

李方方, 王卓琳, 赵禹轩, 等. 地衣芽孢杆菌在肉兔生产上的应用研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(6): 736-742.

LI Fangfang, WANG Zhuolin, ZHAO Yuxuan, et al. Studies on the application of *Bacillus licheniformis* in the production of meat rabbits[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(6): 736-742.

## 地衣芽孢杆菌在肉兔生产上的应用研究

李方方, 王卓琳, 赵禹轩, 潘泰典, 杨凯, 朱宇旌

(沈阳农业大学 动物科学与医学学院, 沈阳 110161)

**摘要:** 研究饲料中地衣芽孢杆菌 (*Bacillus licheniformis*) 水平对肉兔生长性能、养分表观消化率、血液生化指标、消化道酶活性和十二指肠组织形态的影响。采用单因素完全随机设计, 选用 (35±2) 日龄健康、体重相近、公母各半的伊拉肉兔 120 只, 随机分为 4 个处理组, 每组 5 个重复, 每个重复 6 只肉兔。对照组饲喂基础饲料, 试验组在饲喂基础饲料基础上分别添加 70, 140, 210 g·t<sup>-1</sup> 地衣芽孢杆菌。预试期 7 d, 正试期 35 d。试验结果表明: 与对照组相比, 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著提高肉兔末重 ( $p<0.05$ ), 140 g·t<sup>-1</sup> 和 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著降低料重比 ( $p<0.05$ )。与对照组、70 g·t<sup>-1</sup> 处理、140 g·t<sup>-1</sup> 处理相比, 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著提高肉兔平均日增重 ( $p<0.05$ ); 210 g·t<sup>-1</sup> 处理肉兔的死亡率最低。与对照组相比, 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著提高肉兔对饲料中粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和总能的表观消化率 ( $p<0.05$ )。与对照组和 70 g·t<sup>-1</sup> 处理相比, 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著降低肉兔血糖浓度 ( $p<0.05$ ); 与对照组相比, 140 g·t<sup>-1</sup> 和 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著降低血清尿素氮浓度 ( $p<0.05$ ), 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著提高总蛋白、白蛋白、球蛋白浓度 ( $p<0.05$ )。与对照组和 70 g·t<sup>-1</sup> 处理相比, 140 g·t<sup>-1</sup> 和 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著提高肉兔空肠脂肪酶活性 ( $p<0.05$ ), 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著提高回肠淀粉酶活性 ( $p<0.05$ ); 与对照组、70 g·t<sup>-1</sup> 处理、140 g·t<sup>-1</sup> 处理相比, 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著提高回肠脂肪酶和胰蛋白酶活性 ( $p<0.05$ )。与对照组相比, 210 g·t<sup>-1</sup> 处理显著增加肉兔十二指肠绒毛长度并提高绒隐比 ( $p<0.05$ )。综上所述, 饲料中添加地衣芽孢杆菌可以提高肉兔末重、饲料转化率等生长性能, 改善养分表观消化率, 提高蛋白等血液生化指标和消化道酶活性, 促进肠道发育。在本试验条件下, 地衣芽孢杆菌适宜添加水平为 210 g·t<sup>-1</sup>。

**关键词:** 肉兔; 地衣芽孢杆菌; 生长性能

中图分类号: S829.1

文章编号: 1000-1700(2024)06-0736-07

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Studies on the Application of *Bacillus licheniformis* in the Production of Meat Rabbits

LI Fangfang, WANG Zhuolin, ZHAO Yuxuan, PAN Taidian, YANG Kai, ZHU Yujing

(College of Animal Science and Medicine, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to study the effects of dietary *Bacillus licheniformis* levels on growth performance, nutrient apparent digestibility, blood biochemical indices, digestive enzyme activity and intestinal development of meat rabbits. A total of 120 (35±2) -day-old Hyla meat rabbits (1/2 female) with good body condition and similar body weight were randomly divided into 4 groups with 5 replicates per group and 6 per replicate. Rabbits in the control group were fed a basal diet. Rabbits in the other groups were fed the basal diet supplemented respectively with 70, 140 and 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis*. The pre-trial period lasted for 7 days, the formal trial period lasted for 35 days. The results showed as follows: 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly increased the final weight of meat rabbits ( $p<0.05$ ) compared with the control group, 140 and 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly decreased the ratio of feed to gain ( $p<0.05$ ). 70,

收稿日期: 2023-04-25

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项项目 (CARS-43-B-4)

第一作者: 李方方 (1982-), 女, 博士, 副教授, 从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: lffsyau@syau.edu.cn

