



青岛诺安百特生物技术有限公司
QINGDAO PHAGEPHARM BIO-TECH CO.,LTD

诺安百特——专注噬菌体研发与产业化

电话: (0532) 55520108

噬菌体和抗菌肽对 断奶仔猪生长性能、粪便 微生物及血清免疫指标的影响

贺永超^{1,2} 葛龙^{1,2} 王军²

石永顺² 孙晓玉¹ 陈超² 刘建兴² 潘强^{2*}

(1.北京诺安百特生物技术有限责任公司,
北京 100176; 2.青岛诺安百特生物技术有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 试验旨在研究噬菌体和抗菌肽对断奶仔猪生长性能、粪便微生物及血清免疫指标的影响。选取28日龄断奶仔猪168头, 随机分为7组, 每组4个重复, 每个重复6头猪, 空白对照组为基础日粮, 试验组分别添加800 g/t噬菌体、800 g/t抗菌肽、400 g/t噬菌体+400 g/t抗菌肽、400 g/t噬菌体+200 g/t抗菌肽、200 g/t噬菌体+400 g/t抗菌肽和200 g/t噬菌体+200 g/t抗菌肽。试验期33 d。结果显示: 试验组1、试验组2、试验组3、试验组4和试验组5仔猪料重比显著低于空白对照组 ($P<0.05$); 试验组仔猪的腹泻率均显著低于空白对照组 ($P<0.05$)。试验组1、试验组2、试验组3、试验组4和试验组5仔猪粪便乳酸菌数量显著高于空白对照组 ($P<0.05$), 沙门氏菌数量显著低于空白对照组 ($P<0.05$); 试验组仔猪的粪便大肠杆菌数量均显著低于空白对照组 ($P<0.05$)。试验组1、试验组2、试验组3、试验组4和试验组5仔猪血清免疫球蛋白A (IgA) 含量显著高于空白对照组 ($P<0.05$); 试验组仔猪血清免疫球蛋白G (IgG) 和白细胞介素-2 (IL-2) 含量显著低于空白对照组 ($P<0.05$)。研究表明, 噬菌体和抗菌肽均能够降低断奶仔猪料重比、腹泻率和粪便中大肠杆菌、沙门氏菌数量, 提高粪便中乳酸菌数量, 提高仔猪免疫力, 两者联合使用效果较好, 且400 g/t噬菌体+200 g/t抗菌肽是比较合适的用量。

关键词: 噬菌体; 抗菌肽; 断奶仔猪; 生长性能; 粪便微生物; 免疫指标

中图分类号: S 828

文献标识码: A

文章编号: 1002-2813 (2022) 14-0129-04

Doi: 10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2022.14.028

Effect of bacteriophages and antimicrobial peptides on growth performance, fecal microbes and serum immune indexes of weaned piglets

HE Yong-chao GE Long WANG Jun

SHI Yong-shun SUN Xiao-yu CHEN Chao LIU Jian-xing PAN Qiang

Abstract: The experiment was to investigate the effect of bacteriophages and antimicrobial peptides on growth performance, fecal microbes and serum immune indexes of weaned piglets. A total of 168 piglets weaned at 28 d of age were randomly divided into seven groups, with four replicates in each group and six pigs in each replicate. Six test groups were supplemented with 800 g/t phage, 800 g/t antimicrobial peptide, 400 g/t phage +400 g/t antimicrobial peptide, 400 g/t phage +200 g/t antimicrobial peptide, 200 g/t phage +400 g/t antimicrobial peptide and 200 g/t bacteriophage +200 g/t antimicrobial peptide, respectively. The experiment lasted for 33 d. The results showed that the feed to gain ratio of piglets in group 1, group 2, group 3, group 4 and group 5 was significantly lower than that in blank control group ($P<0.05$). The diarrhea rate of twst group was significantly lower than that of blank control group ($P<0.05$). Fecal *Lactobacillus* number of piglets in group 1, group 2, group 3, group 4 and group 5 was significantly higher than that in blank control group ($P<0.05$), and *Salmonella* number was significantly lower than that in blank control group ($P<0.05$). The number of fecal *Escherichia coli* in test group was significantly lower than that in blank control group ($P<0.05$). The content of IgA in serum of group 1, group 2, group 3, group 4 and group 5 was significantly higher than that of blank control group ($P<0.05$). The content of IgG and IL-2 in serum of test group were significantly lower than those of blank control group ($P<0.05$). The experiment indicates that both phage and antimicrobial peptides can reduce feed to gain ratio, diarrhea rate and the number of *Escherichia coli* and *Salmonella* in feces of weaned piglets, increase the

