

张含, 桂红兵, 钱勇, 等. 蛹虫草菌糠对山羊羔羊生长性能和血清生化指标的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (7): 22-26.

ZHANG H, GUI H B, QIAN Y, et al. Effects of residual *Cordyceps militaris* culture medium on growth performance and serum biochemical indexes of goat kids [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (7): 22-26.

## 蛹虫草菌糠对山羊羔羊生长性能和血清生化指标的影响

张含, 桂红兵, 钱勇, 孟春花, 李隐侠, 张建丽, 曹少先\*

(江苏省农业科学院畜牧研究所/农业农村部种养结合重点实验室/

江苏省畜禽精准育种工程研究中心, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 旨在研究开口料中添加蛹虫草菌糠对山羊羔羊生长性能和血清生化指标的影响。测定蛹虫草菌糠活性物质、霉菌毒素含量和抑菌特性, 选取 23 日龄、体重 (6.78±1.68) kg 的徐淮白山羊羔羊 21 只, 随机分为对照组 (基础开口料)、0.5% 菌糠组 (添加 0.5% 蛹虫草菌糠的开口料)、1.0% 菌糠组 (添加 1.0% 蛹虫草菌糠的开口料), 每组 7 只, 预试期 7 d, 正试期 60 d, 试验期第 31 天断奶。结果: 试验所用蛹虫草菌糠中虫草素含量为 1 127.07 mg/kg, 腺苷含量为 389.40 mg/kg, 对霉菌毒素检测结果表明, 伏马毒素含量为 0.21 mg/kg, 黄曲霉素 B<sub>1</sub> 含量为 0.01 μg/kg, 玉米赤霉烯酮含量为 0.02 mg/kg, 呕吐毒素为 0.68 mg/kg, 远低于《饲料卫生标准》中羔羊精料补充料的最高限量; 添加 0.5% 菌糠组 31~60 d 平均日增重显著高于对照组 ( $P<0.05$ ); 添加 0.5% 和 1% 菌糠组 31~60 d 料重比均极显著低于对照组 ( $P<0.01$ ); 饲喂添加 0.5% 蛹虫草菌糠的开口料未影响羔羊血清生化指标。综上, 蛹虫草菌糠中生物活性物质含量较高, 添加 0.5% 蛹虫草菌糠到开口料中可以提高断奶后羔羊平均日增重, 降低料重比。

**关键词:** 蛹虫草菌糠; 羔羊; 生长性能; 血清生化指标

中图分类号: S826

文献标志码: A

文章编号: 0529-5130(2025)07-0022-05

## Effects of residual *Cordyceps militaris* culture medium on growth performance and serum biochemical indexes of goat kids

ZHANG Han, GUI Hongbing, QIAN Yong, MENG Chunhua, LI Yinxia, ZHANG Jianli, CAO Shaoxian\*

(Institute of Animal Science, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop and Livestock Integration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Jiangsu Province Engineering Research Center for Precision Animal Breeding, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** This study was to investigate the effects of dietary residual *Cordyceps militaris* culture medium (RCMCM) on growth performance and serum biochemical indexes of goat kids. The active substance, mycotoxin content, and antibacterial properties in RCMCM were examined. Twenty-one 23-day-old Xuhuai White goat kids with similar body weight (6.78±1.68) kg were selected and randomly divided into 3 groups: the Control Group (fed with basis starter), the 0.5% RCMCM group (fed with starter added with 0.5% RCMCM) and the 1% RCMCM group (fed with starter with 1% RCMCM). Each group consisted of 7 kids. The pre-test period lasted for 7 days and the formal test period lasted for 60 days. The kids were weaned on day 31 of the test period. The results showed that the contents of cordycepin and adenosine in RCMCM were 1 127.07 mg/kg and 389.40 mg/kg, respectively. And, the mycotoxin content of RCMCM, including fumonisins (0.21 mg/kg), aflatoxin B<sub>1</sub> (0.01 μg/kg), zearalenone (0.02 mg/kg), and deoxynivalenol (0.68 mg/kg), was significantly below the maximum thresholds outlined in the *Feed Hygiene Standard* for goat kid concentrate supplement. During 31 to 60 days, the average daily gain (ADG) of the kids in the 0.5% RCMCM group showed a significantly higher rise than in the control group ( $P<0.05$ ). Both the 0.5% and 1% RCMCM groups exhibited significantly lower F/G ratios compared with the control group ( $P<0.01$ ). Moreover, feeding the starter diet with 0.5% RCMCM supplementation did not affect the serum biochemical indexes of the kids. In conclusion, RCMCM had a high content of biologically active substances, supplementing 0.5% RCMCM to the starter feed increased the average daily gain of post-weaned goat kids and reduce their F/G ratio.

