

廖云琼, 康永刚, 昌莉丽. 发酵白酒糟的营养价值及其在动物生产中应用的研究进展 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (2): 142-148.

LIAO Y Q, KANG Y G, CHANG L L. Progress in research on nutritional value and application of fermented distillers' grains in animal production [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56 (2): 142-148.

发酵白酒糟的营养价值及其在动物生产中应用的研究进展

廖云琼, 康永刚*, 昌莉丽

(徐州生物工程职业技术学院, 江苏 徐州 221006)

摘要: 白酒糟是酿酒产业的副产品, 是一种优质的粗饲料资源。白酒糟经微生物发酵后, 能改善白酒糟营养特性, 提高饲用价值, 进而提高白酒糟的利用率。本文综述了发酵白酒糟的营养价值、发酵工艺及对动物生长、免疫、肠道健康的影响, 旨在为饲用豆粕减量替代行动的深入实施提供参考。

关键词: 发酵白酒糟; 营养价值; 发酵工艺; 生长发育; 免疫; 肠道健康

中图分类号: S816.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2024)02-0142-07

Progress in research on nutritional value and application of fermented distillers' grains in animal production

LIAO Yunqiong, KANG Yonggang*, CHANG Lili

(Xuzhou Vocational College of Bioengineering, Xuzhou 221006, China)

Abstract: Distillers' grains are a by-product of the brewing industry and a high-quality roughage resource. After microbial fermentation, the nutritional characteristics and the feeding value of the grains can be improved, and their utilization rate is raised. Aiming at providing reference for further implementation of the action of reducing and replacing feed soybean meal, the nutritional value of fermented distillers' grains, the fermented technology and their effects on the growth, immunity and intestinal health of animals are summarized in this paper.

Keywords: fermented distillers' grains; nutritional value; fermented technology; growth development; immunity; intestinal health

近年来, 我国养殖业发展迅速, 受国际市场的影响, 蛋白质饲料原料的价格大幅上涨, 其中豆粕价格已突破 5 500 元/吨, 导致养殖成本增加^[1]。为保障我国畜牧业健康发展, 稳固饲料原料供应, 需大力落实农业农村部关于“提效减量、开源替代”的任务部署^[2], 深入实施饲用豆粕减量替代行动, 以缓解对进口豆粕的依赖程度及蛋白饲料紧缺的现实问题^[3]。

目前替代豆粕的原料主要有棉籽粕、菜籽粕、花生粕、酒糟、玉米干酒糟及其可溶物等^[4], 优先考虑使用菜籽粕、棉籽粕、酒糟等常规饲料^[5]。酒糟是玉米、麦及高粱等作物在酿酒过程中产生的剩余产物^[6], 年产量已超 2 000 万吨, 具有营养丰富、价格低廉等特点。新鲜白酒糟直接饲喂会引起动物营养不

良、消化不良、甚至酒精中毒^[7], 还易造成瘤胃胀气、酸中毒^[8], 因此, 为了提高白酒糟的利用率及安全性, 对白酒糟进行微生物发酵处理。通过发酵, 既能提高粗蛋白质含量、降低粗纤维含量、改善氨基酸组成^[9], 又能降解酒糟内的有害物质^[10]、改善酒糟品质^[11], 能促进和维持动物肠道菌群平衡^[12]。本文将从发酵白酒糟的营养成分、发酵工艺及在动物生长、免疫、肠道健康的影响进行综述, 旨在为饲用豆粕减量替代行动的深入实施提供参考。

1 发酵白酒糟的营养物质

发酵白酒糟含有丰富的营养物质, 其养分含量因酿酒原料和酿造工艺不同而呈现较大差异^[13]。由表 1 可知, 经微生物发酵后, 能够有效提高白酒糟粗蛋白质含量, 降低粗纤维含量, 其他营养成分也有不同程度的变化, 这可能与选用的菌种和发酵工艺参数不同有关。也有研究发现, 白酒糟发酵后, 还会产生脂肪酸、纤维素酶、维生素、蛋白酶和生物活性等物质^[14-16], 从而进一步提高白酒糟的消化利用率。综上所述可知, 白酒糟经发酵后营养物质含量丰富, 是一种

收稿日期: 2023-06-12; 修回日期: 2023-12-12

基金项目: 江苏省高等职业院校专业带头人高端研修资助项目 (2023TDFX011); 江苏高校“青蓝工程”项目 ([2022] 29 号)

第一作者: 廖云琼, 女, 硕士, 副教授

* 通信作者: 康永刚, 副教授, 研究方向为反刍动物生产管理,

E-mail: 184322897@qq.com.