第一作者: 贺永超, 大学, 研究方向为动物营养。

通信作者: 潘强, 博士, 教授。

收稿日期: 2022-04-01

increase the

number of *Lactobacillus* in feces, improve the immunity of piglets. The combination of two is better, and 400 g/t phage + 200 g/t antimicrobial peptides is the appropriate dosage.

Key words: phage; antimicrobial peptide; weaned piglet; growth performance; fecal microorganism; immune indexes

仔猪腹泻是猪养殖中常见的问题之一。由于需要考虑母猪的生产效率,目前仔猪断奶时间较早(24日龄或21日龄),但这个时期仔猪的消化系统和免疫系统均未发育完全,又没有母源抗体的摄入,导致仔猪抵抗力差,引起仔猪消化不良和腹泻,严重时甚至导致死亡,从而影响经济效益^[1-4]。根据病原体不同,引起仔猪腹泻的原因有细菌性腹泻、病毒性腹泻和营养性腹泻等,但病毒性腹泻和营养性腹泻一般会继发细菌性感染(大肠杆菌感染居多)。科学的饲养管理和合理的营养配方可以提高仔猪抵抗力,减少应激,从而降低病毒性腹泻和营养性腹泻。

在饲料中添加抗生素是解决细菌性腹泻最有效的方式^[5-6],但自2020年7月1日起,饲料生产企业停止生产含有促生长类药物饲料添加剂(中药类除外)的商品饲料。因此,需要寻找抗生素替代品,解决仔猪腹泻问题。大肠杆菌(黄、白痢)、魏氏梭菌(红痢)和沙门氏菌(副伤寒)是造成仔猪腹泻最常见的细菌。本试验选取对这3类细菌具有明显效果的噬菌体和抗菌肽产品,通过不同添加量和组合,为预防仔猪腹泻提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

复合噬菌体制剂(NAYK)为大肠杆菌噬菌体、沙门氏菌噬菌体和魏氏梭菌噬菌体的复合制剂,噬菌体总效价为10亿PFU/g,由青岛诺安百特生物技术有限公司提供。

抗菌肽颖泰二号(AMP),由中农颖泰林州生物科技园有限公司提供,主要针对革兰氏阴性菌(大肠杆菌、沙门氏菌等)。

试验动物为“杜×长×大”28日龄仔猪(21日龄断奶,教槽至27日龄)。

白细胞介素-2(IL-2)、白细胞介素-6(IL-6)和免疫球蛋白G(IgG)、免疫球蛋白M(IgM)、免疫球蛋白A(IgA)ELISA Kit试剂盒均购自武汉赛培生物科技有限公司。麦康凯、亚硫酸铋和LBS培养基均购自青岛高科园海博生物技术有限公司。

1.2 试验设计

试验在山东省泰安市伟农养殖场进行,试验时间为2021年11月20日至2021年12月22日,共33 d。选取体重约为7.9 kg、健康的仔猪168头(公、母各半),随机分为7组,每组4个重复,每个重复6头猪。对照组饲喂基础日粮,试验组1~试验组6分别添加不同剂量的噬菌体和抗菌肽,试验设计见表1。

仔猪自由采食饮水,保育浓缩料购自济南欧维普乐动物营养品有限公司,商品名为:普乐4060。基础日粮组成及营养水平见表2。

表1 试验设计

组别	日粮	单位:g/t	
		NAYK	AMP
对照组	基础日粮	0	0
试验组1	基础日粮	800	0
试验组2	基础日粮	0	800
试验组3	基础日粮	400	400
试验组4	基础日粮	400	200
试验组5	基础日粮	200	400
试验组6	基础日粮	200	200

表2 基础日粮组成及营养水平

原料组成	含量/%	营养水平	
玉米	60	消化能/(MJ/kg)	14.45
浓缩料	40	粗蛋白/%	19.66
		钙/%	0.75
		总磷/%	0.63
		赖氨酸/%	1.30
		蛋氨酸/%	0.51
		苏氨酸/%	0.88
		色氨酸/%	0.25
合计	100		