收稿日期: 2024-07-26; 修回日期: 2025-04-17

基金项目: 江苏现代农业 (肉羊) 产业技术体系项目 (JATS [2022] 428)

第一作者: 张含, 女, 硕士

\* 通信作者: 曹少先, 研究员, 研究方向为羊遗传资源保护与评价、羊育种技术研究与种质创新, E-mail: sxcao@jaas.ac.cn。

**Keywords:** residual *Cordyceps militaris* culture medium; goat kids; growth performance; serum biochemical indicators

羔羊培育是山羊养殖中的重要环节，不仅直接影响羔羊的成活率和生长发育，也对其终身的生产性能和养殖经济效益产生很大影响。断奶是羔羊生长过程中的关键阶段，母子分离、饲料转换、社群重组及环境变化等均会对羔羊造成应激，与此同时羔羊消化、免疫等生理结构和功能尚不健全，抵抗力低，断奶过程中常伴随腹泻的发生，导致羔羊短期和长期的健康受损以及生长性能等下降，应用抗菌药物治疗是目前羊场较普遍采用的方法，由此易产生的抗生素残留和抗药性等不良后果。《全国兽用抗菌药使用减量化行动方案（2021—2025年）》提出，到2025年末，50%以上的规模养殖场实施养殖减抗行动，整治兽药残留超标，全面提升畜禽绿色健康养殖水平，促进畜牧业高质量发展。因此，减少抗生素的使用，寻找提高免疫力的新型绿色饲料添加剂，缓解早期断奶对羔羊造成的应激，促进羔羊早期的健康生长越来越受到重视。

蛹虫草又称北冬虫夏草，是与冬虫夏草媲美的药用真菌<sup>[1]</sup>。蛹虫草菌糠（residual *Cordyceps militaris* culture medium, RCMCM）是收获蛹虫草后的培养基，仍含有虫草素、腺苷、虫草多糖等活性物质，可以提高机体免疫力<sup>[2]</sup>。已有研究发现，添加蛹虫草菌糠可增强畜禽免疫力、提高生长性能。例如，生长猪饲料中补充0.2%蛹虫草菌糠，可促进免疫球蛋白分泌、提高生长速度<sup>[3]</sup>；肉鸡日粮中添加10%蛹虫草菌糠，能够提高平均日增重和仔鸡存活率，降低料肉比<sup>[4]</sup>；给4月龄放牧山羊补饲蛹虫草菌糠能够显著提高日增重和屠宰率<sup>[5]</sup>。然而，蛹虫草菌糠在羔羊中的应用目前尚未见报道，本试验以徐淮白山羊羔羊为研究对象，探讨在开口料中添加不同水平的蛹虫草菌糠对羔羊断奶前后生长性能和血清生化指标的影响，为蛹虫草菌糠作为促生长添加剂在羔羊断奶中的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验用蛹虫草菌糠由江苏康能生物工程股份有限公司提供；试验羊及场地由江苏省农业科学院六合基地种羊场提供。蛹虫草菌糠主要营养成分为：粗纤维3.46%、粗蛋白16.91%、粗脂肪3.61%、粗灰分1.56%、中性洗涤纤维38.11%、酸性洗涤纤维6.81%、钙0.27%、磷0.25%。

