

低分子量大豆肽对断奶仔猪胃酸分泌的影响及机制

权素玉, 荣超, 王珊珊, 张源淑*

(南京农业大学 农业部动物生理生化重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

摘要:目的: 本实验旨在探讨大豆肽对断奶仔猪胃酸分泌的影响及其作用机制。方法: 选取刚出生的健康苏姜猪仔猪30头, 随机分为对照组和大豆肽组, 对照组仔猪在断奶前常规补料, 大豆肽组仔猪则补充基础日粮+2%大豆肽, 仔猪在21 d时一次性断奶, 分别在21日龄与35日龄时每组随机取6头仔猪宰杀, 取血液、胃黏膜及胃内容物, 对两组所有仔猪的胃食糜pH值、血清中胃泌素含量以及胃底组织中 H^+-K^+-ATP 酶、 Na^+-K^+-ATP 酶、胃蛋白酶的活性进行测定。结果: 大豆肽组中, 21日龄仔猪胃内pH值下降(由对照组的 4.40 ± 0.17 降至 3.94 ± 0.38), 35日龄仔猪胃内pH值显著下降(由对照组的 4.15 ± 0.16 降至 2.89 ± 0.06); 35日龄仔猪血清中胃泌素含量显著升高($P < 0.05$), 胃黏膜中 H^+-K^+-ATP 酶和 Na^+-K^+-ATP 酶以及胃蛋白酶的活力均升高, 但与对照组间无显著差异($P > 0.05$)。结论: 大豆肽可促进仔猪胃酸分泌, 但其作用途径不是通过提高 H^+-K^+-ATP/Na^+-K^+-ATP 酶活力通路实现, 可能是通过促进胃泌素分泌直接作用于壁细胞引起的。

关键词: 大豆肽; 断奶仔猪; 胃酸分泌; 胃泌素

Effect of Low-Molecular-Weight Soybean Peptide on the Secretion of Gastric Acid in Weaning Piglets and Its Mechanism

QUAN Suyu, RONG Chao, WANG Shanshan, ZHANG Yuanshu*

(Key Laboratory of Animal Physiology and Biochemistry, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The purpose of this study is to investigate the effect of soybean peptide on the secretion of gastric acid in weaning piglets. Thirty newborn Sujiang pigs were randomly divided into control group and soy peptide group. In the soy peptide group, 2% soybean peptide was additionally added to the basal diet. All pigs were weaned at 21 days of age. At the age of 21 days and 35 days, 6 pigs were randomly selected in each group and slaughtered. Gastric chyme pH, serum gastrin level and the enzyme activities of $H^+-K^+-ATPase$, $Na^+-K^+-ATPase$ and pepsin in the stomach fundus were measured. Results: In the soy peptide group, the intragastric pH of 21-day-old piglets decreased to 3.94 ± 0.38 from 4.40 ± 0.17 ; the intragastric pH of 35-day-old piglets was 2.89 ± 0.06 , a significant decrease compared with 4.15 ± 0.16 for control group; the serum gastrin level of 35-day-old piglets increased significantly ($P < 0.05$) and the enzyme activities of gastric mucosal $H^+-K^+-ATPase$, $Na^+-K^+-ATPase$ and pepsin also increased but not significantly ($P > 0.05$). These results suggest that soybean peptide can improve the secretion of gastric acid in piglets, likely by increasing gastrin secretion which may directly act on the parietal cells rather than by enhancing the activities of $H^+-K^+-ATPase$, $Na^+-K^+-ATPase$ and pepsin.

Key words: soybean peptide; weaning piglets; gastric acid secretion; gastrin

中图分类号: TS214.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)21-0249-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201521046

近年来, 蛋白水解物的营养价值与生物学功能已受到越来越多的重视。蛋白水解物是应用不同种类的蛋白酶水解蛋白质而得到的终产物, 是由蛋白胨、多肽以及游离氨基酸所组成的混合物^[1]。大豆肽是大豆蛋白质经酶

水解作用后, 再经特殊处理而得到的低肽混合物。与大豆蛋白相比, 大豆肽往往具有更好的物理性质, 可直接被机体吸收利用, 并具有降低血压、提高免疫力、抗氧化等作用^[2-4]。

收稿日期: 2015-01-12

基金项目: 江苏省普通高校研究生实践创新计划项目 (SJLX_0281)