优质的饲料资源，但在饲喂动物时，应根据动物营养需求并结合发酵白酒糟营养成分含量确定其替代比例。

表 1 发酵白酒糟常规营养成分含量 (干物质基础)

选用菌种	时间	含量/%										参考文献
		干物质	粗蛋白质	真蛋白	粗纤维	粗脂肪	粗灰分	中性洗涤纤维	酸性洗涤纤维	钙	磷	
酿酒酵母	发酵前	94.19	15.43	—	—	—	11.21	56.53	45.48	0.29	0.25	[8]
	发酵后	94.08	25.50	—	—	—	8.33	43.36	34.66	0.36	0.39	
酵母菌	发酵前	92.04	21.84	—	24.99	—	9.15	59.96	36.79	0.20	0.29	[17]
	发酵后	94.16	25.50	—	21.82	—	10.91	57.21	42.61	0.33	0.47	
白地霉、米曲霉、枯草芽胞杆菌和绿色木霉	发酵前	—	16.32	15.01	34.90	2.58	12.65	65.39	55.60	0.22	0.18	[18]
	发酵后	—	29.43	24.34	20.06	2.01	0.28	47.23	37.67	0.28	0.37	
酿酒酵母、枯草芽胞杆菌、地衣芽胞杆菌和黑曲霉	发酵前	—	29.49	19.74	19.62	10.11	—	—	—	0.45	0.48	[19]
	发酵后	—	30.90	22.98	17.60	10.18	—	—	—	0.51	0.50	
枯草芽胞杆菌、白地霉和热带假丝酵母	发酵前	—	19.54	12.97	23.78	—	—	—	—	—	—	[20]
	发酵后	—	30.53	23.47	18.18	—	—	—	—	—	—	
产阮假丝酵母、黑曲霉、米曲霉和枯草芽胞杆菌	发酵前	—	25.83	18.32	—	—	—	44.47	39.65	—	—	[21]
	发酵后	—	31.60	21.19	—	—	—	33.25	28.37	—	—	
嗜酸乳杆菌、班图酒香酵母菌、绿色木霉和枯草芽胞杆菌	发酵前	92.70	15.37	—	—	—	5.86	21.20	12.80	—	—	[22]
	发酵后	95.31	23.20	—	—	—	11.15	12.53	6.37	—	—	
黑曲霉、粪肠球菌、植物乳杆菌和酿酒酵母	发酵前	—	18.40	—	—	—	—	64.94	49.57	—	—	[23]
	发酵后	—	24.74	—	—	—	—	42.03	22.79	—	—	
植物乳杆菌、枯草芽胞杆菌、酿酒酵母菌、纤维素酶和木聚糖酶	发酵前	—	18.13	—	—	5.18	7.44	44.67	—	—	—	[24]
	发酵后	—	18.88	—	—	5.57	7.86	35.20	—	—	—	
酿酒酵母	发酵前	85.63	18.43	—	24.15	4.64	1.49	—	—	0.36	0.21	[25]
	发酵后	89.15	24.75	—	15.50	3.61	2.37	—	—	0.38	0.38	

注：—表示暂无数据。下同。

2 白酒糟的发酵工艺

白酒糟中因含有大量的粗纤维，难以被动物消化利用，因此，需要借助微生物发酵工艺来改善白酒糟的营养成分。发酵工艺参数是决定发酵品质好坏的重要因素^[26]，其中发酵温度、pH值、发酵时间和接种量均会影响白酒糟的发酵效果^[27]。目前针对白酒糟发酵工艺的研究较多，且主要采用固态发酵技术将白酒糟加工成蛋白质饲料，这样既节约了饲料资源，又提高了白酒糟的利用率^[28]。由表2可知，白酒糟的发酵温度一般控制在30℃，发酵时间大多选择2~3d，而接种量和菌种比例随着酒糟类型和菌种的不