### 1.2 试验设计

选取23日龄、体重（ $6.78 \pm 1.68$ ）kg的徐淮白

山羊羔羊21只，随机分为对照组、0.5%菌糠组和1.0%菌糠组，每组7只。每只哺乳母羊与其羔羊1个圈舍饲养，每圈设置隔离母羊的补料槽供羔羊补饲。试验预试期7d，正试期60d。对照组饲喂基础开口料，0.5%菌糠组和1.0%菌糠组则分别在基础开口料中添加0.5%和1.0%的蛹虫草菌糠。基础日粮参照NRC（2007）羔羊的营养需要设计配制。日粮配方及营养水平见表1。每天09:00和16:00各饲喂1次，自由采食、饮水。于试验第31天（即羔羊60日龄）进行断奶。

表1 基础饲料组成及营养水平

原料	含量/%	营养指标	含量/%
苜蓿草粉	5.04	粗蛋白	18.53
玉米	35.71	粗纤维	11.18
膨化大豆	19.70	中性洗涤纤维	17.44
大豆皮	13.24	酸性洗涤纤维	8.63
豆粕	7.30	粗灰分	2.15
大麦粉	8.10	粗脂肪	5.71
麦芽根	5.90	钙	0.55
大豆油	2.21	磷	0.32
糖蜜	1.22		
预混料 <sup>1)</sup>	0.12		
小苏打	0.40		
食盐	0.18		
石粉	0.88		

注：<sup>1)</sup>为每千克饲料提供维生素A乙酸酯7.5万~18.1万IU，维生素D<sub>3</sub>1.05万~2.54万IU，d1-a-生育酚乙酸酯≥900mg，铜115~330mg，锰850~2400mg，锌900~2600mg，水分≤10%。

### 1.3 测定内容与方法

#### 1.3.1 生物活性物质及霉菌毒素含量

参照NY/T 2116—2012《虫草制品中虫草素和腺苷的测定 高效液相色谱法》测定蛹虫草菌糠中生物活性物质虫草素和腺苷的含量。霉菌毒素含量测定使用Tulln公司试剂盒检测，具体操作按说明书进行。

#### 1.3.2 生长性能

试验期内共3次称重，即试验开始前、正试期第30和60天晨饲前称重。以圈舍为单位，每天称量记录饲喂量和剩余料重。计算羔羊平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。

#### 1.3.3 血清生化指标

于试验开始前和试验结束当天（第60天）晨饲前对羔羊空腹采血。用贮血试管采集颈静脉血5mL，

37 ℃恒温箱静置 1 h, 3 000 r/min 离心 10 min, 收集上清液。通过生长性能结果分析, 选取 0.5% 菌糠组血样, 使用爱倍思血清生化试剂盒进行血清生化指标分析, 具体步骤按说明书指示操作。

#### 1.4 数据统计与分析

采用 SPSS 18.0 统计进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 运用 LSD 法进行多重比较, 数据以“平均值±标准误”表示。 $P < 0.05$  表示差异显著,  $P < 0.01$  表示差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 蛹虫草菌糠生物活性物质及毒素含量

生物活性物质测定显示, 蛹虫草菌糠中虫草素含量为 1 127.07 mg/kg, 腺苷含量 389.40 mg/kg, 活性物质含量较高。霉菌毒素检测发现, 蛹虫草菌糠中伏马毒素为 0.21 mg/kg, 黄曲霉素 B1 为 0.01 μg/kg,

玉米赤霉烯酮为 0.02 mg/kg, 呕吐毒素为 0.68 mg/kg, 含量远低于 GB 13078—2017《饲料卫生标准》中羔羊精料补充料的最高限量, 表明蛹虫草菌糠在动物饲料中使用不存在霉菌毒素超标问题。

### 2.2 蛹虫草菌糠对山羊羔羊生长性能的影响

生长性能测定结果表明 (表 2), 添加 0.5% 和 1.0% 菌糠组羔羊 1~30 d 平均日增重比对照组分别提升了 12.95% 和 16.93%, 且 0.5% 菌糠组 31~60 d 平均日增重比对照组提高 53.53%, 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。1~30 d 期间 0.5% 菌糠组平均日采食量极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ), 31~60 d 期间 1.0% 菌糠组平均日采食量显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。添加 0.5%、1% 菌糠组 31~60 d 期间料重比极显著低于对照组 ( $P < 0.01$ )。提示在山羊羔羊开口料中添加 0.5% 蛹虫草菌糠能够提高平均日增重, 降低料重比。