作者简介: 权素玉 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为营养生物化学。E-mail: 1203457176@qq.com

*通信作者: 张源淑 (1962—), 女, 教授, 博士, 研究方向为营养生物化学。E-mail: zhangyuanshu@njau.edu.cn

胃酸是由胃腺壁细胞分泌的盐酸,具有激活胃蛋白酶原,为胃蛋白酶提供适宜的酸性环境,抑制和杀死随食物进入胃内的细菌,促进胰液、胆汁和小肠液的分泌等作用,因此,胃酸分泌对食物的消化吸收具有重要意义^[5]。本实验室前期工作证明,伴大豆球蛋白胃蛋白酶水解肽对人和动物胃肠道优势菌群——双歧杆菌具有促生长作用,并能抵抗外源大肠杆菌的感染^[6-8],但大豆肽是否能够促进机体胃酸分泌,目前仍不是很清楚。本研究拟以不同日龄断奶仔猪为研究对象,探讨大豆肽与机体内源酸分泌的关系,阐明早期应用大豆肽对胃酸分泌的促进作用,为挖掘大豆肽的新功能及生产实践提供理论依据,同时,本研究对功能性食品的开发也具有一定价值。

1 材料与amp;方法

1.1 动物、材料与试剂

苏姜猪仔猪,由泰州市姜曲海种猪场提供;基础日粮,购于泰州市正大饲料有限公司。

大豆肽(分子质量300~700 u),按照王吉庄等^[9]的方法进行制备。

H⁺-K⁺-ATP酶测定试剂盒、Na⁺-K⁺-ATP酶测定试剂盒、胃蛋白酶测定试剂盒 南京建成生物工程研究所;胃泌素放射免疫测定试剂盒 北京北方生物技术研究所。

1.2 仪器与设备

CT15RE高速冷冻离心机 日本Hitachi公司;FMJ-182型放射免疫γ-计数器 上海原子核研究所日环仪器一厂;pH计 新加坡Ecoscan公司。

1.3 实验设计

选取胎次相近、遗传基础一致的刚出生健康仔猪30头(雌雄各半),随机分为2组(对照组和大豆肽组),对照组仔猪断奶前常规补料,大豆肽组仔猪则补充基础日粮+2%大豆肽。参照美国国家研究委员会(National Research Council, NRC)(1998)猪营养需要量配制基础日粮,具体配方见表1。

实验前对猪舍进行全面清洗、消毒。封闭式圈舍,分栏饲养,固定饲喂次数、不限量,自由饮水,进行常规免疫。仔猪21日龄时一次性断奶。仔猪分别在21日龄与35日龄时分2次屠宰,宰前禁食12 h,每组随机取6头屠宰。

表1 基础日粮组成及营养水平

Table 1 Basal diet composition and nutrient levels

原料	质量分数/%	营养指标	水平
玉米	55.03	消化能	13.67 MJ/kg
豆粕	26.00	粗蛋白	20.03%
乳清粉	4.00	钙	0.95%
鱼粉	6.00	总磷	0.79%
小麦麸	3.00	赖氨酸	1.30%
豆油	2.10	蛋氨酸+胱氨酸	0.78%
碳酸钙	0.70		
磷酸氢钙	1.60		
食盐	0.30		
L-赖氨酸盐酸盐	0.19		
L-蛋氨酸	0.08		
预混料 ^a	1.00		

注: a. 预混料可为每千克全价料提供: VA 9 000 IU、VD₃ 1 000 IU、VE 12 IU、VK₃ 2.0 mg、VB₁ 1.2 mg、VB₂ 4.0 mg、VB₆ 0.2 mg、VB₁₂ 16.0 μg、泛酸钙 10.0 mg、胆碱 600 mg、烟酸 16.0 mg、叶酸 0.3 mg、生物素 0.06 mg、锰 100 mg、锌 100 mg、铜 20 mg、铁 100 mg、硒 0.3 mg、碘 0.3 mg。

1.4 样品采集

血样采集: 血样采自屠宰仔猪时的静脉血,于室温条件下放置,待血液凝固后,吸取上清液,4℃、3 000 r/min离心10 min,取上清液分装存于-20℃冰箱备测。

胃黏膜组织采集: 取胃底组织,经生理盐水漂洗后,液氮速冻后转到-80℃冰箱保存。刮取胃黏膜,用生理盐水1:10(V/V)稀释后匀浆,6 000 r/min离心30 min后取上清液,-20℃保存备用。