注:营养水平中粗蛋白为实测值,其余均为计算值。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能

在试验开始前和第33 d早上,仔猪空腹称重,记录各组仔猪初重、末重,计算平均日增重(ADG)。试验期间每天记录每组仔猪的投料量、余料量以及仔猪数,计算各组仔猪的平均日采食量(ADFI),每天记录腹泻仔猪头数和腹泻天数,计算腹泻率。

$$ADG = (\text{末重} - \text{初重}) / (\text{试验天数} \times \text{仔猪数}) \quad (1)$$

$$ADFI = (\text{投料量} - \text{余料量}) / (\text{试验天数} \times \text{仔猪数}) \quad (2)$$

$$\text{料重比}(F/G) = \text{平均日采食量} / \text{平均日增重} \quad (3)$$

$$\text{腹泻率} = [\text{仔猪腹泻数} / (\text{试验天数} \times \text{仔猪数})] \times 100\% \quad (4)$$

1.3.2 粪便微生物指标

试验结束时,收集粪便,测定每克仔猪粪便中的乳酸菌、大肠杆菌和沙门氏菌的数量,按康丽慧等^[7]和杨玲等^[8]方法进行试验。试验结束时,各组中取1 g新鲜粪便,在超净工作台取0.1 g,加入0.9 mL生理盐水稀释,振荡均匀,得 1×10^{-1} 稀释液,记为N1,依次取0.1 mL稀释液加入0.9 mL生理盐水,逐步稀释至 1×10^{-7} 倍,依次记为:N2、N3、N4、N5、N6、N7。

选择 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-7}$ 倍三级稀释液均匀涂板在麦康凯培养基(大肠杆菌选择性培养基)上,封口,37℃生化培养箱中培养约18 h。选择 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5}$ 倍三级稀释液均

匀涂板在亚硫酸铋固体培养基（沙门氏菌选择性培养基）上，封口，37℃生化培养箱中培养约42 h。选择 1×10^{-5} ~ 1×10^{-7} 倍三级稀释液均匀涂板在LBS固体培养基（乳酸菌选择性培养基）上，封口，37℃生化培养箱中培养约38 h。

在麦康凯培养基上选择红色或粉红色、表面光滑、凸起、不透明、质地软、边缘整齐的菌落进行大肠杆菌计数。在亚硫酸铋固体培养基上选择黑色或灰绿色、有金属光泽的菌落进行沙门氏菌计数。在固体培养基上选择乳白色或白色、表面光滑、凸起、不透明、质地软、边缘整齐的菌落进行乳酸菌计数。读取30~300间菌落数为有效数据，取平均数（ M ），根据稀释倍数，换算活菌数。

$$S = M \times 10^x \quad (5)$$

式中： S 为活菌数； M 为有效平板菌落平均数； x 为稀释倍数。

1.3.3 血清免疫指标

试验结束后，每组随机抽取6头断奶仔猪，使用一次性静脉采血针和促凝真空采血管前腔静脉采血，离心分离血清，按照李陇梅^[9]方法测定仔猪IgA、IgG、IgM、IL-2

和IL-6含量，均采用ELISA方法按照试剂盒说明进行。

1.4 数据统计与分析

试验数据采用Excel 2007进行初步处理，SPSS 17.0软件进行统计分析，Duncan's法进行多重比较。结果以“平均值±标准差”表示， $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 噬菌体和抗菌肽对仔猪生长性能和腹泻率的影响（见表3）

由表3可知，试验组1、试验组3和试验组4仔猪的末重比对照组分别提高了5.17%、6.54%和6.16%（ $P < 0.05$ ）。试验组1、试验组2、试验组3、试验组4和试验组5的仔猪平均日增重比对照组分别提高了8.71%、6.89%、10.67%、10.17%和7.59%（ $P < 0.05$ ）。试验组1、试验组2、试验组3、试验组4和试验组5比对照组分别降低了7.06%、5.29%、8.24%、6.47%和4.71%（ $P < 0.05$ ）。各试验组仔猪的腹泻率比对照组分别降低了56.02%、52.79%、68.00%、64.01%、60.01%和41.57%（ $P < 0.05$ ）。各组平均日采食量差异不显著（ $P > 0.05$ ）。

