



付浩,李言,徐欣悦,等.发酵饲料对育肥猪生产性能的影响及其应用研究进展[J].南京农业大学学报,2026,49(5):1221-1232.

Fu H, Li Y, Xu X Y, et al. Research progress on the effects of fermented feed on the production performance of fattening pigs and its application[J].

Journal of Nanjing Agricultural University, 2026, 49(5): 1221-1232.

特约综述

发酵饲料对育肥猪生产性能的影响及其应用研究进展

付浩¹, 李言¹, 徐欣悦², 顾金歌², 史明艳³, 胡彩虹⁴, 皮雄娥¹, 许来鹏^{2*}

(1.浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 浙江 杭州 310021; 2.洛阳师范学院食品与药品学院, 河南 洛阳 471934;
3.洛阳师范学院生命科学学院, 河南 洛阳 471934; 4.浙江大学动物科学学院, 浙江 杭州 310058)

摘要:育肥猪养殖是我国畜牧产业的核心支柱,其生产效率与可持续发展水平直接影响猪肉供给安全与产业经济效益。传统饲料体系普遍存在资源短缺、利用率低、育肥猪肠道健康受损等诸多瓶颈,而发酵饲料凭借其独特的营养优势与功能特性,已成为突破上述瓶颈、提升养殖综合效益的关键技术路径。本文系统综述了发酵饲料的定义、类型及制备工艺,深入分析其对育肥猪生长性能、营养物质消化吸收、肠道健康与免疫功能及肉品质与风味的调控机制,并探讨了发酵饲料在育肥猪养殖中的应用现状及产业推广过程中存在的制约因素。未来需进一步明确发酵饲料的作用机制、研发智能化发酵工艺、构建产品质量标准,为推动发酵饲料在育肥猪绿色高效养殖中的规模化和标准化应用提供支撑。

关键词:发酵饲料;育肥猪;生产性能;作用机制

中图分类号:S816.6

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2026)05-1221-12

Research progress on the effects of fermented feed on the production performance of fattening pigs and its application

FU Hao¹, LI Yan¹, XU Xinyue², GU Jing'e², SHI Mingyan³,
HU Caihong⁴, PI Xiong'e¹, XU Laipeng^{2*}

(1. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China;

2. College of Food and Drug, Luoyang Normal University, Luoyang 471934, China; 3. College of Life Sciences,

Luoyang Normal University, Luoyang 471934, China; 4. College of Animal Sciences,

Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Fattening pig breeding is a core pillar of China's livestock industry, and its production efficiency and sustainable development level are directly related to the safety of pork supply and the economic benefits of the industry. Traditional feed systems generally have many bottlenecks such as resource shortages, low utilization rates, and damage to the intestinal health of fattening pigs. Fermented feed, with its unique nutritional advantages and functional characteristics, has become a key technical path to break through these bottlenecks and improve the comprehensive benefits of breeding. This article systematically reviews the definition, types, and preparation processes of fermented feed. It also deeply analyzes its regulatory mechanisms of fermented feed on the growth performance, digestion and absorption of nutrients, intestinal health and immune function, and meat quality and flavour of fattening pigs. Furthermore, it discusses the application status of fermented feed in fattening pig breeding and the restrictive factors in the process of industrial promotion. In the future, it is necessary to further clarify the mechanism of action of fermented feed, develop intelligent fermentation processes, and establish product quality standards to provide support for promoting the large-scale and standardized application of fermented feed in the green and efficient fattening pig breeding.

Keywords: fermentation feed; fattening pigs; production performance; mechanism of action

育肥猪养殖是猪肉供给体系中的关键环节,其生产效率不仅影响养殖主体的经济效益,还直接影响猪肉供应安全与畜牧业绿色可持续发展。国家统计局数据显示,2025年我国猪肉产量达5 938万吨,生猪出栏7.20亿头,猪肉仍是居民肉类食品消费的重要组成部分^[1]。与此同时,经济合作与发展组织、联合国粮

收稿日期:2026-04-10

基金项目:浙江省农业重大技术协同推广计划(2025ZDXT14);浙江省“三农九方”科技协作项目(2025SNJF081和2024SNJF041);洛阳市核心技术攻关类公益专项(2202036A)

作者简介:付浩,博士,助理研究员,研究方向为微生物发酵饲料开发及应用,E-mail:fuhao@zaas.ac.cn; *通信作者:许来鹏,博士,讲师,研究方向为动物肠道营养与健康,E-mail:xulaipeng@lynu.edu.cn。

