

陈欣, 乔慧云, 程文雨, 等. 食用菌菌渣的营养成分、发酵处理及在畜牧养殖中的应用 [J]. 畜牧与兽医, 2026, 58 (3): 119-126.

CHEN X, QIAO H Y, CHENG W Y, et al. Nutritional components fermentation treatment and application of edible fungus residue in animal husbandry [J].

Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2026, 58 (3): 119-126.

食用菌菌渣的营养成分、发酵处理及在畜牧养殖中的应用

陈欣¹, 乔慧云¹, 程文雨¹, 李富宽¹, 杨燕², 王慧^{1*}, 吕慎金^{1*}

(1. 临沂大学农林科学学院, 山东 临沂 276000;

2. 临沂市农科院, 山东 临沂 276003)

摘要: 食用菌菌渣发酵处理是目前被广泛关注的菌渣处理方式, 可有效延长菌渣保存时间, 改善其适口性, 提高利用效率。将食用菌菌渣发酵处理后作为非常规饲料原料应用于畜禽养殖中, 不仅缓解畜禽养殖中饲草料的短缺, 还能避免菌渣中营养物质的浪费, 为食用菌菌渣在动物养殖中的有效利用提供了新思路。本文从食用菌菌渣的营养成分、发酵处理及在畜牧养殖中的应用进行综述, 为食用菌菌渣的饲料化利用提供参考。

关键词: 食用菌菌渣; 营养成分; 发酵方法; 应用

中图分类号: S816.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2026)03-0119-08

Nutritional components fermentation treatment and application of edible fungus residue in animal husbandry

CHEN Xin¹, QIAO Huiyun¹, CHENG Wenyu¹, LI Fukuan¹, YANG Yan², WANG Hui^{1*}, LÜ Shenjin^{1*}

(1. College of Agriculture and Forestry Sciences, Linyi University, Linyi 276000, China;

2. Linyi Academy of Agricultural Sciences, Linyi 276003, China)

Abstract: Fermentation treatment of edible mushroom residue has attracted widespread attention as a processing method, effectively extending its shelf life, improving palatability, and enhancing utilization efficiency. Using fermented edible mushroom residue as an unconventional feed ingredient in livestock and poultry farming not only alleviates the shortage of feed resources but also prevents the waste of nutrients in the residue, offering a new approach to the effective utilization of edible mushroom residue in animal production. This paper reviews the nutritional components of edible mushroom residue, its fermentation treatment, and application of the fermented product in livestock breeding, providing a reference for the feed utilization of edible mushroom residue.

Keywords: edible mushroom residue; nutritional components; fermentation methods; application

随着养殖业生产的发展, 人畜争粮、人畜争地问题日益凸显。饲草料的短缺已成为制约我国草食畜牧业提质增效最关键的因素之一。为缓解饲料原料供需矛盾并降低饲料成本, 加快开发利用优质非常规饲料原料显得尤为重要^[1]。据统计, 2023年我国食用菌总产量达4 336.04万吨, 而每生产1 kg食用菌约产生3.25~5.0 kg菌渣^[2-3]。这些以农副产品为原料的食用菌菌渣, 不仅含有大量的干物质、碳水化合物和

矿物质等营养成分, 还残留大量菌丝, 其中包含菌体蛋白、多糖等多种活性物质, 可被动物消化利用, 有助于促进动物生长^[4]。例如, 刘启燕等^[5]研究表明, 每天补饲5 kg发酵金针菇菌渣可使奶牛产奶量达到12.47 kg/d, 较对照组显著提高1.71%; 许娟等^[6]发现, 在蛋鸡饲料中添加适量烘干后的食用菌菌渣, 可生产出富硒、富锌的功能性鸡蛋。然而, 新鲜菌渣含水量高、营养丰富, 容易腐败变质, 不利于长期贮存。在实际生产中, 菇农常将其直接丢弃或焚烧, 不仅造成资源浪费, 也带来环境污染问题^[1]。为解决这一问题, 当前业界已探索出多种资源化利用路径, 其中通过青贮等发酵处理食用菌菌渣, 具有提高菌渣营养价值, 延长菌渣储存时间等优势^[7]。将食用菌菌渣作为非常规饲料进行资源化利用, 不仅能减少农业废弃物堆积造成的环境负担, 实现资源循环利用, 还能为动物提供优质营养, 降低养殖成本, 助力养殖

收稿日期: 2025-10-06; 修回日期: 2026-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(32372939; 31802105); 山东省2022年本科教学改革研究重点项目(Z2022019); 2024年山东省自然科学基金面上项目(ZR2023MC032); 山东省羊产业技术体系临沂综合试验站项目(SDAIT-10-13)。

第一作者: 陈欣, 女, 本科

*通信作者: 王慧, 博士, 教授, 主要从事动物行为福利与健康养殖研究, E-mail: wys450@163.com; 吕慎金, 博士, 教授, 主要从事动物行为福利与健康养殖研究, E-mail: lvshenjin@lyu.edu.cn。

产业绿色可持续发展。因此,综述食用菌菌渣的营养成分、发酵处理方法及其在畜禽生产上的应用,对于食用菌菌渣的资源化利用,提高畜牧养殖效益具有重要意义。

1 食用菌菌渣的营养成分

食用菌菌渣又叫菌糠、下脚料、废料、废菌棒等,是指人们利用农副产品下脚料(如秸秆、木屑、玉米芯等)为主料栽培的食用菌采收后遗留的培养基,由食用菌菌丝残体和经过食用菌酶解的培养基原料组成^[8],菌渣富含粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤

纤维、酸性洗涤纤维、粗灰分以及钙、磷等营养物质。研究表明,1.87 kg 白灵菇菌渣相当于 1 kg 优质麦草^[9],此外,食用菌多糖具有增强免疫、抗肿瘤、保肝护肝、抗炎、抗氧化、缓解疲劳等多种生物学活性^[10]。因此,菌渣在动物饲料中具有较高的开发和应用价值^[8]。食用菌菌渣营养成分见表 1。总体而言,食用菌菌渣干物质含量丰富,粗蛋白、粗脂肪含量较低,而中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维以及酸性洗涤木质素含量较高,钙含量普遍高于磷。此外,不同食用菌菌渣同一营养物质的含量有所差异,这可能是由于菌渣的原料组成和食用菌采收次数的不同所致。