140 and 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly increased average daily gain ( $p<0.05$ ). The mortality rate of 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* rabbits was the lowest. 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly increased the apparent digestibility of crude protein, crude fat, crude fiber and total energy ( $p<0.05$ ) compared with the control group. 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly decreased *Bacillus licheniformis* blood glucose concentration ( $p<0.05$ ) compared with control group and 70 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis*. Compared with control group, 140 and 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly decreased urea nitrogen concentration ( $p<0.05$ ). 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly increased the concentration of total protein, albumin and globulin ( $p<0.05$ ). Compared with control and 70 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* groups, 140 and 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly increased the lipase activity in jejunum ( $p<0.05$ ), 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly increased the amylase activity in ileum ( $p<0.05$ ); 70, 140 and 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly increased the activities of lipase and trypsin in ileum ( $p<0.05$ ) compared with control group. 210 g·t<sup>-1</sup> *Bacillus licheniformis* significantly increased duodenal villi length and the ratio of villi length to crypt depth ( $p<0.05$ ) compared with the control group. In conclusion, dietary supplementation of *Bacillus licheniformis* can increase growth performance such as final weight and feed conversion rate, increase nutrient apparent digestibility, improve blood biochemical indexes such as protein and digestive enzyme activities, and promote intestinal development of meat rabbits. Under the experimental conditions, the optimal supplemental level of *Bacillus licheniformis* was 210 g·t<sup>-1</sup>.

**Key words:** meat rabbit; *Bacillus licheniformis*; growth performance

芽孢杆菌是一种能够形成芽孢的细菌,这些芽孢对不利条件具有特殊抵抗力,使得芽孢杆菌能够在各种复杂环境中生存和繁殖,因其具有较高的稳定性,可在酸碱环境中中和粉料颗粒料的加工中保持活性,常作为益生菌添加剂在动物肠道中发挥重要的作用。芽孢杆菌中的地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)作为兼性厌氧菌,有助于降解饲料原料中的抗营养因子<sup>[1]</sup>,可提高动物机体免疫力,减少疾病的发生,能够有效改善肠道对养分的吸收能力,促进生长性能并改善畜产品品质。

目前对地衣芽孢杆菌的报道多以鸡、猪、鱼为研究对象。CHEN等<sup>[2]</sup>在肉鸡中的研究发现,3 g·kg<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌发酵物能提高生长性能并调控粪便微生物数量。张新宇等<sup>[3]</sup>研究发现,肉鸡在采食含有地衣芽孢杆菌的饲料后,死亡率下降92.5%,平均日增重提高43%。LIN等<sup>[4]</sup>在仔猪中的研究发现,饲料中添加含有地衣芽孢杆菌的发酵饲料可有效改善其生长性能。郭丽华等<sup>[5]</sup>在妊娠母猪中的研究发现,饲料中添加地衣芽孢杆菌可以有效缩短仔猪的出生间隔时间,提高仔猪的生长性能,降低仔猪肠道内有害病原菌的数量,有效改善妊娠期母猪肠道内环境。曹宏卫等<sup>[6]</sup>研究发现,饵料中保证一定浓度的地衣芽孢杆菌,能够提高多宝鱼的生长速度。

地衣芽孢杆菌单独在肉兔中的应用研究尚未见报道。芽孢杆菌制剂在肉兔生产上的应用报道也较少,仅在降低腹泻率、抗病促进生长和提高免疫力等方面进行了一些研究。郑建婷等<sup>[7]</sup>研究表明,在断奶仔兔饲料中分别添加枯草芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌后,仔兔的死亡率降低了18%,腹泻率降低了4%。王延卓等<sup>[8]</sup>研究表明,在饲料中添加乳酸芽孢杆菌,具有促进肉兔生长、增强抗病能力、提高饲料转化率、降低死亡率的作用。杨明月<sup>[9]</sup>研究表明,在饲料中添加300 mg·kg<sup>-1</sup>的芽孢杆菌制剂可以显著提高新西兰兔的生长性能、屠宰性能,同时还可以改善肉兔肉质。本试验旨在探明饲料中地衣芽孢杆菌水平对肉兔生长性能、养分表观消化率、血液生化指标、消化道酶活性和十二指肠组织形态的影响,为地衣芽孢杆菌在肉兔饲养中的推广提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选取120只(35±2)日龄,健康并且体重相近的伊拉肉兔(*Hyla Oryctolagus*)。供试地衣芽孢杆菌(活菌数为2×10<sup>10</sup> CFU·g<sup>-1</sup>)购自郑州金百合生物工程有限公司。血液生化指标和消化道酶活性测定所用试剂盒均购自北京华英生物公司。

