 10 多味中草药),粉碎后,将其完全熬制,弃药渣,离心,将上清液装入已消毒的 250 mL 瓶中,于 121 ℃ 高压灭菌 15 min,封好备用。

1.1.2 有机酸  $\alpha$ -酮戊二酸由波兰科学院动物营养与生理研究所 Zabielski 教授惠赠。

1.1.3 试验动物 56 头 26 日龄仔猪(长白×大白),雌雄不限,体质量( $6.0\pm0.5$ ) kg,由新疆畜牧科学院综合实验基地养猪场提供。

### 1.2 试验设计

将供试仔猪随机均分为对照组(C)、AKG 组(A)、中草药组(H)、中草药+AKG 组(AH)4 组,每日在饲喂 NSC 标准日粮的基础上,C、A、H、AH 组每只仔猪分别灌胃给予 100 mL 生理盐水、100 mL 生理盐水+0.1 g AKG、100 mL 中草药制剂和 100 mL 中草药制剂+0.1 g AKG。试验仔猪单笼饲养,自由采食和饮水,每日称料,每 2 天称 1 次体质量,试验期为 4 周,屠宰前禁食 24 h。

### 1.3 方法

各组仔猪称质量后屠宰,采集血液,用 CX4 型全自动血液生化分析仪(Beckman 公司)测定生化指标;分离胃、肠、肝等脏器并称质量,计算脏器指数(器官质量/体质量);同时立即采空肠组织样固定,制备常规石蜡切片,用 Motic 显微图象处理系统(advance3.0 软件)测量肠绒毛高度和隐窝深度。

### 1.4 数据统计分析

使用统计学软件(SPSS for Windows 13.0)对数据进行单因子方差分析(one-way ANOVA),数据用“平均数±标准误”表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 日增质量、日采食量、料质量比的测定

由表 1 可知,H、A、AH 组仔猪日增质量均显著

高于 C 组( $P<0.05$ ),H、AH 组仔猪日增质量显著高于 A 组( $P<0.05$ );H、A、AH 组日采食量显著高于 C 组( $P<0.05$ ),H、A、AH 组之间日采食量无显著差异;各组料质量比差异不显著。

表 1 中草药结合 AKG 对断奶仔猪日增质量、日采食量、料质量比的影响

Table 1 Effect of Chinese herbs combined AKG on daily weight gain,daily feed intake and feed gain ratio in weaned piglets

| 项目<br>Item                                  | C 组<br>C group | H 组<br>H group | A 组<br>A group | AH 组<br>AH group |
|---------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 日增质量/(g·头 <sup>-1</sup> ) Daily weight gain | 62.29±7.31 c   | 78.93±4.28 a   | 71.43±6.02 b   | 81.29±5.72 a     |
| 日采食量/(g·头 <sup>-1</sup> ) Daily feed intake | 151.58±14.99 c | 178.05±14.17 a | 162.04±12.88 a | 182.56±19.27 a   |
| 料质量比 Feed gain ratio                        | 2.43:1         | 2.26:1         | 2.27:1         | 2.20:1           |

注:同行数据后标不同小写字母者表示差异显著( $P<0.05$ ),标不同大写字母者表示差异极显著( $P<0.01$ ); $n=14$ 。下表同。  
Note:In the same row,values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ );with different capital letter superscripts mean significant difference ( $P<0.01$ ); $n=14$ . The same as below.

2.2 消化器官脏器指数的测定

由表 2 可以看出,H、A、AH 组胃指数较 C 组均有所提高,A、AH 组胃指数显著高于与 C 组( $P<0.05$ ),H 组极显著高于 C 组( $P<0.01$ );H、A、AH 组肝指数与 C 组相比差异均不显著;H 组小肠指数显著高于 C 组( $P<0.05$ ),其他 2 组与 C 组相比差异均不显著。