同发生了较大变化。还有研究发现，王霄霄等^[29]利用青贮原理将白酒糟与甜高粱秸秆混合发酵后，能够显著提高发酵品质和营养价值，较好地解决了高粱秸秆营养价值低、鲜酒糟保存困难等问题。范恩帝等^[30]利用酿酒酵母、产阮假丝酵母、植物乳杆菌等复合益生菌对白酒糟和麸皮混合发酵，当麸皮添加量为10%时，粗蛋白质含量最高，添加20%麸皮时，粗纤维含量显著降低。从上述研究可以看出，不同的白酒糟在优化的条件下发酵，均能有效改善白酒糟的发酵品质，这对于白酒糟作为豆粕部分替代品具有重要的意义。但在实际白酒糟发酵过程中应考虑菌种的类型、发酵的温度、发酵的时间及接种量。

表 2 白酒糟的发酵工艺

选用菌种	发酵工艺参数					影响	参考文献
	发酵温度/℃	pH 值	发酵时间/h	接种量	接种比例		
嗜酸乳杆菌、班图酒香酵母菌、绿色木霉、枯草芽胞杆菌	30	—	168	6%	等比例	粗蛋白、粗灰分含量分别提高了 50.90%、90.3%、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维分别降低了 50.2%、41.2%	[22]
黑曲霉、粪肠球菌、植物乳杆菌、酿酒酵母	30	6	120	8%	等比例	粗蛋白质含量提高 34.46%，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量分别降低 35.28% 和 54.02%	[23]
产朊假丝酵母、枯草芽胞杆菌、米根霉	30	5.5	52	5%	等比例	粗蛋白质含量提高了 48.83%	[31]
芽胞杆菌、酿酒酵母、白地霉、康宁木霉	32.8	6.0	144	9%	等比例	粗蛋白、真蛋白含量分别提高了 28.05%、37.19%，粗纤维含量降低了 11.00%	[32]
枯草芽胞杆菌、白地霉、产朊假丝酵母	30	—	72	15 mL/100 g	等比例	真蛋白的含量为 24.85%，粗蛋白含量 32.09%，粗纤维含量 17.66%	[33]
米根霉、枯草芽胞杆菌、产朊假丝酵母	32	—	72	8%	2 : 1 : 2	粗蛋白含量、真蛋白分别提高了 43.07%、41.76%。	[34]
白地霉、米曲霉、绿色木霉、枯草芽胞杆菌	30	5.0	72	10%	等比例	真蛋白、总氨基酸含量分别提高了 57.85%、24.47%，粗纤维含量降低了 42.39%	[35]
产朊假丝酵母、毛霉	30	—	144	10%	—	真蛋白含量提高了 27.44%，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维分别降低了 5.53% 和 3.31%	[36]
白地霉、黑曲霉、米曲霉、产朊假丝酵母、热带假丝酵母	—	6.31	48	3.6%	—	蛋白含量显著提高	[37]
酵母菌、纤维素降解菌	30	—	72	0.6%	1 : 2	粗蛋白质含量提高了 60.43%	[38]
白地霉、黑曲霉、米曲霉、产朊假丝酵母、热带假丝酵母	—	6.31	48	3.5%	—	蛋白质显著增加	[39]
热带假丝酵母、枯草芽胞杆菌	37	—	48	15%	1 : 2	粗蛋白含量最高	[40]
枯草芽胞杆菌、热带假丝酵母菌	37	—	48	10%	2 : 1	粗蛋白含量为 39.17%	[41]

3 发酵白酒糟在动物生产中的应用

3.1 发酵白酒糟对动物生长发育的影响

发酵白酒糟中富含的营养成分能够满足动物生长发育的需要。目前发酵白酒糟在牛、猪、禽生产中的研究较多，对动物的增重、增产起到良好的促进作用。有研究发现，利用发酵白酒糟替代部分基础饲料并不影响育肥猪的生长性能，且添加 5% 发酵酒糟可显著增加平均日增重，降低料重比^[42]。王雪祯^[43]研究发现，饲喂 4% 的发酵白酒糟增加了牦牛的平均日增重，这可能与发酵酒糟适口性的改善能提高采食量，粗纤维含量降低能提高饲料利用率等有关，也有可能是因为发酵白酒糟中含有的香气物质如乙酸乙