表 2 添加蛹虫草菌糠对山羊羔羊生长性能的影响

项目	对照组	0.5% 菌糠组	1.0% 菌糠组
初重/kg	6.82±0.60	6.94±0.72	6.96±0.97
第 30 天体重/kg	10.74±0.57	11.36±0.84	11.54±1.13
1~30 d 平均日增重/g	130.56±10.92	147.47±7.19	152.67±16.23
1~30 d 平均日采食量/g	165.21±7.98 <sup>Bb</sup>	199.15±6.40 <sup>Aa</sup>	165.13±4.24 <sup>Bb</sup>
第 60 天体重/kg	13.60±0.82	15.76±1.43	14.52±1.57
31~60 d 平均日增重/g	95.44±15.57 <sup>b</sup>	146.53±20.99 <sup>a</sup>	100.33±12.83 <sup>ab</sup>
31~60 d 平均日采食量/g	380.08±24.65 <sup>a</sup>	386.97±23.40 <sup>a</sup>	310.89±14.63 <sup>b</sup>
31~60 d 料重比	3.14±0.24 <sup>Aa</sup>	2.26±0.13 <sup>Bb</sup>	2.65±0.11 <sup>Bb</sup>

注: 同行比较, 无字母或小写字母相同表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 大写字母不同表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 下同。

### 2.3 蛹虫草菌糠对山羊羔羊血清生化指标的影响

对 0.5% 菌糠组与对照组羔羊于饲喂开口料前 (试验起始) 与饲喂 2 个月后 (试验结束) 分别采集血样, 检测血清生化指标结果, 发现试验结束时

0.5% 菌糠组羊血清中磷和钾离子含量略高于参考值 (表 3), 肌酐和葡萄糖含量低于参考值, 其余指标测定值均在参考值范围内<sup>[6]</sup>。

表 3 蛹虫草菌糠对山羊羔羊血清生化指标的影响

指标	试验起始		试验结束		参考值 <sup>[6]</sup>
	对照组 (n=4)	0.5% 菌糠组 (n=4)	对照组 (n=4)	0.5% 菌糠组 (n=4)	
白蛋白/ (g · dL <sup>-1</sup> )	3.13±0.26	3.54±0.25	3.13±0.37	3.12±0.50	2.7~3.9
碱性磷酸酶/ (U · L <sup>-1</sup> )	233.23±12.97	257.17±14.07	228.40±14.85	270.03±16.13	93~387
谷丙转氨酶/ (U · L <sup>-1</sup> )	22.15±3.32	22.10±1.89	22.62±7.27	23.3±1.29	-
总胆红素/ (mg · dL <sup>-1</sup> )	0.23±0.05	0.20±0.03	0.32±0.05	0.30±0.06	0.10~1.71
尿素氮/ (mg · dL <sup>-1</sup> )	8.35±3.40	11.62±1.29	19.43±6.29	18.62±3.86	10~20
钙/ (mg · dL <sup>-1</sup> )	10.44±0.67	10.82±0.64	10.13±0.96	10.05±1.13	8.9~11.7
磷/ (mg · dL <sup>-1</sup> )	8.58±1.05	8.14±0.89	10.02±1.33	9.72±1.32	4.2~9.1

续表3

指标	试验起始		试验结束		参考值 <sup>[6]</sup>
	对照组 (n=4)	0.5%菌糠组 (n=4)	对照组 (n=4)	0.5%菌糠组 (n=4)	
肌酐/ (mg · dL <sup>-1</sup> )	1.04±0.13	1.03±0.17	0.78±0.11 ↓	0.72±0.26 ↓	1~1.82
葡萄糖/ (mg · dL <sup>-1</sup> )	49.71±12.55	50.83±8.89	41.62±6.99 ↓	41.45±7.93 ↓	50~75
Na <sup>+</sup> / (mmol · L <sup>-1</sup> )	142.11±4.92	148.23±3.86	145.02±6.18	144.75±15.23	142~155
K <sup>+</sup> / (mmol · L <sup>-1</sup> )	6.23±1.14	7.03±0.39	6.42±0.31	6.75±0.76	3.5~6.7
总蛋白/ (g · dL <sup>-1</sup> )	6.71±0.48	6.92±0.62	6.53±0.75	6.52±0.81	6.4~7
球蛋白/ (g · dL <sup>-1</sup> )	3.62±0.41	3.53±0.57	3.41±0.51	3.43±0.46	2.7~4.1