### 1.2 试验设计及饲料组成

将120只肉兔随机分为4组,每组5个重复,每个重复6只兔(公母各半)。对照组饲喂基础饲料,

试验组在基础饲粮中分别添加70,140,210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌。预试期7 d,正试期35 d。基础颗粒饲粮参照《肉兔营养需要量》(NY/T 4049—2021)<sup>[10]</sup>配制(表1)。

表1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)  
Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air dry basis)

原料 Ingredients	含量/% Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content
玉米 Corn	24.00	消化能/(MJ·kg <sup>-1</sup> ) DE	10.12
小麦麸 Wheat bran	18.00	粗蛋白质/% CP	15.77
玉米干酒糟及可溶物 DDGS	12.00	粗纤维/% CF	16.49
花生秧 Peanut vine	13.30	中性洗涤纤维/% NDF	32.34
花生壳 Peanut shell	20.00	酸性洗涤纤维/% ADF	21.40
豆粕 Soybean meal	11.00	酸性洗涤木质素/% ADL	6.39
骨粉 Bone meal	0.40	赖氨酸/% Lys	0.76
预混料 Premix	1.00	含硫氨基酸/% Sulfur amino acid	0.60
食盐 Salt	0.30	钙/% Ca	0.61
合计 Total	100.00	总磷/% TP	0.43

注:兔用预混料为每千克饲粮提供Fe 70 mg, Cu 20 mg, Zn 70 mg, Mn 10 mg, Se 0.25 mg, I 0.2 mg, VA 10 000 IU, VD 900 IU, VE 50 mg, VK 2 mg, D-泛酸 50 mg, VB<sub>12</sub> 0.02 mg, 烟酸 50 mg, 赖氨酸 2 g, 蛋氨酸 1.5 g<sup>[11]</sup>。消化能、赖氨酸、含硫氨基酸为计算值,其余为实测值。  
Note: The premix provided the following per kg of diet Fe 70 mg, Cu 20 mg, Zn 70 mg, Mn 10 mg, Se 0.25 mg, I 0.2 mg, VA 10 000 IU, VD 900 IU, VE 50 mg, VK 2 mg, D-pantothenic acid 50 mg, VB<sub>12</sub> 0.02 mg, niacin acid 50 mg, Lys 2 g, Met 1.5 g<sup>[11]</sup>. DE, lysine and sulfur-containing amino acids were calculated values, and the rest were measured values.

### 1.3 饲养管理

试验开始前将兔场全面消毒,饲养期间肉兔自由采食、饮水。每天监测肉兔行为、健康情况,观察粪便形态及颜色,清理粪便1次。定期对饲槽、水槽和兔舍进行消毒以保证良好的饲养环境。

### 1.4 指标测定

1.4.1 生长性能测定 分别记录预试期结束当天和正试期结束当天的兔体重,以重复为单位记录每日进食量、死亡只数。试验结束后计算各组试验肉兔的平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)、料重比(F/G)<sup>[12]</sup>。每天记录兔群腹泻和死亡情况,用于计算死亡率和腹泻频率,计算公式为:

$$\text{死亡率}(\%) = (\text{死亡兔只数} / \text{试验兔总数}) \times 100$$

$$\text{腹泻频率}(\%) = \sum (\text{每日腹泻动物只数}) / (\text{试验天数} \times \text{试验只数}) \times 100^{[13]}$$

1.4.2 养分表观消化率测定 饲养试验结束前4 d,每天晚上全部收集肉兔粪便。清除兔毛和其他杂物后,喷涂10%盐酸用以固氮,4℃保存。全部试验结束后,将粪样和料样烘干粉碎,测定干物质(DM)、粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)和粗纤维(CF)的含量,参照陈丹丹<sup>[14]</sup>方法进行。

1.4.3 血液生化指标测定 试验结束当天,每个重复随机选取1只兔进行心脏采血,静置30 min,3 500 r·min<sup>-1</sup>离心15 min,分离血清,于-20℃保存。参照试剂盒说明书测定其血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(IG)、血糖(GLU)、尿素氮(UN)和血清碱性磷酸酶(AKP)<sup>[11]</sup>。

1.4.4 消化道酶活性测定 试验结束当天,每个重复随机选取1只兔取其空肠、回肠食糜,根据试剂盒说明测定空肠和回肠的淀粉酶、脂肪酶及蛋白酶的活性。

1.4.5 十二指肠组织形态观察 试验结束当天,每个重复随机选取1只兔取其十二指肠4 cm,清除内容物,用生理盐水漂洗,放入甲醛固液中,留做切片,观测绒毛高度(VH)和隐窝深度(CD),计算绒毛高度/隐窝深度(VH/CD)<sup>[15]</sup>。