酯、乳酸乙酯、己酸乙酯等能提高动物的采食量^[44]；但当添加量为 6% 时，平均日增重出现下降，说明发酵白酒糟不宜添加过量。由表 3 可知，大量的研究也证实了饲喂发酵白酒糟能提高牛、猪、禽的生长性能，但在饲喂时要严格控制发酵白酒糟的添加量。还有研究发现将白酒糟与大麦混合发酵饲喂延边牛^[45]，其生长性能有提高的趋势；同时也可以替代豆粕，在部分替代豆粕的情况下生长性能也能得到改善^[46]。除此之外，李军涛等^[47]在草鱼饲料中添加酒糟酵母培养物，能够显著加快草鱼的生长速度，提高饲料的利用率。综上，发酵白酒糟饲喂畜禽，具有促进动物生长、提高生产性能的作用。

表3 发酵白酒糟对动物生长发育的影响

动物类型	选用菌种	影响	参考文献
肉牛	酿酒酵母	平均日增重提高了4.14%，料重比降低了4.68%	[8]
奶牛	酵母菌	平均日增重提高了23.46%，料重比降低了18.50%	[17]
羔羊	酿酒酵母、枯草芽胞杆菌、地衣芽胞杆菌、黑曲霉	平均日增重提高了16.33%，料重比降低了14.19%	[19]
哺乳母猪	酿酒酵母	初生重、断奶重和平均日增重分别提高了2.83%、1.24%和0.66%	[46]
育肥猪	枯草芽胞杆菌	日增重提高9.31%，料重比降低9.73%	[48]
育肥猪	黑曲霉、枯草芽胞杆菌、嗜酸乳杆菌	平均日采食量提高了14.12%，料重比降低了7.5%	[49]
育肥牛	乳酸菌、枯草芽胞杆菌、尿肠球菌	平均日增重提高了15.79%，料重比降低了9.3%	[50]
藏绵羊	黑曲霉、米曲霉	平均日增重提高了21.32%，料重比降低了11.75%	[51]
肉仔鸡、蛋鸡	酵母菌	肉仔鸡平均日增重提高了1.21%，料重比降低了2.86%；蛋鸡平均产蛋率提高了7.29%，料蛋比降低了8.26%	[52]
樱桃谷肉鸭	酿酒酵母	平均日增重提高了1.58%，料重比降低了2.44%	[53]
西杂牛	乳酸菌、酵母菌、芽胞杆菌	平均日增重提高了35.51%，采食量提高了34.79%	[54]
山麻母鸭	乳酸菌、枯草芽胞杆菌、酵母菌	产蛋率提高了4.44%，料蛋比降低了6.15%，日产蛋重提高了6.30%	[55]
麦洼公牦牛	产阮假丝酵母、黑曲霉、米曲霉、枯草芽胞杆菌	平均日增重提高了15.51%，料重比降低了7.88%	[56]
麦洼牦牛	酵母菌	平均日增重提高了16.67%，料重比降低了9.33%	[57]
蛋鸡	酵母菌	产蛋率分别提高了7.29%、8.01%，料蛋比分别降低了8.26%、6.20%	[58]
肉仔鸡	酵母菌	平均日增重提高了3.95%，采食量提高了5.60%	[59]
肉鸡	酿酒酵母、枯草芽胞杆菌、植物乳杆菌、凝结芽胞杆菌	平均日增重提高了13.90%，料重比降低了7.89%	[60]

3.2 发酵白酒糟对动物机体免疫力的影响

动物机体免疫力与免疫器官的发育状况直接相关，通常用胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数等指标来反映机体免疫水平高低；免疫活性分子含量也能反映机体免疫应答水平的强弱^[61-62]，常用免疫球蛋白A、G、M含量来评价机体免疫功能的强弱^[63-64]。有研究发现，酒糟直接饲喂会对免疫器官造成损伤，而经过微生物发酵后，能有效提高其安全性，增强机体的免疫功能^[60]。由表4可知，白酒糟发酵后饲喂动

物，均能对动物免疫球蛋白和免疫器官指数产生积极的作用。而郑荷花^[24]等研究认为，饲料中添加混菌发酵或菌酶协同发酵酒糟麸皮混合物，肉鸡的脾脏指数、胸腺指数及法氏囊指数均无显著影响，这可能与发酵菌种、添加量有关。还有研究发现，饲料中添加10%~20%汾酒酒糟，可提高肉兔的部分免疫因子水平，增强肉兔免疫力^[65]。综上所述可知，饲喂发酵白酒糟，能够促进动物机体免疫器官的发育和IgG、IgA及IgM的生成，具有增强动物机体免疫力的作用。