1.5 指标测定

1.5.1 胃食糜pH值的测定

参照付水广等^[10]方法,分别取21日龄与35日龄时分2次屠宰仔猪的胃部,以无菌法于冰面上收集胃食糜并将适量胃食糜装入离心管内,4℃、7 200×g离心25 min,用pH计测定上清液pH值。

1.5.2 血清中胃泌素含量的测定

采用放射免疫法测定仔猪血清中胃泌素的含量,操作过程全部按试剂盒说明书方法进行。

1.5.3 胃底组织中H⁺-K⁺-ATP酶和Na⁺-K⁺-ATP酶活性的测定

样本前处理: 准确称取仔猪胃黏膜组织100 mg放入1 mL裂解液中,冰上匀浆,12 000 r/min、4℃离心15 min,吸取上清液,弃去沉淀,二喹啉甲酸(bicinchoninic acid, BCA)法^[11]测定蛋白质含量。

采用定磷法^[12]测定ATP酶的活力,一个酶活力单位(U)定义为反应体系中1 h内ATP酶磷酸化释放磷的含量(mmol)。ATP酶活力的具体计算方法见下式。

$$\text{ATP酶活力}/(\text{U}/\text{mg pro}) = \frac{\text{实验组OD}_{600\text{nm}} - \text{对照组OD}_{600\text{nm}}}{\text{标准组OD}_{600\text{nm}} - \text{空白组OD}_{600\text{nm}}} \times \frac{\text{标准品ATP酶活力}/\text{U} \times 6 \times 7.8}{\text{待测样品蛋白质质量}/\text{mg}}$$

式中：空白组是以生理盐水替代胃黏膜组织；标准组是以ATP酶标准品替代胃黏膜组织；6、7.8均为计算系数。

1.5.4 胃蛋白酶总活性的测定

采用Folin-酚试剂法^[6]，以110%牛血红蛋白（分子质量为64 500 u）作底物，Folin试剂显色，用Backman分光光度计于680 nm波长处测定吸光度（ $A_{680\text{ nm}}$ ）。

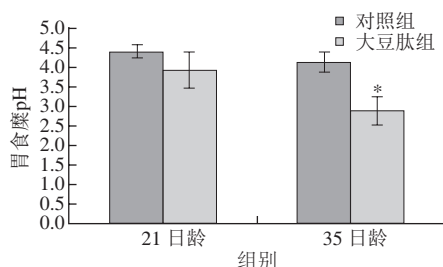
胃蛋白酶活性大小以1 g新鲜胃黏膜组织在30 ℃、pH 2.15条件下，1 min内牛血红蛋白经蛋白酶分解作用所产生的酪氨酸（ $\mu\text{g/mL}$ ）的量来表示。

1.6 数据统计分析

实验数据采用SPSS 16.0软件进行统计分析，差异显著性检验采用单因子方差分析（one way analysis of variance, one way ANOVA），进一步进行最小显著性差异法（least significant difference, LSD）检验。所有数值以 $\bar{x} \pm s_x$ 表示。

2 结果与分析

2.1 不同日龄断奶仔猪胃食糜pH值变化



*. 与21日龄对照组相比差异显著（ $P < 0.05$ ）。下同。

图1 不同日龄断奶仔猪胃食糜的pH值变化（ $n=6$ ）

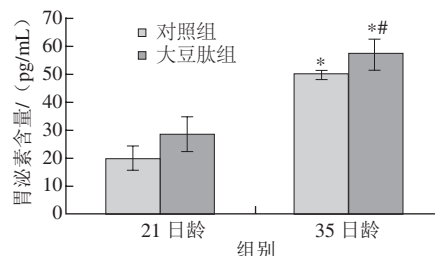
Fig.1 Comparison of pH in stomach chyme of weaning piglets of different ages ($n=6$)

由图1可知，21日龄刚断奶仔猪胃食糜pH值为 4.40 ± 0.17 ，35日龄仔猪胃食糜pH值则降为 4.15 ± 0.16 ，随着仔猪日龄的增加，胃食糜pH值稍有降低，但均高于成年猪胃食糜pH值。在日粮中添加2%大豆肽后，21日龄刚断奶仔猪胃食糜pH值为 3.94 ± 0.38 ，较对照组略有下降，断奶2周后（35日龄）仔猪胃食糜pH值降为 2.89 ± 0.06 ，接近成年猪的胃食糜pH值，且显著低于同日龄对照组（ $P < 0.05$ ）。21、35日龄断奶仔猪胃食糜pH值均低于对照组，表明在日粮中添加大豆肽可以改善断奶仔猪胃内的酸性环境。