表 2 中草药结合 AKG 对断奶仔猪消化器官脏器指数的影响

Table 2 Effect of Chinese herbs combined AKG on digestive organs index in weaned piglets g/kg

| 消化器官脏器指数<br>Digestive organs index | C 组<br>C group | H 组<br>H group | A 组<br>A group | AH 组<br>AH group |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 胃指数 Stomach index                  | 0.73±0.04 bB   | 0.97±0.03 A    | 0.94±0.06 a    | 0.89±0.08 a      |
| 肝脏指数 Liver index                   | 2.32±0.14 a    | 2.33±0.09 a    | 2.64±0.14 a    | 2.66±0.18 a      |
| 小肠指数 Small intestine index         | 4.88±0.72 b    | 6.55±0.38 a    | 5.94±0.47 ab   | 6.30±0.47 ab     |

2.3 小肠组织形态学测量

由表 3 可知,A 组空肠各段绒毛高度均极显著高于 C 组( $P<0.01$ );AH 组空肠前段、中段绒毛高度极显著高于 C 组( $P<0.01$ ),后段绒毛高度显著高于 C 组( $P<0.05$ );H 组空肠绒毛高度与 C 组相比无显著差异。AH 组的空肠前、中、后段隐窝深度较 C 组均有所下降,前、中段差异极显著( $P<0.01$ ),后段差异显著( $P<0.05$ );H、A 组前、中段隐窝深度较 C 组差异均不显著( $P>0.05$ ),但 A 组后段隐窝深度较 C 组显著降低( $P<0.05$ );H、A、AH 组之间肠绒毛高度和隐窝深度均无显著差异。

表 3 中草药结合 AKG 对断奶仔猪空肠组织形态的影响

Table 3 Effect of Chinese herbs combined AKG on the histomorphology in different regions of jejunum in weaned piglets  $\mu\text{m}$

| 指标 Index              |                       | C 组<br>C group | H 组<br>H group | A 组<br>A group | AH 组<br>AH group |
|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 绒毛高度<br>Villus height | 空肠前段 Proximal jejunum | 106.3±1.8 bB   | 108.8±2.6 abAB | 129.1±1.1 aA   | 121.8±3.2 aA     |
|                       | 空肠中段 Middle jejunum   | 95.7±1.6 bB    | 97.9±1.6 abAB  | 122.2±0.9 aA   | 106.4±1.8 aA     |
|                       | 空肠后段 Distal jejunum   | 86.9±2.0 bB    | 87.9±1.4 abAB  | 96.7±2.9 aA    | 93.2±2.2 a       |
| 隐窝深度<br>Crypt depth   | 空肠前段 Proximal jejunum | 58.9±2.1 bB    | 57.1±1.6 abAB  | 57.5±0.9 abAB  | 48.8±1.6 aA      |
|                       | 空肠中段 Middle jejunum   | 51.4±0.7 bB    | 49.4±0.6 abAB  | 49.3±1.0 abAB  | 42.0±2.7 aA      |
|                       | 空肠后段 Distal jejunum   | 40.8±1.4 b     | 39.4±1.2 ab    | 36.4±2.0 a     | 35.3±0.9 a       |

2.4 血清中脂类含量的测定

由表 4 可知,A 组仔猪血清中高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、胆固醇含量均显著高于 C 组( $P<0.05$ ),甘油三脂含量与 C 组差异不显著( $P>0.05$ );H 组、AH 组血清中高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、胆固醇和甘油三脂含量与 C 组相比均无显著差异( $P>0.05$ );H、A、AH 组之间各指标也均无显著差异。

表 4 中草药结合 AKG 对断奶仔猪血清中脂类含量的影响

Table 4 Effect of Chinese herbs combined AKG on serum lipid concentrations in weaned piglets mmol/L

| 血清脂类 Serum lipid                | C 组 C group | H 组 H group  | A 组 A group | AH 组 AH group |
|---------------------------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
| 高密度脂蛋白 High density lipoprotein | 0.42±0.03 b | 0.46±0.02 ab | 0.53±0.05 a | 0.42±0.01 ab  |
| 低密度脂蛋白 Low density lipoprotein  | 1.10±0.08 b | 1.22±0.07 ab | 1.47±0.13 a | 1.12±0.04 ab  |
| 胆固醇 Cholesterol                 | 2.17±0.13 b | 2.35±0.07 ab | 2.66±0.13 a | 2.15±0.04 ab  |
| 甘油三脂 Triglyceride               | 0.54±0.03 a | 0.65±0.09 a  | 0.56±0.04 a | 0.62±0.06 a   |