表4 发酵白酒糟对动物机体免疫力的影响

动物类型	选用菌种	影响	参考文献
育肥母牛	复合菌	显著提高血清IgA含量	[9]
肉鸡	植物乳杆菌、枯草芽胞杆菌、酿酒酵母菌、纤维素酶、木聚糖酶	提高胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数	[24]
哺乳母猪	酿酒酵母	显著提高血清IgG含量，提高IgA和IgM含量	[46]
西杂牛	乳酸菌、酵母菌、芽胞杆菌	显著提高血清IgA含量	[54]
山麻母鸭	乳酸菌、枯草芽胞杆菌、酵母菌	显著提高空肠黏蛋白2、SIgA的mRNA相对表达量及SIgA含量	[55]
肉鸡	酿酒酵母、枯草芽胞杆菌、植物乳杆菌、凝结芽胞杆菌	显著提高脾脏指数、肝脏指数和胸腺指数	[60]

3.3 发酵白酒糟对动物肠道健康的影响

小肠是动物消化吸收的主要场所,其正常功能与肠道的长度、绒毛高度、隐窝深度及肠道菌群平衡等因素有关^[66-67]。因发酵酒糟中富含微生物菌群和小肽、有机酸等多种促生长因子^[57],可促进肠道蠕动和消化液分泌,维持动物肠道微生态平衡,从而改善动物消化道吸收功能。阮栋等^[55]在饲料中添加4%发酵酒糟饲喂蛋鸭,与饲喂发酵混合饲料比较,蛋鸭的肠道消化酶活性增加。田璐^[53]在饲料中添加30%发酵白酒糟饲喂樱桃谷肉鸭,肉鸭的十二指肠、空肠相

对重量及空肠隐窝深度显著提高,这可能与发酵物中含有的益生菌及其次生代谢物有关,两者均能抑制肠道有害菌繁殖,维持肠道生态平衡,从而促进了肠道的发育^[68-69]。此外,Tiwari等^[70]利用体外模型,研究发现大麦啤酒糟等6种纤维饲料可能发挥与菊粉相当的益生元作用,从而影响了胃肠道微生物菌群。大量研究表明,发酵白酒糟可提高肠道消化酶的活性,调节肠道菌群平衡,具有促进动物肠道健康的作用(见表5)。

表5 发酵白酒糟对动物肠道健康的影响

动物类型	选用菌种	影响	参考文献
育肥猪	枯草芽胞杆菌	降低了腹泻率	[48]
肉仔鸡、蛋鸡	酵母菌	提高空肠乳酸杆菌和双歧杆菌含量,降低了空肠乳酸菌、致病大肠杆菌和沙门菌含量	[52]
樱桃谷肉鸭	酿酒酵母	显著提高十二指肠、空肠相对重量和空肠隐窝深度,显著降低回肠相对长度	[53]
山麻母鸭	乳酸菌、枯草芽胞杆菌和酵母菌	显著降低了肌胃和腺胃pH值,显著提高了空肠脂肪酶和糜蛋白酶活性	[55]
蛋鸡	酵母菌	显著降低空肠中大肠杆菌和沙门菌数量	[58]
肉仔鸡	酵母菌	增加空肠的乳酸杆菌和双歧杆菌数量	[59]
肉鸡	酿酒酵母	显著增加相对回肠重,极显著增加相对空肠长度及回肠长度	[67]

4 小结

综上所述,发酵白酒糟具有较高的饲用价值。将发酵白酒糟作为饲料原料或蛋白质饲料的替代品应用于动物生产中,既能提高动物的生长性能、机体免疫力和肠道健康,又能解决蛋白质饲料原料价格昂贵和资源不足的问题,符合我国深入实施饲用豆粕减量替代行动规划。目前,发酵白酒糟的应用研究仍处于初级阶段,一是由于白酒糟来源广、种类多、发酵工艺不同,导致发酵白酒糟营养成分差异较大;二是发酵白酒糟应用于猪、禽生产上的应用较少,且不同饲养对象、不同饲养阶段的添加量皆不相同,导致难以确定统一的饲喂标准,因此,需要深入研究白酒糟的营养成分含量及最适添加比例,加大白酒糟在猪禽动物生产中的应用。

参考文献:

[1] 高鹏翔,潘予琮,蒋林树,等.饲用豆粕减量替代技术的应用及新型蛋白质饲料的开发前景[J].动物营养学报,2023,35(3):1433-1443.