2.2 大豆肽对断奶仔猪血清中胃泌素含量的影响

由图2可知，随着日龄的增加，仔猪血清中胃泌素含量均显著升高。同日龄仔猪间比较发现，在日粮中添加2%大豆肽后，仔猪血清中胃泌素含量均高于对照组，但在21日龄时差异不显著（对照组（ 19.56 ± 1.46 ） pg/mL 、大豆肽组

（ 28.60 ± 2.99 ） pg/mL ）（ $P > 0.05$ ），在35日龄时则表现为显著升高（对照组（ 50.02 ± 1.43 ） pg/mL 、大豆肽组（ 57.19 ± 2.41 ） pg/mL ）（ $P < 0.05$ ）。



#. 与35日龄对照组相比差异显著（ $P < 0.05$ ）。

图2 断奶仔猪血清中胃泌素含量比较（ $n=6$ ）

Fig.2 Comparison of serum gastrin contents in weaning piglets of different ages ($n=6$)

2.3 大豆肽对断奶仔猪胃底组织中ATP酶和胃蛋白酶活性的影响

表2 饲喂大豆肽对断奶仔猪ATP酶和胃蛋白酶活力的影响（ $n=6$ ）

Table 2 Effect of feeding soybean peptide on $\text{H}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$, $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ and pepsin activities in weaning piglets ($n=6$)

指标	组别	21日龄	35日龄
$\text{H}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力/ (U/mg pro)	对照组	7.05 ± 0.32	9.67 ± 1.52
	大豆肽组	8.15 ± 2.87	11.39 ± 1.83
$\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力/ (U/mg pro)	对照组	5.84 ± 0.02	3.76 ± 0.30
	大豆肽组	4.94 ± 0.03	4.44 ± 0.07
胃蛋白酶活力/IU	对照组	12.67 ± 0.17	12.79 ± 0.36
	大豆肽组	12.71 ± 0.22	14.03 ± 0.39

如表2所示，随着断奶仔猪日龄的增加，对照组和大豆肽组断奶仔猪胃底组织中 $\text{H}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 和胃蛋白酶的活性均有增加，同日龄仔猪间比较发现，饲喂2%大豆肽后，断奶仔猪胃底组织中 $\text{H}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 和胃蛋白酶的活性较对照组均有所升高，但差异均不显著（ $P > 0.05$ ）。断奶仔猪胃底组织中的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 的活性随着仔猪日龄的增加有降低，饲喂大豆肽的35日龄断奶仔猪胃底组织中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 的活性较对照组有所升高，但无显著性差异（ $P > 0.05$ ）。

3 讨论

由于断奶所产生一系列应激问题，使仔猪断奶后胃酸分泌能力减弱；同时仔猪失去母乳这一乳糖源，消化道内乳酸含量明显下降，因此仔猪胃内酸度在断奶后降低，胃液pH值升高^[5]。仔猪胃液pH值一般在3.5~5.5左右，而成年猪胃液的pH值为2.0左右，仔猪胃液pH值过高会导致胃中多种酶原（胃蛋白酶、凝乳酶及乳糖酶等）致活能力减弱，从而对饲料中各种养分的消化利用率降低；而且过高的胃肠pH值为病原菌（大肠杆菌、沙门氏

菌、葡萄球菌、梭菌等)的繁殖提供了适宜的环境;加之胃酸分泌不足引起胃排空加快,大量未经消化的饲料涌入小肠,进入后段消化道,致使大肠杆菌大量繁殖,引起仔猪腹泻^[8-9]。有效地促进仔猪断奶后胃酸分泌、提高其胃内酸度是降低仔猪腹泻、降低断奶应激发生的有效手段,也一直是畜牧业研究的热点。

植物源蛋白是猪的主要日粮,但就仔猪而言,因为植物蛋白消化率较低以及含有抗原物质,因此在使用前需经过加工来提高其应用价值^[10]。在集约化养猪生产过程中,利用植物源蛋白质生产具有生物活性的小肽制剂,可以降低植物蛋白中的抗原成分,从理论和实际应用上上可能是解决仔猪优质蛋白质原料缺乏、减轻或消除断奶仔猪应激综合征的有效途径^[13]。