表 1 食用菌菌渣营养成分比较

食用菌菌渣	干物质/%	粗蛋白/%	粗脂肪/%	粗灰分/%	粗纤维/%	中性洗涤纤维/%	酸性洗涤纤维/%	酸性洗涤木质素/%	钙(干物质)/%	磷(干物质)/%	处理方式	参考文献
金针菇	49.21±0.08	9.04±0.16	9.15±0.08	-	-	72.85±0.92	42.80±0.96	11.07±0.49	1.70±0.15	0.78±0.03	新鲜	[11]
	24.89±1.67	12.99±0.22	1.39±0.20	6.91±0.40	-	67.97±0.28	42.33±0.63	-	9.62±0.24	2.19±0.06	烘干	[12]
	92.06	4.12	4.07	9.98	10.63	54.95	41.58	-	1.58	0.8(总磷)	-	[13]
杏鲍菇	47.80±0.09	8.87±0.14	4.54±0.02	-	-	74.53±0.54	50.94±0.37	18.04±0.13	1.64±0.03	0.18±0.03	新鲜	[11]
	93.12±0.80	12.34±0.38	0.22±0.02	14.22±1.94	-	64.33±1.43	44.41±1.25	-	-	-	烘干	[14]
	-	10.26	5.76	9.71	34.30	63.61	48.82	12.31	-	-	烘干	[15]
平菇	37.44±0.01	8.10±0.18	5.94±0.07	-	-	71.28±0.73	42.87±3.83	12.21±2.42	1.72±0.09	0.22±0.03	新鲜	[11]
	-	7.57±0.69	3.21±0.36	-	26.91±2.14	53.85±3.28	32.22±3.45	21.35±2.32	0.34±0.05	0.45±0.03	-	[16]
	57.5	8.70	2.41	29.41	-	43.97	18.69	-	0.63	0.04	-	[17]
海鲜菇	30.48±0.31	11.89±0.71	0.87±0.21	6.74±0.57	-	72.31±2.94	46.84±0.42	-	7.53±0.24	1.94±0.31	烘干	[12]
	90.97±0.64	11.65±0.33	3.52±0.05	10.47±0.11	-	56.45±1.66	-	-	2.45±0.10	0.29±0.03	风干 2 d	[18]
	36.39±0.04	8.21±0.52	-	-	-	48.25±0.99	36.52±2.00	-	-	-	新鲜	[19]
白灵菇	33.56±0.03	11.90±0.03	6.18±0.41	-	-	69.94±2.54	46.11±1.49	7.01±0.61	1.74±0.00	4.78±0.46	新鲜	[11]
	95.85	7.06	1.60	-	-	49.21	46.35	-	2.86	0.38	晒干	[20]
	-	8.55	1.08	12.52	32.11	-	-	-	3.01	1.04	-	[21]

注:“-”表示文献中未说明。

2 食用菌菌渣的发酵处理

由于食用菌菌渣产量大,晾晒与烘干费时费力,其有效保存已成为推动菌渣资源化利用的关键环节。微生物发酵技术作为一种可行的处理方式,不仅能延长菌渣的储存时间,还可提升其综合价值。通过添加青贮添加剂进行微贮,可有效提高菌渣的营养物质含量。研究表明,微贮处理 45 d 后,菌渣在反刍动物瘤胃中的营养物质有效降解率显著提升^[22]。此外,水稻秸秆与杏鲍菇菌渣混合青贮,能够改善青贮饲料的感官品质,提高粗蛋白含量和粗纤维降解率,并增强其有氧稳定性,从而更适宜作为反刍动物饲料^[23]。

菌渣作为单胃动物饲料原料时,其所含的大量木

质纤维素会严重阻碍动物对养分的消化吸收。传统固态发酵工艺主要靠环境中的微生物,存在操作开放易污染、发酵过程难以控制等缺点。多微生物协同发酵技术通过更换发酵菌株和提供适宜菌株生长的环境,来提高菌株浓度,既抑制了有害菌生长又促进了目标底物的降解^[24-25]。微生物发酵技术可有效降低菌渣中的中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维含量,从而改善菌渣的青贮品质,使其既能饲喂反刍动物也能饲喂单胃动物。多项研究表明,通过合理配比发酵菌种与条件,能够显著优化菌渣的饲用性能。例如:将新鲜金针菇菌渣接种 1% 发酵剂(83.3% 酿酒酵母、10% 枯草芽孢杆菌、6.7% 嗜酸乳杆菌)在 30 ℃ 下厌氧发酵 7 d,不仅能显著降低中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维

含量, 还可实现常温密闭保存 1 周以上^[26]。在杏鲍菇菌渣中添加 10.4% 麸皮、4.7% 的枯草芽胞杆菌和黑曲霉, 含水量在 46.1% 的情况下, 密封恒温发酵 8 d, 能显著降低杏鲍菇菌渣中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的含量, 粗蛋白和粗脂肪含量显著提高, 有浓郁的面包香味和酸香味, 提高了杏鲍菇菌渣的营养价值和感官品质, 同时能显著降低黄曲霉毒素 B1、呕吐毒素和玉米赤霉烯酮的含量, 发酵处理符合 GB 13078—2017 《饲料卫生标准》, 试验中添加的微生物能有效抑制有害菌生长, 能显著降低氨态氮含量, 但试验中并未检测发酵后亚硝酸盐含量^[14]; 新鲜全株水稻中添加 300 g/kg 杏鲍菇菌渣和 0.02 g/kg 植物乳杆菌, 青贮 60 d 可有效改善青贮品质和体外发酵特性^[27]; 平菇菌渣添加 10% 菌液 (乳酸菌、酵母菌、枯草芽胞杆菌, 菌液活菌数均为 2.5×10^7 CFU/mL)