注：-表示无此项；↓表示与参考值相比降低。

### 3 讨论

#### 3.1 蛹虫草菌糠生物活性物质

蛹虫草菌糠是人工栽培蛹虫草收获后的培养基。据报道蛹虫草菌糠中仍有大量生物活性物质，包括虫草素和腺苷，其中虫草素含量较高<sup>[7]</sup>。而虫草素含量是GH/T 1240—2019《干制蛹虫草》中蛹虫草分级的依据，虫草素的含量也决定了蛹虫草菌糠的再利用价值。本研究中使用的蛹虫草菌糠中虫草素含量为1 127.07 mg/kg，在同类研究报道中含量较高<sup>[8-10]</sup>，说明本研究使用的蛹虫草菌糠中可利用的生物活性物质含量高，具有开发为功能性饲料添加剂的潜力。核苷类物质是具有独特结构的广谱抗生素<sup>[11]</sup>，蛹虫草菌糠中的核苷类物质主要包括虫草素、腺苷和鸟苷<sup>[7]</sup>。虫草素能够破坏细菌壁膜系统，影响细菌的正常生理代谢，从而达到抑菌效果<sup>[12]</sup>。何先喆等<sup>[13]</sup>研究发现，蛹虫草菌糠对大肠杆菌有一定的抑菌作用，且抑菌效果与虫草素含量呈正相关。Boontiam等<sup>[14]</sup>发现，饲喂蛹虫草菌糠能够促进断奶仔猪免疫球蛋白分泌，降低炎症和抑制致病菌，提示在饲料中添加蛹虫草菌糠有望提高肠道健康水平。

#### 3.2 蛹虫草菌糠对山羊羔羊生长发育的影响

仔畜断奶后受到心理、营养、环境和免疫等多方面的影响，会产生应激反应，对仔畜的健康和生长发育有一定的负面影响<sup>[15]</sup>。蛹虫草菌糠中含有大量能够增强机体免疫力的生物活性物质，具有作为抗应激饲料添加剂的潜力。已有研究表明，给雏禽、幼畜日粮中补充蛹虫草菌糠，能够增强机体免疫力和抗病能力，提高日增重。曹光连等<sup>[16]</sup>用蛹虫草菌糠替代10%基础日粮，结果仔鸡存活率提高3%，日增重提高5.52%。Boontiam等<sup>[14]</sup>在断奶仔猪日粮中添加0.15%的蛹虫草菌糠，能够促进免疫球蛋白分泌，提高平均日增重，其效果与添加抗生素相当。Cheng等<sup>[17]</sup>给断奶仔猪补充蛹虫草发酵物，能够缓解断奶时期的生理和免疫应激。在本研究中，添加菌糠组羔

羊平均日增重高于对照组，其中31~60 d平均日增重0.5%菌糠组显著高于对照组。羔羊在试验期第31天断奶后，对照组羔羊平均日增重出现急剧下滑，由130.56 g/d下降至95.44 g/d，而0.5%菌糠组羔羊平均日增重趋势平稳，并且高出对照组51.09 g/d。分析可能是蛹虫草菌糠中的生物活性物质能够增强断奶羔羊免疫力，减小了断奶应激，从而生长速度与断奶前相当。1.0%菌糠组平均日增重由152.67 g/d下降至100.33 g/d，可能与本研究中蛹虫草菌糠虫草素含量高有关，适当的添加剂量可以促进生长，当高剂量活性物质在机体累积到一定量，后期可能会对生长产生一定的抑制作用。中华绒螯蟹的试验也证实，蛹虫草菌糠添加过量后会对机体产生免疫抑制效应<sup>[18]</sup>。料重比是衡量饲料报酬的重要指标，Hsieh等<sup>[19]</sup>发现，在肉鸡日粮中添加1.0%蛹虫草菌糠，能够提高饲料转化率。朱艳芝等<sup>[20]</sup>发现，在蛋鸡日粮中添加虫草多糖能够提高生产性能，降低料重比。本研究中添加蛹虫草菌糠组羔羊断奶后料重比极显著低于对照组，可能与蛹虫草菌糠中富含的虫草素等生物活性物质提高了羔羊免疫力、改善了肠道健康状况有关。