食及农业组织最新展望指出,未来全球动物源性食品需求仍将增长,而饲料利用效率与环境约束将成为畜牧业可持续发展的核心议题^[2]。

在规模化、集约化养殖背景下,传统育肥猪日粮虽在保障生长速度方面发挥了重要作用,但也逐步暴露出资源利用效率偏低、氮磷排放量大、抗营养因子影响养分消化、肠道健康易受扰动等问题。围绕上述局限,发酵饲料因兼具“饲料原料生物预处理”和“功能性营养调控”双重属性而受到广泛关注。发酵饲料是指利用乳酸菌、酵母菌、芽胞杆菌等微生物对植物性原料、工农业加工副产物或配合饲料进行发酵处理,从而实现抗营养因子降解、小分子营养物质积累、适口性改善及有害微生物抑制的一类生物转化饲料。多项研究表明,发酵饲料能够通过改善营养消化和肠道微生态,从而提升育肥猪生产性能。Song等^[3]报道,玉米-豆粕型发酵饲料可提高育肥猪终末体重和平均日增重,降低料重比,并改善肉色、滴水损失和脂肪酸组成。Zhang等^[4]研究发现,小麦型发酵液态饲料可改善生长育肥猪的生长性能、养分消化率、肠道菌群结构、肠道屏障功能,提示发酵饲料在育肥猪生产中具有良好的应用前景。

近年来,国内外关于发酵饲料在生猪生产中的应用研究已由单纯关注促生长效果,逐步延伸至营养消化提升、肠道微生态平衡、免疫调控、肉品质改善及环境友好效应等多个层面^[5-6]。尽管发酵饲料在生长性能和肠道健康方面表现出积极作用,但其作用机制仍未完全阐明,特别是在微生物代谢产物、肠道微生态调控以及宿主营养代谢互作方面仍缺乏系统认识。基于此,本文拟从发酵饲料的类型、制备工艺及营养特性入手,系统阐述其对育肥猪生产性能的影响规律与潜在作用机制,总结当前应用现状及主要制约因素,旨在为发酵饲料在育肥猪绿色高效养殖中的科学应用与产业化推广提供理论参考。

1 发酵饲料的类型、发酵工艺及营养特性

1.1 发酵饲料的主要类型

根据《T/CSWSL001—2018 生物饲料产品分类》,生物发酵饲料可以根据发酵原料、发酵菌种、发酵工艺等不同分类原则进行分类^[7]。根据原料特性可将发酵饲料分为发酵蛋白饲料、发酵能量饲料和发酵粗饲料等^[8]。按添加的菌种组成不同分为单菌种发酵饲料和复合菌发酵饲料,其中单菌种发酵饲料主要包括乳酸菌发酵饲料、酵母菌发酵饲料、芽胞杆菌发酵饲料等^[9]。不同类型的发酵饲料,因其原料特性、发酵菌种组成及目标产物的差异,对发酵工艺的要求及其最终呈现的营养特性也存在明显区别。

1.2 核心发酵工艺与调控技术

常见发酵方式有固态发酵和液态发酵。固态发酵以固态基质为载体,利用微生物发酵生产目标产物^[10]。液态发酵则在液体培养基中进行,具有营养均匀、过程易控、效率高、易规模化等优点^[11-12]。温度、pH值、发酵时间及菌种配比是液体发酵和固态发酵共同的核心调控参数^[13-14]。在复合菌种发酵中,菌种配比决定了微生物生态系统的演替方向。适宜的配比可促进菌种间代谢偶联(如好氧菌消耗氧气为厌氧菌创造环境),实现“1+1>2”的协同增效;反之,配比失衡则可能导致拮抗,降低发酵效率^[15]。这种协同与拮抗的动态平衡,在液态发酵和固态发酵中均受到菌种配比等关键参数的影响。在液态发酵中,这些参数通过影响菌体酶活性与膜特性^[16-17]、代谢微环境^[18-19]、产物积累进程及菌种间协同拮抗关系调控发酵效果^[20-21];在固态发酵中,这些参数同样通过影响微生物生长和代谢,成为决定发酵成败的关键工艺条件^[22]。任一参数不适均会抑制菌体代谢,降低目标产物合成效率,破坏发酵体系的微生态平衡。