[2] 采编部,王旭.饲料中豆粕减量替代技术模式[J].中国畜牧业,2022(20):16.

[3] 江俊达.酒糟酒粕再利用:酒业循环发展新趋势[J].酿酒,2019,46(2):4-6.

[4] 朱秋凤,牟成龙,张学芳.新形势下生猪日粮中豆粕减量替代应用技术综述[J].饲料工业,2023,44(3):108-112.

[5] 车利,邹世瑞,王皓平,等.畜禽生产中豆粕减量替代技术的研究进展分析[J].中国饲料,2022(21):1-7.

[6] 李茂雅,陈玉连,成启明,等.酒糟饲料化利用的研究进展[J].中国饲料,2022(15):133-138.

[7] 刘瑞娟.利用白酒酒糟发酵饲料的工艺优化[J].产业与科技论坛,2021,20(14):57-58.

[8] 汪成,王之盛,胡瑞,等.不同类型白酒糟对西杂牛生长性能、养分表观消化率、血清生化指标及瘤胃发酵参数的影响[J].动物营养学报,2021,33(2):913-922.

[9] 马吉锋,黄金涛,于洋,等.发酵酒糟对淘汰母牛育肥性能、血液生化及免疫指标影响的研究[J].饲料工业,2018,39(13):39-42.

[10] 刘宁,张晓静,赵志军,等.酒糟在畜禽饲料中的应用及效果评价[J].饲料研究,2021,44(11):146-148.

[11] 梅世慧,陈国权,阎朝华,等.益生菌在发酵酒糟生产及畜禽养殖中的应用概述[J].贵州畜牧兽医,2021,45(4):3-6.

[12] 元博.高存活率益生菌微胶囊的制备及特性研究[D].烟台:烟台大学,2019.

[13] 李倩,裴朝曦,王之盛,等.不同类型酒糟营养成分组成差异的比较研究[J].动物营养学报,2018,30(6):2369-2376.

[14] 罗威才.美国玉米DDGS的营养价值及其在蛋鸭饲料中的应用研究[D].厦门:集美大学,2017.

[15] RAHMAN M M, JIN C, LEE S M. Distillers dried grain can be used as a feed ingredient for the growth of freshwater snail (*Semisulcospiracoreana*) and abalone (*Haliotis discus hannai*) [J]. Aquac Res, 2016, 47(10): 3239-3245.