### 3 讨 论

#### 3.1 中草药结合 AKG 对断奶仔猪日增质量、日采食量、料质量比的影响

有文献报道,中草药作为饲料添加剂具有增进食欲和提高免疫力的作用<sup>[2,7]</sup>。王彬<sup>[8]</sup>以金银花、淮山药、辣椒叶、蒲菜粉、黄连、椿皮、大蒜、鸡血藤、马齿苋等中草药作为饲料添加剂,研究其对 25 日龄断奶三元杂交仔猪的影响,结果显示,日粮添加不同剂量的中药复方制剂能不同程度地提高断奶仔猪的日增质量和日采食量。另有研究表明,日粮添加 1% AKG 能够促进仔猪生长并减弱免疫应激对仔猪生产性能的影响<sup>[9]</sup>。本试验中,H、A、AH 组仔猪日增质量均高于 C 组,表明供试中草药方剂和 AKG 对断奶仔猪都有增加体质量的作用;H、A、AH 组日采食量均高于 C 组,但料质量比无显著差异,表明供试中草药方剂和 AKG 均有促进采食的作用,这与前人研究结果<sup>[2,7]</sup>相似。有文献报道,AKG 有促进肠道黏膜生长和保护氨基酸的作用<sup>[3]</sup>,黏膜面积的增大可以增加肠道的吸收面积,从而促进营养物质的吸收。本研究发现,H、AH 组仔猪日增质量显著高于 A 组,且 AH 组日增质量最大,表明供试中草药方剂与 AKG 合用,在中药促进采食的同时 AKG 增进了食物中营养物质的吸收,对促进断奶仔猪的生长起到了协同作用,比单独饲喂二者对仔猪生长的促进作用更显著,饲料回报率更高,说明供试中草药方剂和 AKG 共同作为饲料添加剂,对断奶仔猪促生长更有效。二者的促生长作用是否与其提高了断奶仔猪的免疫力有关,还需进一步的研究。

#### 3.2 中草药结合 AKG 对断奶仔猪消化器官脏器指数的影响

脏器指数是畜禽重要的生物学特性指标之一,脏器指数的大小反映了脏器功能的强弱。仔猪断奶后机体生理状态发生了很大变化,孔祥峰等<sup>[1]</sup>测定了仔猪断奶后 0,7,14,28 d 的脏器指数,结果显示,胃指数先升高后降低,胃、肝脏指数在断奶后第 7 天最大。在本研究中,中草药、AKG 和中草药结合 AKG 饲喂仔猪后,各消化器官的脏器指数与对照组相比均有不同程度的提高,主要表现在显著增加了胃指数和小肠指数。结果表明,中草药和 AKG 作为添加剂都有促进消化器官生长的作用。消化管生长和质量的变化主要表现在管壁发育的长度和厚度方面,这种变化可增加消化管对营养物质的消化和吸收面积,从而更有利于动物的生长发育。大量研

究表明,在断奶期以各种不同组方的中草药或者必需氨基酸的前体物、类似物作为饲料添加剂饲喂仔猪,可以不同程度促进仔猪的生长性能和免疫力,对脏器的生长发育有正向的调控作用<sup>[10-13]</sup>。以上结果表明,断奶阶段对仔猪后期生长发育和健康非常重要,提示在仔猪断奶阶段可通过添加中草药等天然饲料添加剂来促进仔猪的生长,从而提高产肉率,为消费者提供绿色安全的肉品。