## 1.5 数据分析方法

将相关数据录入SPSS 28软件中,腹泻频率、死亡率采用卡方检验,其他指标采用单因素ANOVA方差分析,Duncan法多重比较,试验结果采用“平均数±标准差”表示。 $p < 0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 地衣芽孢杆菌对肉兔生长性能的影响

由表2可知,与对照组相比,基础饲粮添加210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌显著提高肉兔末重( $p < 0.05$ ),140 g·t<sup>-1</sup>和210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌显著降低料重比( $p < 0.05$ )。与对照组、70 g·t<sup>-1</sup>和140 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌组相比,210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌显著提高平均日增重( $p < 0.05$ );210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌处理肉兔的死亡率最低。

表2 地衣芽孢杆菌对肉兔生长性能的影响

Table 2 Effects of *Bacillus licheniformis* on growth performance of meat rabbits

项目 Item	对照 Control	70 g·t <sup>-1</sup>	140 g·t <sup>-1</sup>	210 g·t <sup>-1</sup>	<i>p</i>
初始体重 IW/g	888.37±72.98	878.43±90.69	936.50±56.06	906.52±58.44	0.596
终末体重 FBW/g	1 854.57±133.16 <sup>b</sup>	1 908.46±96.28 <sup>ab</sup>	1 986.56±147.75 <sup>ab</sup>	2 056.30±100.05 <sup>a</sup>	0.048
平均日采食量 ADFI/g	95.23±6.24	98.17±4.65	93.63±6.28	102.79±11.53	0.282
平均日增重 ADG/g	27.60±2.00 <sup>b</sup>	29.42±0.66 <sup>b</sup>	30.00±2.82 <sup>b</sup>	32.85±1.57 <sup>a</sup>	0.036
料重比 F/G	3.45±0.15 <sup>a</sup>	3.38±0.18 <sup>ab</sup>	3.13±0.20 <sup>b</sup>	3.12±0.22 <sup>b</sup>	0.039
腹泻频率 Diarrhea frequency/%	5.14	4.86	4.03	2.97	0.074
死亡率 Mortality rate/%	8.52	7.38	5.91	4.55	0.067

注:同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著( $p > 0.05$ ),不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

Note: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $p > 0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $p < 0.05$ ). The same below.

### 2.2 地衣芽孢杆菌对养分表观消化率的影响

由表3可知,与对照组相比,基础饲粮添加210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌显著提高肉兔对饲粮中粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和总能的表现消化率( $p < 0.05$ ),分别提高9.86%、9.15%、22.84%和了9.46%。添加地衣芽孢杆菌对饲粮干物质表观消化率无显著影响( $p > 0.05$ )。

表3 地衣芽孢杆菌对肉兔养分表观消化率的影响

Table 3 Effects of *Bacillus licheniformis* on nutrient apparent digestibility of meat rabbits

项目 Item	对照组 Control group	70 g·t <sup>-1</sup>	140 g·t <sup>-1</sup>	210 g·t <sup>-1</sup>	<i>p</i>
干物质 DM/%	55.29±3.15	57.60±2.96	58.42±4.08	59.90±5.59	0.062
粗蛋白 CP/%	69.63±3.32 <sup>b</sup>	72.34±4.43 <sup>ab</sup>	73.46±5.07 <sup>ab</sup>	76.50±4.18 <sup>a</sup>	0.031
粗脂肪 EE/%	66.27±3.70 <sup>b</sup>	68.95±3.09 <sup>ab</sup>	68.55±4.13 <sup>ab</sup>	72.34±2.90 <sup>a</sup>	0.026
粗纤维 CF/%	8.01±0.67 <sup>b</sup>	9.12±1.01 <sup>ab</sup>	9.16±1.35 <sup>ab</sup>	9.84±1.13 <sup>a</sup>	0.019
总能 GE/%	58.42±3.98 <sup>b</sup>	61.19±4.18 <sup>ab</sup>	61.99±3.83 <sup>ab</sup>	63.95±3.09 <sup>a</sup>	0.029

### 2.3 地衣芽孢杆菌对肉兔血液生化指标的影响

由表4可知,与对照组和添加70 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌组相比,基础饲粮添加210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌显著降低肉兔血糖浓度( $p < 0.05$ );与对照组相比,140 g·t<sup>-1</sup>和210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌显著降低尿素氮浓度( $p < 0.05$ );与对照组相比,210 g·t<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌显著提高总蛋白、白蛋白、球蛋白浓度( $p < 0.05$ )。