混合, 在 30 ℃ 含水量 60% 情况下发酵 7 d, 中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量均显著降低, 粗蛋白含量显著升高^[28]。在微生物和酶的双重作用下, 发酵过程不仅能有效降解抗营养因子, 还能改善菌渣青贮品质。例如: 在食用菌菌渣中接种 10% 枯草芽胞杆菌、2% 乳酸片球菌和 2% 酿酒酵母, 配合 10% 纤维素酶、10% 木聚糖酶、2% β -半乳糖苷酶及 1% 尿素, 在 36.8 ℃ 和 59% 水分下发酵 70 h, 能显著提高中性洗涤纤维的降解率与营养成分含量^[29]; 添加 16.9% 2:1 的枯草芽胞杆菌和植物乳杆菌, 结合 16% 3:1 的纤维素酶与木聚糖酶以及 10% 玉米粉混入平菇菌渣, 在 80% 含水量 25 ℃ 下发酵 9.5 d, 不仅能降低黄曲霉毒素 B1、呕吐毒素、玉米赤霉烯酮和赭曲霉毒素的含量, 还可增加乳酸杆菌属相对丰度, 抑制有害菌生长^[30]。食用菌菌渣发酵处理方法见表 2。

表 2 食用菌菌渣固态发酵处理

菌渣种类	发酵菌种和酶制剂	发酵方法	发酵后营养成分变化	饲喂动物	文献来源
金针菇	混合发酵剂 (乳酸菌、地衣芽胞杆菌、酵母菌、枯草芽胞杆菌、粪肠球菌等, 活菌数 $\geq 5 \times 10^{11}$ CFU/g) 和混合酶制剂 (纤维素酶 $\geq 7\ 000$ U/g、木聚糖酶 $\geq 30\ 000$ U/g、 β -葡聚糖酶 $\geq 12\ 000$ U/g、果胶酶 $\geq 3\ 000$ U/g)。	将采购的混合发酵剂和混合酶制剂按产品说明混入饲料, 菌渣替代基础日粮中部分粗饲料原料混匀, 水分调节至 42%, 使用发酵袋压实密封发酵 15 d 制成发酵全混合日粮。	随着菌渣添加比例提高, 饲料酸香味加重。饲料发酵后干物质、粗灰分及中性洗涤纤维有明显的降低趋势, 粗蛋白与粗脂肪有一定程度的提高, 而钙和磷的含量变化不明显。	贵州黑山羊	[18]
	复合微生态制剂 (枯草芽胞杆菌 $\geq 1.0 \times 10^{13}$ CFU/kg、酵母菌 $\geq 5.0 \times 10^{11}$ CFU/kg, 接种比例为 2:1) 和复方酶制剂 (纤维素酶 $\geq 2.0 \times 10^6$ U/kg、葡聚糖酶 $\geq 8.0 \times 10^6$ U/kg、木聚糖酶 $\geq 2.0 \times 10^7$ U/kg, 接种比例 1:1:1)。	在菌渣中添加 2% 的复合微生态制剂和 0.3% 的复方酶制剂, 密封发酵 12 d。	将菌渣风干后检测的粗蛋白从 8.05% 上升到 9.97%, 中性洗涤纤维从 49.39% 下降到 44.65%, 酸性洗涤纤维从 33.56% 下降到 31.67%。	关中奶山羊	[31]
杏鲍菇	枯草芽胞杆菌、长枝木霉、杰丁毕赤酵母、酿酒酵母。	菌种接种量 6%、菌渣含水量 60%、发酵 6 d、发酵温度 30 ℃, 恒温箱中密封静态持续发酵。	发酵前, 粗蛋白 9.85%, 粗纤维 34.86%; 发酵后粗蛋白提高到 14.75%, 粗纤维降低至 22.47%。	山羊	[32]
	黑曲霉、枯草芽胞杆菌和嗜酸乳杆菌混合比例 2:1:1。	菌种接种量 12%、发酵时间 6 d、料水比 1:1.5、发酵温度 37 ℃, 使用全自动固态发酵设备发酵。	发酵前, 粗蛋白 9.42%, 粗纤维 32.89%; 发酵后粗蛋白提高 39.9%, 粗纤维降低 18.9%。	育肥猪	[33]
平菇	均匀混入 0.5% 活力 99 生酵剂和 0.5% 粗饲料降解剂。	菌渣加入 0.5% 的白糖和 0.5% 的尿素, 含水量 60%, 25~30 ℃ 厌氧发酵 30 d。	发酵前, 粗纤维、粗蛋白、粗脂肪含量分别为 26.17%、3.45%、2.16%; 发酵后粗纤维含量降低 53.84%, 粗蛋白含量上升了 60%, 粗脂肪含量上升了 58.80%。	育成绒山羊	[34]

续表2

菌渣种类	发酵菌种和酶制剂	发酵方法	发酵后营养成分变化	饲喂动物	文献来源
海鲜菇	活菌多复合发酵剂(活菌数:枯草芽胞杆菌 $\geq 100 \times 10^6$ CFU/g, 乳酸菌 $\geq 10 \times 10^6$ CFU/g, 酿酒酵母 $\geq 100 \times 10^6$ CFU/g, 总细菌 $\geq 210 \times 10^6$ CFU/g)。	按菌渣(鲜重)0.1%的比例添加活化后的发酵液,常温厌氧发酵45 d。	发酵前营养成分含量见表1;发酵后干物质35.71%,粗蛋白9.17%,中性洗涤纤维42.77%,酸性洗涤纤维34.45%,半纤维素从11.73%下降至8.32%,pH值从5.63降低至3.29。	肉羊(山羊)	[19]
白灵菇	酿酒酵母液和嗜酸乳杆菌液用量比7:1。	菌液接种量7.1%,菌渣和玉米粉用量比19.1:1,水料比2.2:1和初始pH值4.9,菌渣不烘干直接在发酵袋中密封恒温发酵。	发酵前营养成分含量见表1;菌渣粗蛋白含量提高了78.6%,粗纤维降低了54.85%。	肉兔	[21]

3 食用菌菌渣在动物生产中的应用

3.1 食用菌菌渣在猪生产中的应用

食用菌菌渣富含蛋白质,适量添加有助于改善动物生长性能。研究表明,在育肥猪日粮中添加5%发酵金针菇菌渣,能显著提高平均日增重,每头猪每日多增重0.05 kg,增重收入增加43.2元,养殖利润提高25.29%,料重比从3.22显著降低至3.04^[35]。然而,对于断奶仔猪,5%及以上的金针菇菌渣则会显著降低其平均日增重和平均日采食量^[36]。此外,10%发酵金针菇菌渣能显著提高育肥猪的粗蛋白表观消化率^[35]。另外,添加20%发酵灵芝菌渣可显著提高育肥猪瘦肉率,从约61.22%增至68.03%,同时降低约5.19%的饲料成本^[37]。综上,同一菌渣饲喂不同生长阶段的猪效果不同,这可能是由于不同发育阶段猪的消化器官发育以及消化功能的差异性导致的。