表3 噬菌体和抗菌肽对仔猪生长性能和腹泻率的影响

组别	初重/kg	末重/kg	平均日增重/[g/(头·d)]	平均日采食量/[g/(头·d)]	料重比	腹泻率/%
对照组	7.93 ± 0.77	21.09 ± 1.57 ^b	398.98 ± 26.17 ^c	678.27 ± 25.35	1.70 ± 0.12 ^a	15.78 ± 1.55 ^a
试验组1	7.87 ± 0.59	22.18 ± 1.05 ^a	433.74 ± 15.21 ^a	685.31 ± 16.71	1.58 ± 0.06 ^c	6.94 ± 0.86 ^{cd}
试验组2	7.89 ± 0.76	21.96 ± 0.95 ^b	426.45 ± 17.15 ^{ab}	686.59 ± 19.17	1.61 ± 0.08 ^c	7.45 ± 0.81 ^c
试验组3	7.90 ± 0.92	22.47 ± 1.16 ^a	441.54 ± 13.87 ^a	688.81 ± 29.28	1.56 ± 0.06 ^c	5.05 ± 0.65 ^e
试验组4	7.88 ± 0.68	22.39 ± 0.88 ^a	439.57 ± 12.61 ^a	698.92 ± 18.26	1.59 ± 0.05 ^c	5.68 ± 0.72 ^{de}
试验组5	7.91 ± 0.75	22.08 ± 0.93 ^b	429.25 ± 17.37 ^a	695.39 ± 21.89	1.62 ± 0.11 ^{bc}	7.32 ± 0.57 ^c
试验组6	7.92 ± 0.56	21.35 ± 1.08 ^b	406.83 ± 20.45 ^{bc}	675.34 ± 27.11	1.66 ± 0.13 ^{ab}	9.22 ± 1.92 ^b

注：同列数据肩标不同字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ），相同字母或无字母表示差异不显著（ $P > 0.05$ ）；下表同。

2.2 噬菌体和抗菌肽对仔猪血清免疫指标的影响（见表4）

由表4可知，试验组1、试验组2、试验组3、试验组4和试验组5仔猪血清IgA含量比对照组分别提高了23.58%、26.83%、30.89%、24.39%和26.02%（ $P < 0.05$ ）。

各试验组仔猪血清IgG含量比对照组分别提高了21.75%、23.70%、22.40%、19.48%、22.08%和13.64%（ $P < 0.05$ ）；血清IL-2含量比对照组分别提高了16.16%、12.91%、14.03%、11.88%、10.39%和7.38%（ $P < 0.05$ ）。各组IgM、IL-6含量差异均不显著（ $P > 0.05$ ）。

表4 噬菌体和抗菌肽对仔猪血清免疫指标的影响

组别	IgA/(g/L)	IgG/(g/L)	IgM/(g/L)	IL-2/(ng/L)	IL-6/(ng/L)
对照组	1.23 ± 0.15 ^b	3.08 ± 0.67 ^c	0.55 ± 0.11	150.78 ± 8.15 ^c	53.65 ± 8.37
试验组1	1.52 ± 0.19 ^a	3.75 ± 0.78 ^a	0.58 ± 0.09	175.15 ± 6.62 ^a	57.16 ± 5.11
试验组2	1.56 ± 0.13 ^a	3.81 ± 0.45 ^a	0.59 ± 0.06	170.25 ± 5.05 ^a	56.58 ± 6.22
试验组3	1.61 ± 0.20 ^a	3.77 ± 0.61 ^a	0.60 ± 0.07	171.93 ± 7.13 ^a	59.65 ± 8.35
试验组4	1.53 ± 0.15 ^a	3.68 ± 0.37 ^{ab}	0.58 ± 0.08	168.69 ± 8.26 ^{ab}	57.70 ± 5.18
试验组5	1.55 ± 0.23 ^a	3.76 ± 0.45 ^a	0.57 ± 0.11	166.45 ± 7.78 ^{ab}	56.06 ± 6.12
试验组6	1.31 ± 0.16 ^b	3.50 ± 0.38 ^b	0.55 ± 0.09	161.91 ± 8.10 ^b	55.02 ± 5.56