表4 地衣芽孢杆菌对肉兔血液生化指标的影响

Table 4 Effects of *Bacillus licheniformis* on blood biochemical indexes of meat rabbits

项目 Item	对照组 Control group	70 g·t <sup>-1</sup>	140 g·t <sup>-1</sup>	210 g·t <sup>-1</sup>	<i>p</i>
血糖 BG/(mmol·L <sup>-1</sup> )	6.59±0.94 <sup>a</sup>	6.32±1.23 <sup>a</sup>	5.64±0.97 <sup>ab</sup>	5.20±1.00 <sup>b</sup>	0.043
尿素氮 UN/(mmol·L <sup>-1</sup> )	6.36±0.88 <sup>a</sup>	5.78±0.81 <sup>ab</sup>	5.19±0.48 <sup>b</sup>	4.78±0.76 <sup>b</sup>	0.022
碱性磷酸酶 ALP/(U·L <sup>-1</sup> )	89.26±12.16	102.52±13.20	106.39±18.26	109.17±13.98	0.183
总蛋白 TP/(g·L <sup>-1</sup> )	39.75±7.17 <sup>b</sup>	43.56±8.42 <sup>ab</sup>	45.33±9.00 <sup>ab</sup>	54.44±7.44 <sup>a</sup>	0.038
白蛋白 ALB/(g·L <sup>-1</sup> )	18.92±4.43 <sup>b</sup>	22.01±4.62 <sup>ab</sup>	23.51±5.94 <sup>ab</sup>	26.54±5.70 <sup>a</sup>	0.035
球蛋白 GLB/(g·L <sup>-1</sup> )	20.83±3.68 <sup>b</sup>	21.54±6.05 <sup>b</sup>	21.82±4.27 <sup>b</sup>	27.90±3.49 <sup>a</sup>	0.041

## 2.4 地衣芽孢杆菌对肉兔消化道酶活性的影响

由表5可知,与对照组和基础饲粮添加 $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌组相比,基础饲粮添加 $140\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 和 $210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌显著提高肉兔空肠脂肪酶活性( $p<0.05$ ),添加 $210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌显著提高回肠淀粉酶活性( $p<0.05$ );与对照组、 $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 和 $140\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌组相比,基础饲粮添加 $210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌显著提高回肠脂肪酶和胰蛋白酶活性( $p<0.05$ )。

表5 地衣芽孢杆菌对肉兔消化道酶活性的影响

Table 5 Effects of *Bacillus licheniformis* on digestive tract enzyme activity of meat rabbits

项目 Item	对照组 Control group	$70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$	$140\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$	$210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$	<i>p</i>
空肠淀粉酶 AMY/(U·g <sup>-1</sup> protein)	4 233.04±921.18	4 853.12±2695.66	5 884.62±2588.41	5 971.93±2543.66	0.587
空肠脂肪酶 LPS/(U·mg <sup>-1</sup> protein)	22.05±3.10 <sup>b</sup>	25.52±2.26 <sup>b</sup>	30.34±1.35 <sup>a</sup>	32.12±3.52 <sup>a</sup>	0.015
空肠胰蛋白酶 Trypsin/(U·g <sup>-1</sup> protein)	28.74±9.41	30.28±0.95	33.22±0.85	33.37±2.71	0.059
回肠淀粉酶 AMY/(U·g <sup>-1</sup> protein)	3 398.39±576.44 <sup>b</sup>	3 778.75±1722.92 <sup>b</sup>	4 479.87±1237.50 <sup>ab</sup>	5 664.72±1360.39 <sup>a</sup>	0.046
回肠脂肪酶 LPS/(U·mg <sup>-1</sup> protein)	9.58±0.43 <sup>b</sup>	11.68±0.23 <sup>b</sup>	13.38±1.17 <sup>b</sup>	18.17±6.24 <sup>a</sup>	0.021
回肠胰蛋白酶 Trypsin/(U·g <sup>-1</sup> protein)	12.36±0.88 <sup>b</sup>	13.92±0.55 <sup>b</sup>	14.75±0.91 <sup>b</sup>	19.82±6.45 <sup>a</sup>	0.043

## 2.5 地衣芽孢杆菌对肉兔十二指肠肠道组织形态的影响

由表6可知,与对照组相比, $210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌显著增加十二指肠绒毛长度( $p<0.05$ ),增加了14.80%;与对照组相比,各处理组隐窝深度差异均不显著( $p>0.05$ );与对照组相比, $210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌显著提高绒毛高度与隐窝深度比值( $p<0.05$ ),提高了26.89%。