防控杂菌污染与保留营养成分是发酵工艺质量控制的核心要点。杂菌污染防控需从原料灭菌、设备清洁、空气过滤、环境消毒等多环节协同抑制杂菌繁殖^[23]。这既是保障卫生安全的基础,又为后续有效保留营养成分创造了必要条件,而营养成分保留须优化发酵条件,避免过度发酵导致营养损失,同时通过有益菌代谢提升粗蛋白、有机酸等营养物质的含量和生物利用率^[24],实现发酵饲料安全性与营养价值的双提升。

1.3 发酵饲料的营养特性优势

发酵饲料通过微生物代谢具备抗营养因子降解、营养成分优化、功能性物质生成三大核心优势。不同发酵底物对应的发酵菌种、工艺及最终发酵效果存在差异。相关典型应用案例详见表1。

1.3.1 抗营养因子降解 抗营养因子是天然存在于食物中的一类化合物,例如硫苷、植酸及单宁等,能够干扰营养物质的消化、吸收或代谢^[25]。多项研究表明,微生物发酵能够通过酶促水解和微生物代谢显著降低饲料中的抗营养因子含量。贾冰玉等^[26]对菜籽粕进行固态发酵,结果表明发酵菜籽粕的硫苷、植酸

及单宁的降解率分别高达 41.92%、40.10% 和 59.31%。Zhang 等^[4]发现小麦基础发酵液体饲料可有效降解日粮中的非淀粉多糖。Zhang 等^[27]研究发现,热带假丝酵母 ZD-3 发酵棉粕,在 48 h 内对游离棉酚的降解率高达 92%。周钺灵等^[28]利用菌酶协同发酵工艺使豆粕中的水苏糖和棉子糖含量分别降至 2.70 和 0.82 mg·g⁻¹,基本消除了抗原蛋白,显著降低了胀气因子和致敏物质。由此可见,生物发酵饲料在发酵过程中能够有效降解抗营养因子,提高饲料中营养物质的利用效率。

1.3.2 营养成分预消化及优化 发酵过程中微生物的分解与合成,可将饲料中大分子蛋白质降解为氨基酸与小分子肽类,发挥良好预消化功效,同时合成各类营养活性物质,提高饲料中粗蛋白、必需氨基酸及维生素等的含量。例如:谢文斌等^[29]在玉米秸秆青贮过程中接种布氏乳杆菌进行厌氧发酵,使青贮料粗蛋白含量提高 1.4%~2.2%,体外干物质消化率提高约 10.9%。张桂堂等^[30]利用枯草芽胞杆菌发酵玉米秸秆,在降低粗纤维和 pH 值的同时,使发酵玉米秸秆粗蛋白含量提高 10%~20%,总氨基酸含量显著增加,其中甘氨酸、丙氨酸、赖氨酸等必需氨基酸含量同步上升,进一步证实了微生物在重塑与优化饲料营养价值方面的作用。汪钰等^[31]采用增香曲霉、酿酒酵母与枯草芽胞杆菌混菌固态发酵菜粕,使粗蛋白和酸溶蛋白分别显著提高 8.22% 和 102.54%。魏嘉等^[32]采用两阶段混菌固态发酵棉粕,使其粗蛋白、酸溶蛋白分别提高至 49.64% 和 36.58%,游离棉酚降解率达 96.7%。

1.3.3 功能性物质生成 发酵饲料可富集益生菌,并通过微生物代谢生成短链脂肪酸(short-chain fatty acids, SCFA)及抗菌肽等功能性代谢产物,进而改善生猪肠道健康,提升生产性能。SCFA 在降低肠道 pH 值的同时,可为黏膜供能并调节免疫功能^[33]。王蕊等^[34]证实,发酵饲料显著提高育肥猪结肠内容物中乙酸与戊酸含量,丙酸亦呈上升趋势。该变化可有效降低肠道 pH 值、优化菌群结构,从而提升饲料消化吸收与生产性能,并通过增强肠道屏障功能与调节免疫应答,间接提高机体的整体抗病力。抗菌肽则直接发挥抑菌作用^[35]。研究发现,淀粉液化芽孢杆菌 ES-2-4 产生的抗菌肽 WJ-1 对大肠杆菌、沙门氏菌、藤黄微球菌和金黄色葡萄球菌均具有抑制作用,抑菌圈直径达 20~30 mm^[36]。在常规固态发酵饲料中,植物乳杆菌与黑曲霉复合发酵菜籽粕可使小肽含量提高 8.76%(相当于显著增加功能性肽段浓度),其中部分小肽具备抑菌活性,可间接反映抗菌肽水平的提升^[37]。此外,枯草芽胞杆菌发酵豆粕可使抗菌肽含量由 2.24% 提高至 19.12%(约 191 g·kg⁻¹),进一步印证了微生物发酵在提升饲料功能性肽含量方面的显著效果^[38]。