#### 3.3 中草药结合 AKG 对断奶仔猪小肠组织形态的影响

小肠是消化道内营养物质吸收和转运的主要部位,小肠绒毛的主要功能是吸收。肠绒毛高度及隐窝深度通常作为衡量肠形态和功能成熟度的一种指标<sup>[14]</sup>,绒毛越高、隐窝越浅,说明消化吸收功能越强<sup>[15]</sup>。有文献报道,AKG 可为肠上皮细胞供能和补充氮源,同时为胃肠道细胞代谢提供能量<sup>[16]</sup>。有研究表明,日粮添加 10 g/kg AKG 能够促进仔猪生长,缓解免疫应激对仔猪肠道吸收功能的影响<sup>[9]</sup>。王凤英等<sup>[6]</sup>研究发现,中草药结合 AKG 对大鼠小肠功能的生长发育有促进作用。本试验结果显示,中草药、AKG 以及中草药结合 AKG 都增加了肠绒毛高度,使隐窝变浅,其中中草药结合 AKG 对小肠绒毛和隐窝的作用更为显著,表明中草药结合 AKG 能更好地提高仔猪的消化吸收能力。

#### 3.4 中草药结合 AKG 对断奶仔猪肠道脂类吸收的影响

仔猪肠道黏膜形态和新陈代谢改变时,血清生化指标也发生相应改变<sup>[17]</sup>,猪血清生化指标与生产性能存在一定的相关性<sup>[18]</sup>。本试验结果显示,AKG 在促进高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、胆固醇吸收方面作用显著,而单独中草药和 AKG 的作用不显著。表明,AKG 可以通过改善肠道黏膜形态而促进营养物质的吸收,从而提高生产率。本试验发现,单独饲喂 AKG 显著增加了断奶仔猪血液中脂类的含量,而同时饲喂中草药和 AKG 时仔猪血液中的脂类含量却没有显著增加,说明 AKG 能很好地促进仔猪肠道对脂类的吸收,但中草药似乎有减弱 AKG 促进脂类吸收的作用,其内在的机理还需进一步研究。

### 4 结 论

中草药结合 AKG 可以通过增加消化器官脏器指数和肠绒毛高度及降低隐窝深度而促进肠道对脂类等营养物质的吸收能力,从而提高断奶仔猪的生长性能。添加 AKG 可以增强中草药的作用时效,