发酵平菇菌渣能够抑制肠道有害菌,促进有益菌增殖,对猪肠道健康具有积极影响,2%平菇菌渣发酵料饲喂育肥猪能显著提高其回肠、结肠和盲肠的乳酸杆菌含量;1%~4%的平菇菌渣发酵料能显著降低育肥猪结肠内的沙门菌含量;2%~4%平菇菌渣发酵料能显著降低育肥猪回肠和结肠大肠杆菌含量^[38]。金针菇菌渣能够提高猪只的抗氧化能力,日粮中添加1.5%~3%金针菇菌渣饲喂断奶仔猪,在第35天能够显著增加谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶的含量^[35];10%发酵金针菇菌渣饲喂初产母猪能够显著增加其丙二醛浓度、过氧化氢酶活性以及谷胱甘肽过氧化物酶活性^[39]。在免疫调节方面,菌渣能够增强猪的体液免疫和增强免疫器官发育,但对免疫调节因子的作用较为复杂,2%和4%的平菇菌渣发酵料可使育肥猪腹股沟淋巴指数显著提高,其中,2%的平菇菌渣发酵料能显著提高育肥猪血清中免疫球蛋白A、免疫球蛋白G、免疫球蛋白M和白细胞介素-10的含

量,但白细胞介素-6含量显著降低^[38]。5%发酵金针菇菌渣可显著提高育肥猪血清中免疫球蛋白A、免疫球蛋白G和免疫球蛋白M的含量,但白细胞介素-2和白细胞介素-6含量显著降低^[40]。发酵金针菇菌渣还能提高乳汁质量,初产母猪饲喂10%发酵金针菇菌渣,免疫球蛋白G和免疫球蛋白M浓度同样被显著提高,且还能显著提高母猪初乳中蛋白质含量、全乳固体含量、免疫球蛋白G和免疫球蛋白A浓度^[39]。

3.2 食用菌菌渣在家禽生产中的应用

3.2.1 肉鸡

食用菌菌渣能促进家禽生长发育。添加20 g/kg平菇菌渣饲喂肉鸡时,与对照组相比,鸡的体增重显著增加5.59%,采食量显著增加2.21%以及料重比显著增加3.46%^[41],但当添加量达到25 g/kg时,肉鸡采食量则显著降低^[42]。在鸡肉品质方面,给肉鸡饲喂每公斤基础饲料中添加10~25 g平菇菌渣,随着饲喂量的增加,其肉质略有改善,饲料消耗(FC)有所减少,这表明平菇菌渣可能是肉鸡的一种潜在饲料添加剂^[42]。饲料中添加2%金针菇菌渣能使肉鸡胸肌、腿肌的粗脂肪含量显著降低,与对照组相比,胸肌从1.64%下降到1.44%,腿肌从1.85%下降到1.49%,同时粗蛋白和总氨基酸含量显著提高,其中必需氨基酸和风味氨基酸含量极显著增加^[43]。此外,7%金针菇菌渣能改善血清生化指标,显著增加三黄鸡血清中白蛋白和高密度脂蛋白胆固醇水平,而低密度脂蛋白胆固醇、尿素氮、总胆固醇和甘油三酯的含量显著降低^[44]。金针菇菌渣还能显著增加三黄鸡总抗氧化能力,6%金针菇菌渣能显著提高过氧化氢酶、超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶含量,以及显著减少丙二醛含量,另外,6%金针菇菌渣还能优化肠道菌群,使肉鸡肠道中的拟杆菌、瘤胃球菌和粪肠球菌的比例上升,其中拟杆菌属数量显著增加^[45]。

食用菌菌渣能促进肉鸡免疫器官发育和改善血清

免疫指标。郭培军^[46]发现给肉鸡饲喂4%金针菇菌渣第14天可显著提高肉鸡肝脏指数和胸腺指数,还有研究表明7%金针菇菌渣能提高三黄鸡法氏囊指数^[44]。在改善血清免疫指标方面,4%金针菇菌渣7天能显著提高肉鸡血清免疫球蛋白G的水平,从对照组的2.05%提升到2.79%^[46]。饲喂6%金针菇菌渣能使肉鸡血清白细胞介素-1水平下降,而免疫球蛋白G、免疫球蛋白A和白细胞介素-10水平显著升高^[45]。

3.2.2 蛋鸡

适量的食用菌菌渣不仅能够提高蛋鸡的产蛋率,也影响其蛋品质。使用4%发酵海鲜菇菌渣代替豆粕的发酵料饲喂产蛋鸡,其产蛋率和产蛋量显著高于7%添加量的鸡,7%的添加量能显著增加蛋壳厚度^[47]。日粮中添加4%金针菇菌渣能显著提高蛋鸡对钙的沉积量和蛋壳钙含量,同时有效降低粪钙排泄量^[48]。此外,平菇菌渣能够改善蛋黄脂肪酸的组成,使产蛋鸡蛋黄中的多不饱和脂肪酸呈线性显著增加,饱和脂肪酸呈线性显著减少,其中4%平菇菌渣效果最为显著^[49]。

食用菌菌渣能改善蛋鸡血清中蛋白质水平和免疫功能。4%或7%发酵海鲜菇菌渣代替豆粕饲喂产蛋鸡能显著提高白蛋白含量^[47],饲喂不高于4%平菇菌渣能显著降低血清总胆固醇和高密度脂蛋白含量,并显著增加辅助T淋巴细胞含量^[49]。4%金针菇菌渣能显著提高蛋鸡血清中免疫球蛋白A、免疫球蛋白G、白细胞介素-4、白细胞介素-6和干扰素 α 含量,添加量达8%时,蛋鸡血清白细胞介素-2以及新城疫和传染性支气管炎的抗体滴度均显著提高^[48]。