#### 3.3 蛹虫草菌糠在羔羊饲料中使用的安全性

饲料中霉菌毒素超标会引起畜禽免疫功能抑制、生长停滞、肝脏损伤等中毒问题<sup>[21]</sup>。虽然反刍动物瘤胃内微生物能够降解部分霉菌毒素<sup>[22]</sup>，但是幼龄反刍动物瘤胃发育不全，对霉菌毒素更加敏感，对饲料卫生品质要求更高。本研究对饲料中常见的霉菌毒素含量进行检测，发现蛹虫草菌糠中伏马毒素、黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮和呕吐毒素含量远低于GB 13078—2017《饲料卫生标准》中羔羊精料补充料的最高限量，表明蛹虫草菌糠在羔羊饲料中使用不存在毒素超标的问题。

血清生化指标能够反映机体组织器官和免疫功能状况，与机体健康状态密切相关。Pin等<sup>[23]</sup>研究了18月龄山羊日粮中添加蛹虫草菌糠对血清生化指标的影响，发现添加量在100~200 g/d时未产生负面影

响。对小鼠<sup>[24]</sup>、大鼠<sup>[25]</sup>、罗非鱼<sup>[26]</sup>、猪<sup>[3]</sup>等动物的研究也表明,日粮中添加蛹虫草菌糠对血清生化指标无不良影响,这些研究说明在动物日粮中添加适量的蛹虫草菌糠较为安全。关于蛹虫草菌糠对羔羊健康的影响鲜有报道,本研究选择对生长更为有利的添加剂量0.5%菌糠组,测定了试验前后血清生化指标发现,磷和钾离子含量试验后略高于参考值,肌酐和葡萄糖含量试验后低于参考值,但与对照组没有显著差异,说明这些测定值与参考值的差异并非添加蛹虫草菌糠导致的。谷丙转氨酶参考值缺失,本研究试验前后试验组谷丙转氨酶含量与对照组没有显著差异,其余各项指标数值都在参考值区间内<sup>[6]</sup>。有研究表明,山羊的血清生化指标值受品种、年龄等多种因素影响<sup>[27]</sup>,本研究中个别指标值与参考值的略微偏差是否与之相关有待进一步研究。此外,本研究饲喂过程中也未观察到添加蛹虫草菌糠对羔羊健康的负面影响,说明在羔羊开口料中添加0.5%蛹虫草菌糠对羔羊是安全的。

## 4 结论

蛹虫草菌糠生物活性物质含量较高,开口料中添加蛹虫草菌糠可以提高断奶羔羊日增重,降低料重比,促进断奶羔羊生长。本试验条件下,山羊羔羊开口料中蛹虫草菌糠推荐添加量为0.5%。