弥补中草药见效慢的不足,中草药结合 AKG 能更好地促进断奶仔猪的消化吸收能力。

## 参考文献

- [1] 孔祥峰,尹富贵,刘合军,等.早期断奶仔猪生理生化参数和脏器指数的变化[J].中国实验动物学报,2006,14(4):298-302.  
Kong X F, Yin F G, Liu H J, et al. Changes of physiological and biochemical parameters and viscera indexes in early weaned piglets[J]. Acta Laboratortium Animalis Scientia Sinica, 2006, 14(4):298-302. (in Chinese)
- [2] 朴香淑,李德发.中草药饲料添加剂促进畜禽生长性能研究现状及展望[J].饲料研究,2002(2):12-23.  
Pu X S, Li D F. Present situation and perspective in Chinese medical herb on growth performance of domestic animal[J]. Feed Research, 2002(2):12-23. (in Chinese)
- [3] Olin T, Junjvid H, Von der Decken A. Effect of dietary keto acid on intermediary metabolism of nutrients in Atlantic salmon (*Salmo salar*) during 17-beta-estradiol-induced vitellogenin synthesis[J]. Anim Sci, 1992, 42:246-253.
- [4] 王 蕾,吴 信,付大波. $\alpha$ 酮戊二酸对动物肠道黏膜作用的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2010(6):36-37.  
Wang L, Wu X, Fu D B. Research progress of  $\alpha$ -ketoglutarate affect on animal intestinal mucosa[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2010(6):36-37. (in Chinese)
- [5] 夏立宁,陶 刚,王凤英,等.改进型中草药 921 合剂结合  $\alpha$ 酮戊二酸对断奶大鼠肠道免疫的影响[J].新疆农业大学学报,2004,27(2):91-95.  
Xia L N, Tao G, Wang F Y, et al. The effect of reformative Chinese herbs 921 compound combined with  $\alpha$ 2ketoglutarate on gut immunity in weaned rats[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2004, 27(2):91-95. (in Chinese)
- [6] 王凤英,夏立宁,李慧显,等.中草药制剂结合  $\alpha$ 酮戊二酸对断奶大鼠小肠形态与功能的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2006(2):14-15.  
Wang F Y, Xia L N, Li H X, et al. The effects of Chinese herb blender combined with  $\alpha$ -ketoglutarate (AKG) on the small intestinal morphology and function in rats[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2006(2):14-15. (in Chinese)
- [7] 孔祥峰,谭碧娥,印遇龙,等.中药复方饲料添加剂对断奶仔猪免疫功能的影响[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2009,30(1):45-48.  
Kong X F, Tan B E, Yin Y L, et al. Effect of dietary supplemental Chinese herbal formula on immune responses in weaned piglets[J]. Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition, 2009, 30(1):45-48. (in Chinese)
- [8] 王 彬.中药复方对断奶仔猪生长性能的影响[J].广东农业科学,2010(6):169-170.  
Wang B. Effects of Chinese herbal formula on growth performance in weaning piglets[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010(6):169-170. (in Chinese)
- [9] 胡泉州,侯永清,丁斌鹰,等. $\alpha$ 酮戊二酸对仔猪小肠组织学形态与功能的影响[J].动物营养学报,2008,20(6):662-667.  
Hu Q Z, Hou Y Q, Din B Y, et al. Effects of  $\alpha$ -ketoglutarate on histological morphology and function of small intestine in piglets[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2008, 20(6):662-667. (in Chinese)
- [10] 王琤韡,瞿明仁,游金明,等.N-氨甲酰谷氨酸对断奶仔猪生长性能、养分消化率及血清游离氨基酸含量的影响[J].动物营养学报,2010,22(4):1012-1018.  
Wang C W, Qu M R, You J M, et al. Effects of N<sub>2</sub>carbamoylglutamate on growth performance, nutrient digestibility and serum free amino acids of weaned piglets[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(4):1012-1018. (in Chinese)
- [11] Frank J W, Escobar J, Nguyen H V. Oral N-carbamyl-glutamate supplementation increases protein synthesis in skeletal muscle of piglets[J]. The Journal of Nutrition, 2007, 137(2):315-319.
- [12] Kim S W, McPherson R L, Wu G. Dietary arginine supplementation enhances the growth of milk-fed young pigs[J]. The Journal of Nutrition, 2004, 134:625-630.
- [13] Kong X F, Yin Y L, He Q H, et al. Dietary supplementation with Chinese herbal powder enhances ileal digestibilities and serum concentrations of amino acids in young pigs[J]. Amino Acids, 2009, 37(4):573-582.
- [14] Hampson D J. Attempts to modify changes in the piglets small intestine after weaning[J]. Res Vet Sci May, 1986, 40(3):313-317.
- [15] 杨彩梅,徐卫丹,陈安国.甘氨酸-L-谷氨酰胺对断奶仔猪生长性能及肠道吸收功能的影响[J].中国畜牧杂志,2005,41(8):628.  
Yang C M, Xu W D, Chen A G. Effect of GLY-L-GLN on growth performance and intestinal absorption ability in weaned piglets[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2005, 41(8):628. (in Chinese)
- [16] Jones C, Palmer A, Griffiths R D. Randomized clinical outcome study of critically ill patients given glutamine-supplemented enteral nutrition[J]. Nutrition, 1999, 15(2):108-115.
- [17] 罗洪明,陈代文.不同蛋白水平对早期断奶仔猪生产性能、血液生化指标的影响[J].饲料研究,2005(8):3-8.  
Luo H M, Chen D W. Influences of various dietary protein levels on growth performance and blood biochemical parameters in early weaned piglets[J]. Feed Research, 2005(8):3-8. (in Chinese)
- [18] 杨 华,傅 衍,陈安国.猪血液生化指标与生产性能的关系[J].国外畜牧科技,2001,28(1):34-37.  
Yang H, Fu Y, Chen A G. Relationship between blood biochemical indice and production performance in pigs[J]. Animal Science Abroad, 2001, 28(1):34-37. (in Chinese)