- [16] KIERS J L, LAEKEN A E A V, ROMBOUTS F M, et al. *In vitro* digestibility of bacillus fermented soya bean [J]. *Int J Food Microbiol*, 2000, 60 (3): 163-169.
- [17] 周芯宇, 王之盛, 胡瑞, 等. 不同类型白酒糟对奶牛牛生长性能、养分表观消化率、血清生化指标和瘤胃发酵参数的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (8): 3708-3716.
- [18] 张玉诚, 薛白, 达勒措, 等. 混菌固态发酵白酒糟开发为蛋白质饲料的条件优化及营养价值评定 [J]. *动物营养学报*, 2016, 28 (11): 3711-3720.
- [19] 司维江, 刘建忠, 黄德利, 等. 白酒糟饲料化利用菌种的筛选及工艺优化 [J]. *饲料研究*, 2022, 45 (8): 67-72.
- [20] 于海漫. 白酒糟多菌发酵制取蛋白协同效应及工艺研究 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2017.
- [21] 宋善丹, 陈光吉, 饶开晴, 等. 白酒糟固态发酵条件的筛选及营养价值评定 [J]. *中国畜牧杂志*, 2015, 51 (15): 66-70.
- [22] 郭素环, 周碧君, 文明, 等. 白酒糟发酵菌种组合的筛选 [J]. *饲料工业*, 2012, 33 (15): 17-21.
- [23] 梅世慧, 朱鸣鸣, 王微, 等. 复合益生菌固态发酵白酒糟条件的研究 [J]. *动物营养学报*, 2023, 35 (1): 632-642.
- [24] 郑荷花, 尹晓娟, 刘宗强, 等. 发酵酒糟麸皮混合物对肉鸡生长性能、屠宰性能及免疫器官指数的影响 [J]. *中国家禽*, 2023, 45 (5): 72-78.
- [25] 田璐, 李晓存, 周定方, 等. 鸡、鸭、鹅对白酒糟和发酵白酒糟能量利用的比较研究 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29 (7): 2423-2430.
- [26] 陆思檬. 饲用发酵白酒糟工艺优化及其对蛋鸡的影响 [D]. 太原: 山西大学, 2022.
- [27] 劳德坤, 张陇利, 李永斌, 等. 不同接种量的微生物秸秆腐熟剂对蔬菜副产物堆肥效果的影响 [J]. *环境工程学报*, 2015, 9 (6): 2979-2985.
- [28] 沈桂宇. 固态发酵技术设备及在饲料工业中的应用研究进展 [J]. *饲料工业*, 2015, 36 (8): 58-60.
- [29] 王霄霄, 任海伟, 南亭植, 等. 混合比例对酒糟和高粱秸秆青贮发酵品质的动态影响 [J]. *酿酒科技*, 2023 (2): 29-36.
- [30] 范恩帝, 蒋梦迎, 冯敏雪, 等. 混菌发酵白酒糟生产含功能成分饲料发酵条件的优化 [J]. *生物技术通报*, 2021, 37 (12): 91-103.
- [31] 刘鹏. 白酒糟混菌发酵转化为蛋白饲料的工艺研究 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2016.
- [32] 赖玉城. 产多酶体系混菌固态发酵酒糟生产蛋白饲料 [D]. 福州: 福建师范大学, 2014.
- [33] 焦肖飞, 刘建学, 韩四海, 等. 复合菌生物转化白酒糟发酵条件的优化 [J]. *食品科学*, 2015, 36 (17): 164-168.
- [34] 张伟. 白酒酒糟转化饲料蛋白发酵工艺研究 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2015.
- [35] 张玉诚. 白酒糟菌体蛋白饲料开发研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2016.
- [36] 陈凤风. 混菌固态发酵酒糟发酵条件的研究 [J]. *农业技术与装备*, 2013 (23): 65-67.
- [37] 刘军, 牛广杰, 孙东伟. 混合菌种协同发酵酒糟生产菌体饲料蛋白的研究 [J]. *酿酒科技*, 2009 (9): 116-118.
- [38] 杨丽华, 张婷婷, 孟建宇. 混菌固态发酵白酒糟制蛋白饲料的研究 [J]. *中国饲料*, 2021 (13): 135-138.
- [39] 孙东伟, 刘军, 牛广杰. 多菌种固态发酵酒糟生产菌体饲料蛋白的研究 [J]. *中国饲料*, 2010 (7): 38-39.
- [40] 胡志强, 李存福, 张国顺, 等. 复合菌种协同发酵酒糟生产饲料蛋白分析 [J]. *生物化工*, 2019, 5 (4): 64-67.
- [41] 刘瑞娟, 张叶, 帖卫芳, 等. 复合菌种协同发酵酒糟生产饲料蛋白探究 [J]. *产业与科技论坛*, 2021, 20 (21): 42-43.
- [42] 张旺宏, 李华伟, 祝倩, 等. 发酵白酒糟对育肥猪血浆生化参数和抗氧化指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30 (12): 5174-5181.
- [43] 王雪祯. 不同水平酒糟对牦牛生长性能的影响 [J]. *中国动物保健*, 2021, 23 (3): 79-80.
- [44] 牛云蔚, 朱全, 肖作兵. 茅台酒香气组成及关键香气成分间的协同作用 [J]. *中国食品学报*, 2021, 21 (10): 215-226.
- [45] 赵红波, 刘晓牧, 孙晓玉, 等. 不同大麦添加量发酵酒糟对肉牛育肥的影响 [J]. *山东农业科学*, 2018, 50 (1): 134-137.
- [46] 蒋载阳, 廖奇, 燕富永, 等. 不同发酵原料对母猪生长性能、养分表观消化率和血清免疫指标的影响 [J]. *饲料博览*, 2019 (1): 1-5.
- [47] 李军涛, 刘寒, 解宜兴, 等. 酒糟酵母培养物对草鱼生长性能和溶菌酶活性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2018, 34 (5): 139-146.
- [48] 刘明. 白酒糟固态发酵菌种筛选、发酵条件及应用研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- [49] 魏来. 发酵白酒糟工艺优化及其对育肥猪生长性能的影响 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015.
- [50] 王勇, 李志德. 不同水平的益生菌发酵酒糟添加对育肥牛生长性能、屠宰性能及肉品质影响 [J]. *中国饲料*, 2020, 65 (11): 117-120.
- [51] 王斌星, 王伟冬, 郭春华, 等. 发酵酒糟对舍饲育肥藏绵羊生产性能、养分表观消化率和经济效益的影响 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2016 (7): 5-10.
- [52] 曲昆鹏. 发酵酒糟对家禽的影响研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [53] 田璐. 白酒糟、发酵白酒糟对樱桃谷肉鸭的饲用价值研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [54] 徐钹涌, 陈超, 朱鸣鸣, 等. 发酵酒糟饲喂水平对西杂牛生长性能、血液生化指标和肌肉氨基酸组成的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2023, 59 (4): 212-216.
- [55] 阮栋, 刘建高, 陈伟, 等. 发酵饲料对蛋鸡产蛋性能、蛋品质、肠道消化酶活性及免疫功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31 (12): 5740-5749.
- [56] 陈光吉, 彭忠利, 宋善丹, 等. 发酵酒糟对舍饲牦牛生产性能、养分表观消化率、瘤胃发酵和血清生化指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2015, 27 (9): 2920-2927.
- [57] 曹广, 王之盛, 胡瑞, 等. 发酵酒糟对育肥牦牛生长性能、养分表观消化率及瘤胃发酵的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (7): 3255-3262.
- [58] 王少琨, 朱子晨, 张倩, 等. 发酵酒糟对海兰褐蛋鸡生产性能、蛋品质和肠道健康的影响 [J]. *中国家禽*, 2018, 40 (9): 30-33.
- [59] 张修修, 王少琨, 张倩, 等. 饲料添加发酵酒糟对肉仔鸡生产性能和肠道健康的影响 [J]. *中国家禽*, 2018, 40 (13): 54-56.
- [60] 崔玉明, 古绍彬, 吴影, 等. 酒糟复合益生菌剂对比未发酵酒糟对肉鸡饲养效果的探究 [J]. *饲料研究*, 2021, 44 (9): 54-58.
- [61] ZHAO X X, CHEN T T, MENG F J, et al. Therapeutic effect of