表 1 不同发酵底物的发酵菌种、工艺及效果

Table 1 Fermentation bacterial strains, processes and effects for different fermentation substrates				
发酵底物 Fermentation substrates	发酵菌种 Fermentation strains	发酵工艺 Fermentation processes	发酵效果 Fermentation effects	参考文献 Reference
玉米秸秆	布氏乳杆菌	分别添加 10、30、50 mL·kg ⁻¹ 菌液,室内避光贮藏 60 d	添加布氏乳杆菌能够改善玉米秸秆青贮品质,降低有害微生物含量,提高粗蛋白、纤维素等体外消化率	[29]
玉米秸秆	枯草芽胞杆菌	接种量为 0%、0.01%、0.02% 和 0.04%,阴凉避光处发酵 60 d	粗蛋白质和总氨基酸含量显著提高,粗纤维和中性洗涤纤维含量显著降低,乳酸、乙酸含量升高,pH 值显著降低	[30]
豆粕	酿酒酵母、乳酸菌、蛋白酶	将豆粕、微生物/酶均匀混合,控制水分,封于呼吸袋,37℃ 发酵 3 d	酿酒酵母对水苏糖、棉籽糖的去除率达 90%,乳酸菌对水苏糖、棉籽糖的去除率达 60%,蛋白酶对大豆抗原蛋白和 β-伴球蛋白的去除率分别达 70% 和 50%	[39]
菜籽粕	罗伊氏乳杆菌 L45、植物乳杆菌 L47 和约氏乳杆菌 L63	麸皮添加量 10%,料水比 1:1.1,接种量 70 mL·kg ⁻¹ ,发酵时间 48 h	在最优条件下,乳酸杆菌能显著降低菜籽粕中硫苷含量,改善其营养价值,但对纤维的降解能力有限	[40]
棉粕	酵母菌、枯草芽胞杆菌、乳酸菌	乳酸、枯草芽胞杆菌、酵母菌体积比为 1:2:2,料水比 0.8:1,接种量 5.5%,30℃ 发酵 5 d	游离棉酚的含量从 1 173 mL·kg ⁻¹ 降到 175 mL·kg ⁻¹ ,脱毒率达 85.11%	[41]
玉米粉、豆粕	酵母菌	接种量 1.4%、糖化酶添加量 220 U·g ⁻¹ 、料水比 1:0.8	粗蛋白、总酚、维生素 B2 和低分子肽含量在发酵后显著提高,而粗脂肪含量显著降低	[42]
玉米、豆粕	乳酸杆菌、枯草芽胞杆菌和地衣芽胞杆菌	接种量 10%、含水量 45%,厌氧发酵 45 d	乳酸、乙酸和总有机酸含量分别极显著增加了 123.16%、442.04% 和 365.10%,显著提高饲料品质和抑菌效果	[43]

2 发酵饲料对育肥猪生产性能的影响

2.1 发酵饲料对育肥猪生长性能的影响

发酵饲料能有效改善育肥猪的生长性能,显著提高平均日增重,降低料重比,并提升屠宰性能^[44-45]。如 Liu 等^[46]研究发现,在育肥猪日粮中添加 10% 由枯草芽胞杆菌和粪肠球菌发酵的混合饲料,可使其平

均日增重显著提高 9.72%,同时料重比从 4.41 下降至 4.14。Liao 等^[47]研究发现育肥猪饲喂含有 6%由枯草芽孢杆菌发酵的玉米湿酒糟后,其平均日增重显著提高约 11.0%,料重比降低约 12.7%。此外,发酵饲料亦能提升屠宰性能。例如,Zhang 等^[48]研究表明,饲喂了由乳酸片球菌与植物乳杆菌发酵的玉米液态饲料的育肥猪,其屠宰率显著提高约 1.04%,平均背膘厚度增加 21.18%。Cheng 等^[49]使用由植物乳杆菌发酵的复合蛋白饲料饲喂生长育肥猪,发现其瘦肉率显著提高约 1.67%,同时平均背膘厚度提高 7.91%。