3.3 食用菌菌渣在反刍动物生产中的应用

3.3.1 羊

食用菌菌渣可以代替部分粗饲料,能有效改善羊的生长性能与肉品质,但添加过量会导致饲料适口性降低、羊腹泻以及生长性能下降。添加30%发酵杏鲍菇菌渣饲喂的黑山羊平均日干物质采食量和采食率增加,且平均日增重较对照组显著提高7.84%,饲料成本降低9.73%,但50%发酵杏鲍菇菌渣饲喂的羊平均日干物质采食量和采食率降低,日增重较对照组降低15.54%,且随菌渣添加量的增加腹泻率也持续上升,与对照组的2.78%相比,腹泻率增加至12.05%^[50]。同样50%发酵海鲜菇和金针菇菌渣饲喂的羔羊腹泻率分别达9.25%和23.81%^[18]。此外,食用菌菌渣对羊肉品质和屠宰性能产生有益影响。20%平菇菌渣替代青贮玉米秸秆可显著提高育肥期肉用山羊的屠宰率^[51]。20%和30%发酵金针菇菌渣能显著增加肉羊的胴体重、屠宰率、净肉重和净肉率,以及

显著提高肉羊的肌肉红度、熟肉率、肌肉pH_{24h}值及肌纤维密度,且20%菌渣效果更优^[52]。20%发酵海鲜菇菌渣饲喂简阳大耳黄羊能显著提高羊宰前活重、眼肌面积以及背最长肌中必需氨基酸总量,且显著降低滴水损失^[19]。蛹虫草菌渣使杂交公山羊血浆胆固醇浓度呈线性降低^[53]。然而15%杏鲍菇菌渣对小尾寒羊背最长肌不饱和脂肪酸的影响较为复杂,虽显著提高了油酸和肉豆蔻酸的含量,也显著降低了多不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的比值^[54]。

食用菌菌渣能提高山羊抗氧化能力、免疫和产奶性能。10%金针菇和海鲜菇菌渣均能显著提高贵州黑山羊血清总抗氧化能力,显著提高超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化酶的活性,并有效降低丙二醛含量^[55]。30%发酵金针菇和海鲜菇菌渣能显著提高羔羊的白介素-6含量^[18];15%发酵平菇菌渣可显著提高羔羊肌酐含量以及显著降低白细胞数量^[56]。食用菌菌渣还能提高奶山羊产奶性能并且保障母羊健康,优化乳品质。菌渣代替100%小麦秸秆饲喂奶山羊后发现乳中多形核白细胞百分比降低,奶的氧化稳定性显著提高,并且不会对产奶量、奶成分和母羊的健康状况产生负面影响^[57]。30%发酵金针菇菌渣可显著提高关中奶山羊的平均日产奶量,每头羊每天产奶约2.67 kg,而对照组每头羊产奶量仅为1.71 kg/d左右^[31]。20%药用蘑菇菌渣饲喂母羊能获得更高的产奶量以及显著提高乳酪蛋白含量,且奶酪抗氧化能力显著增强,说明乳中脂肪氧化稳定性更高^[58]。

食用菌菌渣还能促进瘤胃黏膜发育,影响瘤胃发酵参数。20%平菇菌渣饲喂湖羊能显著增加瘤胃乳头的长度和宽度^[59],发酵平菇菌渣还能使湖羊及其羔羊的瘤胃氨态氮、瘤胃液丙酸和微生物蛋白质含量显著升高,15%添加量最优^[56];20%至45%发酵金针菇菌渣能提高奶山羊瘤胃氨态氮含量23.04%至47.27%;30%发酵金针菇菌渣能显著降低关中奶山羊的瘤胃pH值^[31],同样随着蛹虫草菌渣添加量的增加,山羊瘤胃pH值呈线性下降^[53]。另外,金针菇菌渣还能显著提高山羊瘤胃微生物的物种多样性和丰度,金针菇菌渣和海鲜菇菌渣虽显著降低了瘤胃液中乙酸含量,但提高了拟杆菌门、疣微菌门、浮霉菌门和螺旋菌门的相对丰度^[55];20%药用蘑菇菌渣饲喂母羊能显著降低肠道寄生虫感染率^[58];20%平菇菌渣饲喂湖羊能显著降低念珠菌的感染率,但添加15%至20%平菇菌渣不仅显著增加了担子菌的丰度,也显著增加了Phanerochaete的感染率^[59],具有增加其他病原菌的风险。

综上,食用菌菌渣在肉羊养殖中具有较高的应用价值,能有效改善肉羊生长性能和肉品质,具有抗氧

化、提高羊的免疫力和产奶性能。另外，食用菌菌渣还能促进瘤胃黏膜发育、提高瘤胃微生物菌群的多样性和丰度。

3.3.2 牛

食用菌菌渣能够改善生长性能、胴体品质，降低饲料成本，但需注意控制添加量。研究表明，15%金针菇菌渣使肉牛平均日增重显著增加 10.88%^[60]；发酵菌渣能显著增加寒武肉牛背最长肌的眼肌面积^[61]；10%杏鲍菇菌渣饲喂生长期荷斯坦奶牛可降低饲料成本，每头每天节省 5.87 元^[62]。然而，当金针菇菌渣添加量达 20% 时，肉牛采食量急剧降低，表明菌渣含量过高会影响适口性^[60]。在消化和发酵方面，16% 发酵杏鲍菇菌渣替代精补料可显著提高肉牛对饲料中粗蛋白、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率^[63]。发酵金针菇菌渣替代白酒糟对育肥牛瘤胃发酵参数和体内菌属均无不良影响。20%~40% 杏鲍菇菌渣代替全株玉米青贮饲喂肉牛可显著提高瘤胃丙酸含量、总挥发性脂肪酸浓度和菌体蛋白浓度^[64]。青贮金针菇菌渣能显著提高 TM7、假丁酸弧菌属的相对丰度，显著降低瘤胃球菌属、脱硫弧菌属的相对丰度^[65]。21% 青贮海鲜菇菌渣可改善牛肠道健康，使牛粪便中乙酸含量显著降低、丁酸含量极显著升高，并显著增加厚壁菌门和纤维杆菌门的相对丰度，显著降低拟杆菌门和变形菌门的相对丰度^[66]。发酵杏鲍菇菌渣替代 50% 酒糟饲喂肉牛，可显著提高肉牛直肠粪便中部分纤维降解菌和潜在益生菌的相对丰度^[67]。