2.3 噬菌体和抗菌肽对仔猪粪便微生物的影响（见表5）

由表5可知，试验组1、试验组2、试验组3、试验组4和试验组5仔猪粪便乳酸菌数量显著高于对照组（ $P < 0.05$ ）。6个试验组仔猪粪便中大肠杆菌数量均显著低

于对照组（ $P < 0.05$ ）。6个试验组仔猪粪便中沙门氏菌数量比对照组均有所降低，其中试验组1、试验组2、试验组3、试验组4和试验组5仔猪粪便中沙门氏菌数量显著低于对照组（ $P < 0.05$ ）。

表5 噬菌体和抗菌肽对断奶仔猪粪便

微生物数量的影响 单位: lgCFU/g

组别	乳酸菌	大肠杆菌	沙门氏菌
空白对照组	7.06 ± 0.46 ^c	8.27 ± 0.51 ^a	4.57 ± 0.29 ^a
试验组1	8.20 ± 0.38 ^a	7.15 ± 0.39 ^c	3.25 ± 0.28 ^c
试验组2	7.93 ± 0.57 ^{ab}	7.09 ± 0.22 ^c	3.75 ± 0.17 ^b
试验组3	8.37 ± 0.21 ^a	7.11 ± 0.25 ^c	3.28 ± 0.23 ^c
试验组4	8.18 ± 0.30 ^a	7.28 ± 0.37 ^{bc}	3.40 ± 0.19 ^{bc}
试验组5	7.82 ± 0.45 ^{ab}	7.26 ± 0.41 ^c	3.78 ± 0.25 ^b
试验组6	7.39 ± 0.37 ^{bc}	7.76 ± 0.29 ^b	4.11 ± 0.26 ^{ab}

3 讨论

3.1 噬菌体和抗菌肽对仔猪生长性能的影响

Kim 等^[10]和 Hosseindoust 等^[11]研究发现, 日粮添加噬菌体后, 仔猪平均日增重和饲料消化率均有所提高。孙雪梅等^[1]和卜艳玲等^[12]研究发现, 日粮中添加抗菌肽制剂后, 仔猪的料重比和腹泻率显著降低。本试验表明, 添加一定剂量的噬菌体、抗菌肽或是噬菌体和抗菌肽的复合制剂后, 仔猪的平均日增重显著增加, 料重比和腹泻率均显著降低。噬菌体和抗菌肽均能够抑制肠道有害微生物生长, 使肠道环境更利于有益微生物繁殖, 从而降低仔猪腹泻发生; 有益菌繁殖可产生更多消化酶, 提高饲料报酬, 与李雪莉^[13]和陈历^[14]的结果相似。本试验发现, 噬菌体与抗菌肽联合使用均具有明显的增效表现, 试验组3 (噬菌体400 g/t+抗菌肽400 g/t) 的效果最好, 但需要考虑降低成本, 故试验组4 (噬菌体400 g/t+抗菌肽200 g/t) 是较好的选择。

3.2 噬菌体和抗菌肽对仔猪血清免疫指标的影响

血清中 IgA 主要参与局部黏膜免疫, IgG 主要介导抗感染免疫, IgM 是初次体液免疫应答中最早出现的抗体, 具有很强的杀菌功能。3种免疫球蛋白在介导体液免疫过程中起重要作用, 是评价免疫机能的重要指标^[15]。IL-2 可调节单核巨噬细胞和 B 细胞活性^[16], IL-6 能够促进 B 细胞分化和增值^[17], 两者均是免疫系统中重要的细胞因子。本试验表明, 日粮中加入一定剂量的噬菌体、抗菌肽或其混合制剂, 仔猪血清 IgA、IgG 和 IL-2 含量均显著高于对照组, 与李陇梅^[9]和蒋翔等^[18]结果一致。

3.3 噬菌体和抗菌肽对断奶仔猪粪便微生物数量的影响

本试验中使用的噬菌体主要含大肠杆菌、沙门氏菌和魏氏梭菌3类菌的噬菌体, 具有明显的裂解作用; 抗菌肽也对大肠杆菌和沙门氏菌具有明显的抑制作用。本试验表明, 添加一定剂量噬菌体、抗菌肽或其组合, 仔猪粪便中的乳酸菌含量显著升高, 大肠杆菌和沙门氏菌数量显著降低, 与李陇梅^[9]和李平等^[19]研究结论相似, 也与杨玲等^[8]的结论相似。因此, 噬菌体和抗菌肽对降低有害菌、提高有益菌数量均具有较好的效果, 两者联用效果更好。在本试验条件下, 试验组1 (噬菌体800 g/t) 和试验组3 (噬菌体400 g/t+抗菌肽400 g/t) 效果最突出, 试验组4