表6 地衣芽孢杆菌对肉兔十二指肠肠道组织形态的影响

Table 6 Effects of *Bacillus licheniformis* on intestinal tissue morphology of duodenum in meat rabbits

项目 Item	对照组 Control group	$70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$	$140\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$	$210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$	<i>p</i>
绒毛长度 Villus length/ $\mu\text{m}$	710.51±96.10 <sup>b</sup>	757.14±58.48 <sup>ab</sup>	774.49±58.81 <sup>ab</sup>	815.71±57.31 <sup>a</sup>	0.047
隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	115.79±15.82	111.94±14.24	108.56±12.06	104.36±8.77	0.565
绒毛高度/隐窝深度 V/C	6.21±1.11 <sup>b</sup>	6.84±0.91 <sup>ab</sup>	7.19±0.81 <sup>ab</sup>	7.88±1.04 <sup>a</sup>	0.039

## 3 讨论与结论

### 3.1 地衣芽孢杆菌对肉兔生长性能的影响

地衣芽孢杆菌可以分泌多种酶类提高营养物质的消化吸收,从而提高动物体的生长性能,降低死亡率和发病率。许培文等<sup>[16]</sup>研究表明,饲粮添加 $50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌的肉鸡平均日增重等生产性能最佳。XU等<sup>[17]</sup>研究表明,在饲粮中添加 $1.5\times 10^9\text{ CFU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌可以改善肉鸡饲养末重和日增重,并降低料重比,从而改善生长性能。周梦佳等<sup>[18]</sup>研究表明,饲粮中添加 $4.0\times 10^9\text{ CFU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌可以提肉鸡高体重等生长性能。本试验中,与未加地衣芽孢杆菌的对照组相比,基础饲粮添加 $210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌组显著提高了肉兔的终末体重和平均日增重,各组腹泻及死亡频率随着饲粮中地衣芽孢杆菌添加水平上升有下降趋势。饲粮中添加地衣芽孢杆菌后可有效提高LPS和Trypsin活性,促进肉兔对饲粮中蛋白质和能量等养分的消化吸收效率,从而有效改善了肉兔的生长性能。

### 3.2 地衣芽孢杆菌对养分表观消化率的影响

养分表观消化率是用来衡量动物对饲料的消化能力,是反映动物生产性的重要指标<sup>[19]</sup>。李卫芬等<sup>[20]</sup>在肉鸡中的研究表明,添加 $1.0\times 10^5\text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$ 枯草芽孢杆菌可促进干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维等养分的消化率。蔡中梅<sup>[21]</sup>研究显示,饲料中添加 $60\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 巨大芽孢杆菌制剂可以提高仔鹅对干物质和粗蛋白的表观消化率。戴求仲等<sup>[22]</sup>研究阐明,饲粮中添加 $300\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 芽孢杆菌制剂可以提高肉鸡对粗蛋白的消化率。本试验中,基础饲粮添加 $210\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌同样显著提高了肉兔对饲粮中粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和总能表观消化率,原因可能是基于地衣芽孢杆菌进入肉兔肠道后,在肠道中能迅速成为优势菌群并分泌活性很强的多种消化酶,有效帮助肉兔降解摄入的植物来源饲料中包含的复杂碳水化合物,降解产物还具有抵抗肠道致病菌的功能,从而提高了肉兔终末体重等生长性能。

### 3.3 地衣芽孢杆菌对肉兔血液生化指标的影响

白蛋白能够稳定血液渗透压,参与机体营养运输、凝血、抗凝血、肝细胞修复与再生以及免疫过

程,有利于动物体内化学环境保持稳定<sup>[23-24]</sup>。尿氮素在动物体内含量高时会抑制机体蛋白质的合成,不利于体组织生长。司华哲等<sup>[25]</sup>研究表明,  $1.0 \times 10^9$  CFU·g<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌的添加量能增加黑毛驴血清球蛋白的分泌量。张立永等<sup>[26]</sup>研究显示,  $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌可提高肉鸡血液总蛋白和白蛋白的分泌量。本试验中,随着地衣芽孢杆菌添加量增加,肉兔血清总蛋白和白蛋白分泌量提高,说明添加地衣芽孢杆菌可以提高蛋白质代谢水平,促进肉兔对蛋白类营养物质的吸收;血清尿素氮含量降低表明地衣芽孢杆菌促进了肉兔机体氮代谢,表现为促进了蛋白质的合成并抑制其分解,从而增加蛋白质的沉积,使肉兔的生长性能显著提升。