## 参考文献:

- [1] 张平,朱述钧,钱大顺,等.北冬虫夏草功能成分及保健作用分析[J].江苏农业科学,2003(6):105-107.
- [2] 孙诗清.蛹虫草培养基的综合利用研究[D].西安:西北大学,2005.
- [3] BOONTIAM W, WACHIRAPAKON C, WATTANACHAI S. Growth performance and hematological changes in growing pigs treated with *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate [J]. Vet World, 2019, 13 (4): 768-773.
- [4] 高士友,高雯,李勇,等.北虫草和金针菇菌糠饲喂畜禽的应用效果[J].饲料研究,2008(4):27-29.
- [5] 林东文.蛹虫草菌糠作为放牧山羊补充料饲喂效果的研究[J].中国草食动物科学,2020,40(6):84-86.
- [6] PUCH D G. 绵羊和山羊疾病学[M].赵德明,韩博,译.北京:中国农业大学出版社,2004:362-366.
- [7] 刘艳芳,唐庆九,杨焱,等.蛹虫草及其培养基中主要核苷类成分的分析比较[J].食品科学,2010,31(4):139-142.
- [8] 刘朋肖,马婕馨,刘警鞠,等.优良性状蚕蛹虫草的筛选及高产虫草素液态发酵条件优化[J].菌物学报,2021,40(11):3046-3057.
- [9] 钱朋智,张梅娟,王韬,等.不同谷物培养基质对蛹虫草有效成分的影响[J].食品研究与开发,2022,43(15):25-30.
- [10] 赵丽,崔林虎,张鹏,等.不同栽培基质蛹虫草的主要有效成分含量比较[J].食药菌,2023,31(2):126-130.
- [11] NIU G Q, TAN H R. Nucleoside antibiotics: biosynthesis, regulation, and biotechnology [J]. Trends in Microbiol, 2015, 23 (2): 110-119.
- [12] 高苏,马婕馨,刘警鞠,等.虫草素的抑菌活性及机理研究[J].生物技术通报,2021,37(4):137-144.
- [13] 何先磊,唐庆九,潘江安,等.蛹虫草菌糠体外抑菌效果及其活性成分研究[J].中国食用菌,2021,40(7):65-70.
- [14] BOONTIAM W, WACHIRAPAKORN C, PHAENGPHAIREE P, et al. Effect of spent mushroom (*Cordyceps militaris*) on growth performance, immunity, and intestinal microflora in weaning pigs [J]. Animals, 2020, 10 (12): 2360.
- [15] 吕凤禄.仔猪断奶应激产生的原因、危害及预防措施[J].现代畜牧科技,2021(5):23-24.
- [16] 曹光连,高伟,丁志华,等.食用菌菌糠饲料喂养畜禽的试验研究[J].养殖与饲料,2008(2):51-53.
- [17] CHENG Y H, WEN C M, DYBUS A, et al. Fermentation products of *Cordyceps militaris* enhance performance and modulate immune response of weaned piglets [J]. S Afr J Anim Sci, 2016, 46 (2): 121-128.
- [18] 郭培红.虫草培养基残余体作为中华绒螯蟹饲料添加剂的开发与应用[D].苏州:苏州大学,2011.
- [19] HSIEH Y C, LIN W C, CHUANG W Y, et al. Effects of mushroom waster medium and stalk residues on the growth performance and oxidative status in broilers [J]. Anim Biosci, 2021, 34 (2): 265-275.
- [20] 朱艳芝,马文锋,张耀文,等.虫草多糖对蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质和肠道形态结构的影响[J].动物营养学报,2019,31(5):2323-2329.
- [21] 邢岗,袁耀武,邱小为.饲料霉变的原因、危害及预防措施[J].现代畜牧科技,2022(4):59-60.
- [22] 黄江涛,王俊杰,沈伟.饲料霉菌毒素的特征及影响山羊营养代谢的研究现状分析[J].家畜生态学报,2017,38(6):86-90.
- [23] PIN C, ANUSORN C. Effects of spent mushroom *Cordyceps militaris* supplementation on apparent digestibility, rumen fermentation, and blood metabolite parameters of goats. [J]. J Anim Sci, 2018, 96 (3): 1150-1158.
- [24] 曹锋华,谢颂钰,李晓敏,等.蛹虫草面条缓解小鼠体力疲劳及对血脂浓度影响的研究[J].粮油食品科技,2022,30(5):197-204.
- [25] 李冰,王静凤,杨延村,等.蛹虫草对糖尿病大鼠肾脏病程发展的抑制作用[J].食品科学,2011,32(15):255-259.
- [26] DOAN H V, HOSEINFAR S H, DAWOOD M A O, et al. Effects of *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate and *Lactobacillus plantarum* on mucosal, serum immunology and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Fish Shellfish Immunol, 2017, 70: 87-94.
- [27] 刘幸君.不同羊品种血液细胞计数、生化指标和脂肪酸含量的比较研究[D].泰安:山东农业大学,2012.