先前对断奶仔猪的实验初步证实,在日粮中添加大豆蛋白酶解物能促进仔猪生长,并能够在一定程度上克服早期断乳应激反应对仔猪消化道的不良影响^[14],朱晓萍等^[15]的研究表明在日粮中添加酸化剂可降低仔猪胃内容物的pH值、提高胃蛋白酶活性,进而促进营养物质的消化吸收,减少仔猪腹泻的发生。张源淑等^[16]研究发现通过给早期断奶仔猪添喂乳蛋白活性肽,可促进仔猪胃酸分泌。潘翠玲等^[6]的研究发现大豆蛋白酶解物对21日龄早期断乳仔猪生长性能及消化道发育均有一定的改善作用。在本实验中,发现添喂一定量的大豆肽对21日龄和35日龄仔猪胃酸分泌均有改善作用,仔猪胃蛋白酶活性增加,说明在日粮中添加大豆蛋白酶解物能促进仔猪胃酸分泌,并能够在一定程度上克服早期断乳应激对仔猪消化道的不良影响。同时,35日龄断奶仔猪胃食糜的pH值降低幅度优于21日龄断奶仔猪,提示长期添喂大豆肽更能有效改善仔猪胃酸分泌和胃蛋白酶活性。本实验中,大豆肽组仔猪的胃酸分泌显著性增加,但胃蛋白酶活性与对照组相比却无显著差异,这可能是大豆肽组和对照组饲料蛋白水平的差异所造成的^[17]。

胃酸分泌主要受胃泌素及胃肠道中ATP酶的调节。 H^+-K^+-ATP 酶又名质子泵,它专一性地存在于壁细胞中,是胃酸分泌的分子基础,也是调控壁细胞分泌胃酸的最后通道^[18]。 H^+-K^+-ATP ase通过自身的磷酸化和去磷酸化,将细胞外的 K^+ 转入细胞内,同时逆浓度梯度将细胞内的 H^+ 泵出细胞外,完成 H^+/K^+ 电中性跨膜离子转运和胃酸分泌功能^[19]。 Na^+-K^+-ATP ase又称为钠钾泵,也是通过自身的磷酸化和去磷酸化在胃酸分泌过程中通过维持细胞中正常的渗透压和稳态^[20]。胃泌素又称为促胃液素,是由G细胞分泌的一种胃肠激素,主要刺激壁细胞分泌盐酸,也有轻微地刺激主细胞分泌胃蛋白酶原等作用^[21]。冷向军等^[22]的研究表明饲料中添加组胺可刺激仔猪胃酸分泌,显著改善早期断奶仔猪的生产性能;张源淑^[23-24]和高维东^[25]等研究发现饲喂酪啡肽可以促进断奶仔猪的胃酸分泌,其机制是通过上调胃泌素mRNA的基因表达使胃泌素分泌增加。本实验通过在基础日粮中添加

大豆肽,发现断奶仔猪胃液pH值降低;两周后,35日龄仔猪胃酸分泌能力增强,仔猪胃液pH值降为 2.89 ± 0.06 ,且与同龄对照组相比差异显著。通过检测参与胃酸分泌相关指标胃泌素活力以及 H^+-K^+-ATP 酶和 Na^+-K^+-ATP 酶活力发现,大豆肽组仔猪胃底黏膜组织中 H^+-K^+-ATP 酶和 Na^+-K^+-ATP 酶活性与对照组无明显差异,但血清中胃泌素水平显著升高,提示大豆肽促进胃酸分泌不是通过 H^+-K^+-ATP/Na^+-K^+-ATP 酶活力通路实现的,可能是通过促进胃泌素分泌直接作用于壁细胞引起的,其详细机理还有待深入研究。

参考文献:

- [1] CHANG C Y, WU K C, CHIANG S H. Antioxidant properties and protein compositions of porcine haemoglobin hydrolysates[J]. Food Chemistry, 2007, 100: 1537-1543.
- [2] 李文, 陈复生, 丁长河, 等. 大豆肽生理功能的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 360-362; 367.
- [3] 卢静, 赵春燕, 张学新, 等. 大豆肽对大鼠血压及血浆血管紧张素的影响[J]. 营养学报, 2008, 30(5): 508-511.
- [4] LIN Feng, CHEN Liang, LIANG Rui, et al. Pilot-scale production of low molecular weight peptides from corn wet milling byproducts and the antihypertensive effects *in vivo* and *in vitro*[J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 801-807.
- [5] FORDTRAN J S, WALSH J H. Gastric acid secretion rate and buffer content of the stomach after eating. Results in normal subjects and in patients with duodenal ulcer[J]. Journal of Clinical Investigation, 1973, 52(3): 645-657.
- [6] 潘翠玲, 陈伟华, 邹思湘, 等. 大豆蛋白酶解物对21日龄早期断乳仔猪消化道发育的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(7): 27-36.
- [7] 左伟勇, 孟婷, 郭成东, 等. 伴大豆球蛋白水解肽体外抑菌活性试验[J]. 中国兽医杂志, 2011, 47(7): 73-74.
- [8] LU P J, HSU P I, CHEN C H, et al. Gastric juice acidity in upper gastrointestinal diseases[J]. World Journal of Gastroenterology, 2010, 16(43): 5496-5501.
- [9] 王吉庄, 钟芳, 王璋. 高水解度大豆肽的制备[J]. 食品工业科技, 2003, 24(9): 40-42.
- [10] 付水广, 王自蕊, 游金明, 等. 复合酶制剂对断奶仔猪生长性能和养分消化率的影响研究[J]. 饲料工业, 2010, 31(7): 40-42.
- [11] 赵晓燕, 陈复生, 薛文通. BCA法在反胶束萃取大豆蛋白中的应用[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(5): 71-74.
- [12] 左伟勇, 洪伟鸣, 陈高, 等. 低分子量大豆肽对断奶仔猪肠道免疫功能的影响[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(5): 108-112.
- [13] MEDEL M A, LATORRE C, BLAS C D, et al. Processed cereals in diets for early-weaned piglets[J]. Animal Feed Science and Technology, 1999, 82: 145-156.
- [14] 潘翠玲, 陈伟华, 邹思湘. 大豆蛋白酶解物对21日龄早期断乳仔猪生长性能及内分泌水平的影响[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(3): 69-72.
- [15] 朱晓萍, 张德福. 几种酸化剂对断级仔猪胃酸分泌, 胃肠道消化酶活性和微生物菌群的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2007(3): 31-34.
- [16] 张源淑, 邹思湘, 陈伟华. 酪啡肽对21日龄断奶仔猪胃酸分泌的影响[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(3): 269-272.
- [17] 谢国骊, 蔡永祥, 徐维娜, 等. 饲料蛋白水平对日本沼虾生长、消化酶和免疫酶的影响[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(6): 612-617.
- [18] 杨琳, 张宏福, 李长忠, 等. 不同断奶日龄仔猪消化道酸度和胃蛋白酶活性的动态变化[J]. 畜牧兽医学报, 2001, 32(4): 299-305.
- [19] FORTE J G, ZHU L. Apical recycling of the gastric parietal cell H^+ , K^+-ATP ase[J]. Annual Review of Physiology, 2010, 72: 273-296.
- [20] 林玲. 大鼠心肌HSP70、自由基代谢和 Na^+-K^+-ATP ase活性对有氧耐力运动的应答性和适应性变化[D]. 广州: 华南师范大学, 2003: 21-23.
- [21] 冷向军, 王康宁, 杨凤, 等. 酸化剂对早期断奶仔猪胃酸分泌, 消化酶活性和肠道微生物的影响[J]. 动物营养学报, 2002, 14(4): 44-48.
- [22] 冷向军, 王康宁, 杨凤, 等. 添加组胺对早期断奶仔猪胃酸分泌, 消化酶活性和肠道微生物的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(3): 324-328.
- [23] 张源淑, 邹思湘, 赵茹茜, 等. 乳源活性肽对早期断奶仔猪胃泌素mRNA表达的影响[J]. 农业生物技术学报, 2004, 12(1): 61-65.
- [24] 张源淑, 钟海涛, 邹思湘, 等. 酪蛋白酶解产生 β -Casomorphin-7样物质的ELISA检测[J]. 中国乳品工业, 2001, 29(5): 33-36.
- [25] 高维东, 纪银莉, 孙文静, 等. 乳源酪啡肽制备及其分离纯化的研究进展[J]. 食品工业, 2014, 35(2): 213-215.