### 3.4 地衣芽孢杆菌对肉兔消化道酶活性和十二指肠肠道组织形态的影响

小肠是营养物质消化吸收的主要场所,肠道中消化酶活性对肠道上皮细胞消化吸收营养物质有着重要影响<sup>[27-28]</sup>。徐小明等<sup>[29]</sup>研究发现,  $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌的添加水平能够提高仔猪肠道胰蛋白酶活性。樊英等<sup>[30]</sup>研究阐明,  $1 \times 10^8$  CFU·g<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌能够使大泷六线鱼肠道胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性提高。王旭达等<sup>[31]</sup>研究发现,  $2 \times 10^{10}$  CFU·g<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌能够提高仿刺参胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性。本试验中,地衣芽孢杆菌可以提高肠道中脂肪酶和胰蛋白酶活性,与前人试验结果一致。消化酶有促进肉兔肠道蠕动和提高消化力的作用,地衣芽孢杆菌分泌的消化酶能够有效降解植物性饲料中的脂肪以及蛋白类养分,可以让大分子养分更快地变成小分子养分从而显著提高营养物质的吸收效率,提高增重的同时降低肉兔料重比。

肠道组织形态是肠道健康的关键指数之一,绒毛长度和隐窝深度在一定程度上反映了肠道上皮细胞的消化吸收能力。王佳昕等<sup>[32]</sup>研究表明,  $1.0 \times 10^9$  CFU·kg<sup>-1</sup>地衣芽孢杆菌的添加水平能显著增加空肠绒毛长度及其与绒隐比。任永军等<sup>[33]</sup>研究发现  $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 复合芽孢杆菌制剂可以显著提高肉兔小肠各段绒隐比。本试验中,地衣芽孢杆菌显著增加十二指肠绒毛长度且提高绒隐比,改善了肉兔的肠道形态。健康的肠道有高效的养分吸收效率和完善的菌群屏障,在促进肉兔对饲料中蛋白质和能量等养分消化吸收效率的同时还具有屏蔽肠道致病菌的作用,提升肉兔免疫机能,降低腹泻频率和死亡率。

综上所述,饲料中添加地衣芽孢杆菌有效改善肉兔肠道形态,增强肠道消化酶活性,降低血清葡萄糖、尿素氮含量,从而提高营养物质表观消化率、提高肉兔生长性能,并降低死亡率。在本试验条件下,肉兔基础饲料中添加  $210 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ 地衣芽孢杆菌应用效果最佳。

### 参考文献:

- [1] 杨鑫,孙浩轩,陈影,等.地衣芽孢杆菌的特性及其在生猪养殖中应用的研究进展[J].中国饲料,2023(1):23-28,35.
- [2] CHEN Y C, YU Y H. *Bacillus licheniformis*-fermented products improve growth performance and the fecal microbiota community in broilers[J]. Poultry Science, 2020, 99(3):1432-1443.
- [3] 张新宇,刘超男,李光玉,等.抗生素替代物在畜禽生产中的应用研究进展[J].中国畜牧杂志,2023,59(3):46-53.
- [4] LIN K H, YU Y H. Evaluation of *Bacillus licheniformis*-fermented feed additive as an antibiotic substitute: Effect on the growth performance, diarrhea incidence, and cecal microbiota in weaning piglets[J]. Animals: an Open Access Journal from MDPI, 2020, 10(9):1649.
- [5] 郭丽华,索成,刘海涛.地衣芽孢杆菌对妊娠及哺乳母猪生产性能及猪舍氨气浓度的影响[J].安徽农业科学,2013, 41(5):1975-1977.
- [6] 曹宏卫.地衣芽孢杆菌对多宝鱼生长的影响[J].畜牧兽医科技信息,2022(4):29-30.
- [7] 郑建婷,冯国亮,曹亮,等.枯草芽孢杆菌和复合酶制剂对獭兔生长性能、养分表观消化率、屠宰性能、免疫器官指数及毛皮质量的影响[J].动物营养学报,2020,32(6):2808-2815.
- [8] 王延卓,彭江红.乳酸芽孢杆菌对肉兔生长性能、血液生理生化指标及屠宰性能的影响[J].中国饲料,2019(20):61-64.
- [9] 杨明月.丁酸梭菌对獭兔生长、肠道免疫及肠道菌群的影响[D].雅安:四川农业大学,2017.
- [10] 中华人民共和国农业农村部.肉兔营养需要量:NY/T 4049—2021[S].北京:中国农业出版社.
- [11] 杜新瑜,刘梅,李建涛,等.沙棘黄酮对肉兔生长性能、屠宰性能、血清生化指标、抗氧化能力和免疫功能的影响[J].动物营养学报,2023,35(6):3910-3920.
- [12] 王子平.壳寡糖替代抗生素对肉兔饲喂效果和肠道健康的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2022.
- [13] 谷子林.断乳仔兔腹泻发生机制及生物活性物质的调控研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2004.
- [14] 陈丹丹.四种家兔非常规能量饲料营养价值评定[D].保定:河北农业大学,2014.