食用菌菌渣能够增强牛的免疫功能并优化蛋白质代谢。30% 发酵杏鲍菇菌渣可提高肉牛的免疫水平，其总蛋白、血清白蛋白、血清球蛋白分别较对照组提高 8.00%、4.95% 和 11.00%^[68]。发酵金针菇菌渣代替酒糟饲喂育肥牛能显著增加淋巴细胞含量和球蛋白含量，但嗜碱性细胞含量显著降低^[69]。20% 和 40% 青贮杏鲍菇菌渣能显著提高肉牛血清总蛋白含量，其中 20% 添加水平可显著降低血清尿素氮含量^[64]；21% 青贮海鲜菇菌渣饲喂至第 35 天时，牛体内唾液尿素氮显著降低，饲喂第 65 天时，直接胆红素显著降低，有助于减轻肝脏负担^[66]。因此，食用菌菌渣在牛上也体现了较高的应用价值。能够提高牛的生产性能，改善胴体品质，增加瘤胃微生物菌群丰度。

3.4 食用菌菌渣在兔生产中的应用

食用菌菌渣能有效促进家兔生长、改善抗病力和消化能力并增强机体抗氧化功能。添加 52% 发酵白灵菇菌渣饲喂肉兔能显著提高平均日增重至 25.75 g/d，并显著提高粗纤维的消化率^[21]。在新西兰幼兔日粮中分别添加 19% 和 38% 的杏鲍菇菌渣，可使平

均日增重较对照组提高 7.8% 和 12.1%，料肉比分别降低 13.5% 和 5.4%，但腹泻率有所上升^[70]；而添加 5%~25% 香菇菌渣饲喂新西兰幼兔能够提高成活率和降低腹泻率，提高了肉兔抗病力^[71]。饲喂肉兔低于 9% 的平菇菌渣时，其门冬氨酸氨基转移酶含量显著高于对照组，说明平菇菌渣可以降低肉兔心脏及肝脏的发病率^[72]。此外，平菇菌渣能够改善新西兰兔的消化生理，尤其是盲肠发酵功能。60% 平菇菌渣能降低新西兰白兔粪便氮排出并提高氮沉积率，还显著增加兔子盲肠长度及充盈/排空盲肠重量。同时，平菇菌渣能降低盲肠 pH 值和氨氮浓度，提高总挥发性脂肪酸及其组分（乙酸、丁酸和丙酸）的比例^[73]。使用 15% 金针菇菌渣饲喂的獭兔，其对菌渣中粗蛋白、磷、半纤维素的表观消化率较高，表明该菌渣易被消化吸收^[74]。在屠宰性能和肉质方面，发酵白灵菇菌渣能显著增加肉兔的宰前活重和肝脏重，虽会显著增加肌肉的蒸煮损失，但可显著降低肌肉失水率^[21]。在抗氧化功能方面，38% 杏鲍菇菌渣能显著提高新西兰幼兔血清中超氧化物歧化酶活性和总抗氧化能力^[70]；随着发酵白灵菇菌渣添加比例的增加，肉兔血清抗氧化能力呈上升趋势，41.6% 水平可使超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性分别较对照组提高 23.68% 和 39.48%^[21]。

4 小结和展望

在食用菌菌渣饲料化利用方面，菌渣需要及时干燥、粉碎、发酵处理等才能生产合格的发酵料，完成这些处理流程，就需要购置烘干机、粉碎机、发酵剂和发酵设备等，农机的后期维护也会产生一定的成本。针对这一现状，可加大对农机及配套发酵制剂的研发投入，例如研发适配中小型种植户的低能耗环保烘干机和低成本复合专用发酵剂。

新鲜菌渣及时清理晾晒后制成的全混合日粮可用于饲喂畜禽，但要注意添加量。生产中要根据菌渣种类和不同畜禽的适应程度选择合理的加工和饲喂方式。食用菌菌渣经发酵处理可有效改善菌渣的青贮品质和营养品质，提高菌渣的适口性及在日粮中的添加量，既可作为非常规饲料原料代替部分粗饲料用于饲喂反刍动物，也可少量饲喂单胃动物，有效缓解人畜争粮问题，拓宽食用菌菌渣的资源化利用途径。

饲料添加食用菌菌渣对动物的采食行为、生长性能、屠宰性能、血清抗氧化性能、免疫功能、肉品质以及微生物菌群等均具有较好的改善作用。但目前关于食用菌菌渣在畜牧生产中的应用还存在机制探讨不深入、长期效果评价跟踪有限、菌渣源功能性饲料开发不足等问题。未来应进一步加强食用菌菌渣对畜禽

饲喂效果的长期跟踪评价,多组学解析结合分子生物学手段深入探讨作用机制,以及针对不同畜禽的生理特点和营养需求开发食用菌菌渣源性功能性饲料。

参考文献:

- [1] 唐淑珍,周瑜,陈翔宇,等.菌糠饲料化利用研究进展[J].草食家畜,2021(2):1-5.
- [2] 中国食用菌协会.2023年度全国食用菌统计调查结果分析[J].中国食用菌,2025,44(1):120-129.
- [3] 张莹,田龙,徐敏慧,等.食用菌菌糠综合利用研究进展[J].微生物学通报,2020,47(11):3658-3670.
- [4] 刘茜,龙勇,杨洋.食用菌菌渣应用于反刍动物饲料的研究进展[J].贵州畜牧兽医,2023,47(3):39-42.
- [5] 刘启燕,王宇,张铁凤,等.发酵金针菇菌糠对泌乳奶牛生产性能及血液生理指标的影响[J].中国食用菌,2019,38(7):58-63.
- [6] 许娟,王喜庆,贾太青.食用菌菌渣对鸡蛋中硒锌含量的影响[J].农民致富之友,2016(12):261-262.
- [7] 袁国宏,张立东,段平平,等.食用菌菌糠作为反刍动物饲料的研究进展[J].家畜生态学报,2023,44(10):1-8.
- [8] 郭道君,史玉萍,许倩,等.食用菌菌渣饲料在肉羊生产中的应用[J].现代畜牧科技,2025(5):70-73.
- [9] 陈学通,马先锋,曹志东,等.白灵菇菌渣饲喂育肥羊效果测定报告[J].中国草食动物,2005,25(5):45-46.
- [10] 张斌.金针菇菌渣中多糖的提取分离、结构初步鉴定及抗氧化活性研究[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [11] 李天宇,郑毅,解盼盼,等.7种菌糠及其青贮饲料的营养价值和发酵品质[J].中国畜牧杂志,2018,54(1):94-98.
- [12] 杨官敏,李小冬,洪莉平,等.贵州5种食用菌菌糠饲料的营养组分与饲用价值[J].贵州农业科学,2022,50(7):73-77.
- [13] 王宇,李晗,高景,等.金针菇菌糠营养价值评定及其对肉牛生产性能的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(5):115-122.
- [14] 李佳腾.纤维素降解优势菌株的筛选与杏鲍菇菌糠混菌发酵条件的优化[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [15] 梁晓君,廖才学,黄振勇,等.分步发酵提高杏鲍菇菌糠蛋白研究[J].饲料工业,2025,46(13):104-110.
- [16] 刘媛,许莉莎.固态发酵富硒平菇菌糠饲料工艺研究[J].中国饲料,2024(20):84-87.
- [17] 袁国宏,李昌昌,胡丽红,等.平菇菌糠的营养价值及饲用安全性评价[J].饲料研究,2023,46(11):16-21.
- [18] 龙勇.食用菌菌渣和中药渣黑山羊高效饲料化利用研究[D].贵阳:贵州大学,2023.
- [19] 张耀,黄小云,陈鑫珠,等.海鲜菇菌糠发酵饲料对山羊屠宰性能及肉品质的影响[J].草业学报,2022,31(9):195-205.
- [20] 潘军,高腾云,付彤,等.白灵菇菌糠对肉牛适口性和育肥效果的影响[J].家畜生态学报,2010,31(1):59-63.
- [21] 李志涛.白灵菇菌糠发酵饲料制备工艺优化及其对肉兔生长性能影响及机理研究[D].邯郸:河北工程大学,2016.
- [22] 陈超,范海瑞,汪波,等.金针菇菌糠微贮营养价值评价及瘤胃有效降解率研究[J].动物营养学报,2019,31(5):2350-2356.
- [23] 钟港.水稻秸秆与杏鲍菇菌糠混合青贮的体外评价及对肉牛生长性能和屠宰性能的影响[D].长沙:湖南农业大学,2023.
- [24] 奚志芳,李雨纯,林依依,等.发酵技术在农产品加工中的应用研究[J].安徽农业科学,2025,53(1):12-15.
- [25] 杨瑞飞,刘亚玲,赵桂彬,等.微生物发酵饲料的生产与应用探究[J].酿酒,2023,50(3):142-145.
- [26] 沈城,马升,黄荫鸿,等.固态发酵对金针菇菌糠饲用品质的影响[J].饲料工业,2022,43(3):25-29.
- [27] 蒋润瑶,武伟成,陈东,等.杏鲍菇菌糠与植物乳杆菌对全株水稻青贮品质和体外瘤胃发酵特性的影响[J].饲料研究,2024,47(21):109-114.
- [28] 杨晓雪,杨东旭,栾嘉明,等.不同微生物发酵平菇菌糠的发酵品质及饲用价值评定[J].动物营养学报,2025,37(5):3466-3475.
- [29] ZHANG A, HE W, HAN Y, et al. Cooperative fermentation using multiple microorganisms and enzymes potentially enhances the nutritional value of spent mushroom substrate [J]. Agriculture, 2024, 14(4): 629.
- [30] 张立东.平菇菌糠菌酶处理工艺参数优化及营养价值评定[D].阿拉尔:塔里木大学,2024.
- [31] 廖云琼,熊忙利,康永刚.发酵金针菇菌糠对关中奶山羊产奶性能、营养物质表观消化率及瘤胃发酵参数的影响[J].饲料研究,2023,46(16):14-17.
- [32] 李涛,欧阳香,李成舰,等.杏鲍菇菌糠饲料的发酵工艺及其在山羊日粮中的应用研究[J].邵阳学院学报(自然科学版),2021,18(6):71-77.
- [33] 刘世操,刘梓洋,祝爱侠,等.杏鲍菇菌糠固态发酵工艺条件的优化及在生长猪上的应用[J].中国畜牧杂志,2017,53(9):86-91.
- [34] 曲强.平菇菌糠饲料发酵研究及绒山羊饲喂试验[J].辽宁农业职业技术学院学报,2018,20(1):16-18.
- [35] 林晗,程英霞.不同水平金针菇菌糠对育肥猪生长性能、养分表观消化率及经济效益的影响[J].饲料研究,2024,47(2):21-25.
- [36] LIU X, ZHAO J, ZHANG G, et al. Dietary supplementation with *Flammulina velutipes* stem waste on growth performance, fecal short chain fatty acids and serum profile in weaned piglets [J]. Animals, 2020, 10(1): 82.
- [37] 曹启民,张永北,宋绍红,等.灵芝菌糠发酵饲料对育肥猪生产性能的影响[J].中国饲料,2013(9):39-41.
- [38] 唐璐,曹岩岩,蔚建军.平菇菌糠发酵饲料对育肥猪生长性能、肠道微生物和免疫功能的影响[J].中国饲料,2025(2):73-76.
- [39] 张洪才,沈城,马升,等.发酵金针菇菌糠对母猪生产性能、抗氧化性能、免疫性能及初乳品质的影响[J].上海畜牧兽医通讯,2022(2):21-23.
- [40] 沈城,陈斌,马升,等.发酵金针菇菌糠对育肥猪生产性能、免疫性能和抗氧化性能的影响[J].猪业科学,2022,39(4):84-85.
- [41] 郑秋桦,郑炜彬,聂国添,等.高营养水平日粮中添加平菇菌渣对肉鸡生产性能的影响[J].中国饲料,2022(20):120-123.
- [42] RUDY C M. Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) waste powder: its in-