(噬菌体400 g/t+抗菌肽200 g/t) 性价比最高。

4 结论

本试验条件下, 仔猪基础日粮中添加400 g/t噬菌体+400 g/t抗菌肽效果最好, 添加400 g/t噬菌体+200 g/t抗菌肽性价比最高, 可作为最适添加剂量。

参考文献

- [1] 孙雪梅, 梁伟凡, 陈春萍, 等. 天蚕素抗菌体替代硫酸粘杆菌素对断奶仔猪生长性能及腹泻的影响[J]. 饲料工业, 2017, 38(4): 12-15.
- [2] 李吉祥. 早期断奶仔猪日粮中添加酶制剂、微生态制剂的效果研究与推广[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
- [3] 杨泰, 王慧, 宁维, 等. 不同水平 N-氨甲酰谷氨酸对断奶仔猪生长性能及血清生化指标的影响[J]. 中国饲料, 2017(23): 20-24.
- [4] 陈瑞芳, 樊爱斌. 鞣酸对断奶仔猪生长性能、肠道形态及免疫反应的影响[J]. 中国饲料, 2020(12): 36-39.
- [5] 徐博成, 李智, 汪以真, 等. 抗菌肽对仔猪生长性能、腹泻率和免疫球蛋白水平影响的 Meta 分析[J]. 动物营养学报, 2020, 32(8): 3584-3593.
- [6] 隋明静, 陈小风, 吴峰, 等. 天然植物提取复方制剂对断奶仔猪生长性能、营养物质表观消化率及免疫力的影响[J]. 饲料研究, 2020, 43(8): 46-50.
- [7] 康丽慧, 黄亚明, 刘兴友, 等. 无抗生素发酵饲料对仔猪生长性能和粪便微生物的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(6): 177-179.
- [8] 杨玲, 欧阳富龙, 袁旭鹏, 等. 饲料中添加复合益生菌对断奶仔猪生长性能、粪便微生物及血液生化指标的影响[J]. 中国饲料, 2018(11): 49-54.
- [9] 李陇梅. 抗菌肽对断奶仔猪生长性能、免疫机能及粪便微生物菌群的影响[J]. 中国饲料, 2020(15): 45-48.
- [10] Kim J S, Hosseindoust A, Lee S H, et al. Bacteriophage cocktail and multi-strain probiotics in the feed for weanling pigs: Effects on intestine morphology and targeted intestinal coliforms and *Clostridium*[J]. Animal, 2017, 11(1): 45-53.
- [11] Hosseindoust A R, Lee S H, Kim J S, et al. Productive performance of weanling piglets was improved by administration of a mixture of bacteriophages, targeted to control coliforms and *Clostridium* spp. shedding in a challenging environment[J]. Plant and Soil, 2017, 417(1/2): e98-e107.
- [12] 卜艳玲, 陈静, 李建涛, 等. 饲料中添加肠杆菌肽对断奶仔猪生产性能和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(2): 696-706.
- [13] 李雪莉. 植物乳杆菌制剂对断奶仔猪生长性能和肠道微生物生态的影响及猪源乳酸菌的分离与鉴定[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [14] 陈历. 抗菌肽与酸化剂及其组合对断奶仔猪生长性能的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2019.
- [15] 张召兴. 复方中草药超微粉防治鸡致病性大肠杆菌病的研究[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2017.
- [16] 易晓菲. 乳酸菌和酵母菌的复合培养物对肉鸡的生产性能和免疫功能的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.
- [17] 宋丽霞. 沙葱多糖对肉羊免疫和抗氧化机能影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [18] 蒋翔, 李锦强. 抗菌肽对断奶仔猪生长性能、腹泻率、抗氧化性及免疫功能的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44(14): 42-45.
- [19] 李平, 孙玉龙, 廖吉林. 抗菌肽对断奶仔猪生长性能、养分消化率、肠道微生物含量及绒毛结构的影响[J]. 中国饲料, 2019(8): 68-72.