- [15] 仲华玲,何丛丛,吴邦元.不同饲料对断奶兔十二指肠、空肠结构和消化酶活性影响[J].饲料博览,2022(5):1-7.
- [16] 许培文.不同剂量地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能和屠宰性能的影响[J].福建畜牧兽医,2021,43(5):13-16.
- [17] XU Y L,YU Y,SHEN Y Y,et al.Effects of *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on growth performance,immunity,short chain fatty acid production,antioxidant capacity,and cecal microflora in broilers[J].Poultry Science,2021,100(9):101358.
- [18] 周梦佳,李书伟,张锦秀,等.地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能、血清抗氧化功能和肠道形态的影响[J].中国畜牧杂志,2021,57(8):246-249.
- [19] 剧浩,郝小燕,张暄梓,等.饲料中添加枸杞多糖对羔羊营养物质表观消化率、能量代谢、氮代谢和血清免疫指标的影响[J].动物营养学报,2022,34(12):7960-7969.
- [20] 李卫芬,白洁,李雅丽,等.枯草芽孢杆菌对肉鸡肉品质、养分消化率及血清生化指标的影响[J].中国兽医学报,2014,34(10):1682-1685.
- [21] 蔡中梅.饲料中添加巨大芽孢杆菌制剂对仔鹅生产性能、养分利用及肠道菌群的影响[D].扬州:扬州大学,2016.
- [22] 戴求仲,王向荣,蒋桂韬,等.日粮中添加芽孢杆菌制剂对黄羽肉鸡生长性能及养分利用率的影响[J].家畜生态学报,2011,32(4):18-22.
- [23] 吴正可,褚殿文,刘国华.发酵西兰花茎叶对肉鸡生长性能、屠宰性能、免疫指标及血清生化指标的影响[J].中国家禽,2019,41(14):32-38.
- [24] 袁慧坤,袁文华,赵文文,等.丁酸梭菌和地衣芽孢杆菌对北京鸭生长性能、血清生化和免疫指标及免疫器官指数的影响[J].动物营养学报,2018,30(11):4635-4641.
- [25] 司华哲,冯培祥,王卓,等.饲料添加地衣芽孢杆菌对4~7月龄黑毛驴生长性能、血清生化指标及直肠菌群多样性的影响[J].动物营养学报,2021,33(2):999-1007.
- [26] 张立永,任海洋.地衣芽孢杆菌对雏鸡生长性能、肠道结构及血清生化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医(下半月),2019(6):113-116,169.
- [27] 张铁涛,崔虎,岳志刚,等.饲料蛋白质水平对冬毛期水貂胃肠道消化酶活性以及空肠形态结构的影响[J].动物营养学报,2012,24(2):376-382.
- [28] UGOLEV A M,IEZUITOVA N N.Membrane digestion and modern concepts of food assimilation[J].World Review of Nutrition and Dietetics,1982,40:113-187.
- [29] 徐小明,白建勇,宦海琳,等.地衣芽孢杆菌对发酵床饲养仔猪生长性能、消化酶活性及肠道主要菌群数量的影响[J].中国畜牧兽医,2015,42(4):923-928.
- [30] 樊英,王晓璐,于晓清,等.地衣芽孢杆菌对大泷六线鱼生长、肠道消化酶、血清非特异性免疫及抗病力的影响[J].渔业科学进展,2021,42(1):63-73.
- [31] 王旭达,关晓燕,王鉴,等.地衣芽孢杆菌对仿刺参生长、消化和免疫功能的影响[J].水产科学,2021,40(2):151-158.
- [32] 王佳昕,韩云胜,蔡红英,等.地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能、血清生化指标和肠道形态结构的影响[J].中国畜牧兽医,2022,49(12):4593-4603.
- [33] 任永军,雷岷,邝良德,等.复合芽孢杆菌制剂对肉兔肠道发育和免疫功能的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):144-152.

[责任编辑 马迎杰]