- fluence on the growth and meat quality of broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*) [J]. World Journal of Agricultural Research, 2016, 4 (4): 98-108.
- [43] 闫昭明, 马杰, 段金良, 等. 饲料中添加金针菇菌渣对黄羽肉鸡生长性能、肉品质及肌肉营养成分的影响 [J]. 动物营养学报, 2018, 30 (5): 1958-1964.
- [44] 李元晓, 刘丹, 张才, 等. 金针菇菌糠对三黄鸡生长性能、血清生化指标、免疫器官指数及回肠形态的影响 [J]. 饲料研究, 2024, 47 (16): 53-57.
- [45] LI Y, LIU D, LI W, et al. Optimizing *Flammulina velutipes* residue use: impact on health metrics and performance in three-yellow chickens [J]. Front Anim Sci, 2025, 5: 1458762.
- [46] 郭培军. 金针菇菌糠对肉鸡免疫调节机制及微生物菌群的影响 [J]. 中国饲料, 2024 (20): 128-131.
- [47] 王一平. 菌渣发酵饲料对蛋鸡生产性能、蛋品质及血液生化指标的影响 [J]. 浙江农业科学, 2020 (6): 1200-1202.
- [48] 陈盛聚, 李冰, 潘秋明, 等. 金针菇菌渣对蛋鸡生产性能、钙代谢、免疫性能和抗体滴度的影响 [J]. 中国饲料, 2018 (14): 88-92.
- [49] KARAGEORGOU A, MOUIKI D, LOLOU D M, et al. The influence of dietary supplementation with oyster mushroom waste on laying hens' performance, egg quality and immune parameters [J]. Poult Sci, 2024, 103 (12): 104320.
- [50] 袁超, 吴小敏, 韩勇, 等. 杏鲍菇菌渣发酵全混合日粮对贵州黑山羊生长性能、养分表观消化率的影响 [J]. 饲料研究, 2023, 46 (11): 7-11.
- [51] 靳安红. 平菇菌糠部分替代全株青贮玉米对育肥期肉用山羊生长性能、表观消化率及屠宰性能的影响 [J]. 青海畜牧兽医杂志, 2024, 54 (2): 17-23.
- [52] 王东, 诸灵. 发酵金针菇菌糠对肉羊生长性能、肉品质及养殖成本的影响 [J]. 饲料研究, 2024, 47 (17): 20-24.
- [53] CHANJULA P, CHERDTHONG A. 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.
- [54] 王吉峰, 牛力斌, 庄桂玉, 等. 杏鲍菇对小尾寒羊生长性能及背最长肌中脂肪酸成分的影响 [J]. 养殖与饲料, 2020, 19 (9): 20-23.
- [55] 李小冬, 于二汝, 裴成江, 等. 菌糠替代紫花苜蓿对贵州黑山羊母羊生产性能、抗氧化能力和瘤胃微生物区系的影响 [J]. 饲料研究, 2024, 47 (16): 1-7.
- [56] 韦带莲, 李薇, 王萍. 发酵平菇菌糠对羔羊生长性能、血清生化指标及瘤胃发酵参数的影响 [J]. 饲料研究, 2024, 47 (22): 17-21.
- [57] KARAGEORGOU A, HAGER-THEODORIDES A L, GOLIOMYTIS M, et al. Effect of the replacement of wheat straw by spent mushroom substrate in the diet of dairy ewes during late lactation on milk production, composition, oxidation stability and udder health [J]. Sustainability, 2024, 16 (11): 4550.
- [58] BONANNO A, DI GRIGOLI A, VITALE F, et al. Effects of diets supplemented with medicinal mushroom myceliated grains on some production, health, and oxidation traits of dairy ewes [J]. Int J Med Mushrooms, 2019, 21 (1): 89-103.
- [59] LU ML, YUAN G H, REHEMUJIANG H, et al. Effects of spent substrate of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on ruminal fermentation, microbial community and growth performance in Hu sheep [J]. Front Microbiol, 2024, 15: 1425218.
- [60] 姜殿文, 宫志远, 盛清凯. 金针菇菌渣日粮对肉牛生产性能的影响 [J]. 中国草食动物, 2011, 31 (5): 32-34.
- [61] KIM Y I, LEE Y H, KIM K H, et al. Effects of supplementing microbially-fermented spent mushroom substrates on growth performance and carcass characteristics of hanwoo steers (a field study) [J]. Asian-Australas J Anim Sci, 2012, 25 (11): 1575-1581.
- [62] 单华佳, 魏生龙, 马金, 等. 杏鲍菇菌糠对荷斯坦牛生长性能和经济效益的影响 [J]. 中国牛业科学, 2019, 45 (5): 51-54.
- [63] 柳跃辉, 王立志, 袁敏, 等. 发酵杏鲍菇菌糠饲喂肉牛的效果研究 [J]. 四川畜牧兽医, 2024, 51 (2): 20-22.
- [64] 王丽佳, 赵镭煌. 杏鲍菇菌糠对肉牛生长性能、瘤胃发酵参数及经济效益的影响 [J]. 饲料研究, 2025, 48 (6): 28-32.
- [65] 钟港, 陈东, 田科雄, 等. 发酵菌糠替代白酒糟对育肥牛瘤胃发酵参数、微生物菌群结构和功能的影响 [J]. 动物营养学报, 2022, 34 (1): 381-394.
- [66] 张娣. 海鲜菇菌渣青贮饲料对牛代谢和粪便菌群的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [67] FENG X, DU Y, LUAN J, et al. Growth performance, apparent digestibility, serum indices, and fecal bacterial community diversity in Yanbian cattle fed diets with fermented spent mushroom substrate from *Pleurotus eryngii* instead of brewers spent grain [J]. Anim Sci J, 2025, 96 (1): e70059.
- [68] 魏涛. 杏鲍菇菌糠的营养价值及其在肉牛育肥上的应用 [D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- [69] 武伟成, 钟港, 陈东, 等. 金针菇菌糠替代酒糟对育肥牛生长性能、血液常规和血液生化指标的影响 [J]. 中国饲料, 2023 (1): 142-147.
- [70] 邵乐, 秦枫, 潘孝青, 等. 杏鲍菇菌糠对幼兔生长性能、消化率及抗氧化性能的影响 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2019, 41 (6): 8-14.
- [71] 李进杰, 蒋明琴, 刘燕. 香菇菌糠代替部分麸皮饲喂生长期肉兔效果试验 [J]. 畜牧与兽医, 2014, 46 (3): 47-49.
- [72] 赵志鹏, 袁崇善, 任东波, 等. 平菇菌糠对生长期肉兔饲养效果的试验研究 [J]. 内蒙古农业大学学报 (自然科学版), 2017, 38 (5): 7-11.
- [73] MORSHEDY S A, GAD K M, BASYONY M M, et al. The feasibility of partial replacement of berseem hay by spent mushroom (*Pleurotus osteratus*) substrate in rabbit diets on growth performance, digestibility, *Caecum* fermentation, and economic efficiency [J]. Arch Anim Nutr, 2023, 77 (6): 421-436.
- [74] 崔嘉, 郭佳伟, 忻龙祚, 等. 金针菇菌糠对獭兔的饲用价值评价 [J]. 中国养兔, 2017 (2): 8-13.