- herb residue fermentation supernatant on spleen deficient mice [J]. *Mol Med Rep*, 2018, 17 (2): 2764-2770.
- [62] 从光雷, 肖蕴祺, 张倩云, 等. 饲料添加化香果单宁对肉鸡免疫器官指数、血浆抗氧化和生化指标及盲肠微生物区系的影响 [J]. *动物营养学报*, 2021, 33 (12): 6802-6812.
- [63] 彭众. 早期断奶对树突状细胞介导的仔猪肠道黏膜免疫功能的影响及精氨酸对其的调节作用 [D]. 扬州: 扬州大学, 2019.
- [64] 吕远蓉, 王怀禹. 复合微生态制剂对肉鸡免疫器官指数和血清免疫指标的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2017, 49 (9): 49-52.
- [65] 李燕平, 曹亮, 詹海杰, 等. 白酒糟对肉兔生长性能、营养物质消化率及血液免疫因子的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2021, 57 (10): 204-208.
- [66] 孙波, 陈静, 吴娟, 等. 黄芪多糖对免疫抑制肉鸡生长性能、肠道菌群及免疫功能的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2014, 41 (8): 101-106.
- [67] 谢亮, 吕宏伟, 彭鹏, 等. 发酵白酒糟替代部分玉米 DDGS 对肉鸡生长性能和屠宰性能的影响 [J]. *饲料工业*, 2019, 40 (21): 25-29.
- [68] WANG S J, GUO C H, ZHOUL, et al. Effects of dietary supplementation with epidermal growth factor-expressing *Sacharomyces cerevisiae* on duodenal development in weaned piglets [J]. *Br J Nutr*, 2016, 115 (S9): 1509-1520.
- [69] 彭忠利, 郭春华, 吴小燕, 等. 微生态白酒糟对肉羊生产性能和日粮养分表观消化率的影响 [J]. *中国饲料*, 2016 (10): 23-26.
- [70] TIWARI U P, MATTUS S, NEUPANE K, et al. *In vitro* fermentation characteristics of agricultural products and coproducts and its effect on the large intestinal microbiota of swine [J]. *J Anim Sci*, 2016 (94): 215.