2.2 发酵饲料对育肥猪营养消化吸收的提升作用

营养消化吸收效率是指饲料中的养分经过动物消化道酶解、肠道吸收及机体代谢利用的程度,是评价饲料营养价值和动物饲料转化能力的关键指标^[24]。目前已有多项研究明确证实发酵饲料能够有效提升猪营养消化吸收效率。Zhang 等^[4]在生长期至育肥期猪日粮中使用了由乳酸片球菌发酵的小麦基液态饲料,发现粗蛋白质、脂肪、干物质和有机质的全消化道表观消化率分别提高约 3.28%、3.64%、4.96%和 4.49%。宋芬^[50]在生长猪日粮中使用了 8%由酵母菌、乳酸菌与芽孢杆菌混合发酵的豆粕混合饲料,结果显示粗纤维、粗蛋白质、总能的表现消化率分别提高约 18.6%、5.9%、6.6%。

饲喂发酵饲料后,猪只消化道内的酶活性也显著升高。胡文平等^[51]在育肥猪日粮中添加 0.2%由乳酸杆菌、枯草芽孢杆菌与酿酒酵母混合发酵的饲料,检测到十二指肠淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活性分别显著提高 29.5%、16.3%和 45.6%,空肠淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活性分别显著提高 35.3%、19.3%和 46.1%,回肠蛋白酶活性显著提高 23.9%。马晓阳等^[52]在育肥猪液态饲料中添加 5%由布氏乳杆菌、植物乳杆菌、地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌和产脱假丝酵母复合发酵的玉米秸秆饲料后发现,空肠淀粉酶和胰蛋白酶活性分别显著提高 8.26%和 4.23%,回肠脂肪酶活性极显著提高 9.66%。

2.3 发酵饲料对育肥猪肠道健康与免疫功能的调节作用

肠道是育肥猪营养吸收的核心器官,也是机体最大的免疫屏障,其健康状况直接关联猪的生长性能与抗病能力^[53]。饲喂发酵饲料后,育肥猪的肠道菌群结构、代谢产物及肠道形态均发生明显变化。Zhang 等^[54]的研究表明,对育肥猪饲喂 8%由枯草芽孢杆菌与粪肠球菌共发酵的黄酒糟饲料后其肠道菌群 α -多样性显著提升,乳酸菌属和纤维杆菌门等有益菌丰度显著提高,而埃希氏-志贺氏菌属、狭义梭菌属和粪球菌属等有害菌丰度明显降低;同时,粪便中乙酸和丁酸的含量分别显著提高 35.9%和 31.3%,绒毛高度及绒毛高度/隐窝深度比显著提高,维持了肠道健康。Tang 等^[55]的试验结果显示,给育肥猪饲喂由植物乳杆菌和黑曲霉等菌复合发酵的全价饲料后,其肠道益生菌如厚壁菌门的相对丰度显著增加,肠道有害菌如变形菌门与埃希氏-志贺氏菌属的相对丰度显著减少,优化了肠道菌群结构,保持了肠道屏障完整性。

发酵饲料对育肥猪的免疫功能也产生显著影响。多项研究报道了发酵饲料饲喂后育肥猪炎症因子、免疫球蛋白及炎症信号通路基因表达的变化。唐璐等^[56]的研究表明,添加 2%平菇菌糠发酵饲料可显著降低育肥猪血清促炎细胞因子白细胞介素 6 (IL-6) 水平,同时显著提高抗炎细胞因子白细胞介素 10 (IL-10) 和免疫球蛋白 A (IgA)、IgM、IgG 含量。Su 等^[57]在育肥猪日粮中添加 10%由枯草芽孢杆菌、酿酒酵母与植物乳杆菌共发酵的脱脂米糠饲料后,发现其血清中抗炎细胞因子 IL-22 和 IL-23 水平显著升高,促炎细胞因子 TNF- α 、IL-1 β 和 IFN- γ 水平显著降低,同时 IgG 含量显著提高。Peng 等^[58]的研究表明,育肥猪饲喂含有 10%的发酵桑叶饲料后,其空肠 Toll 样受体 4 (TLR4)、NF- κ B-p65 和 Myd88 mRNA 表达水平分别降低 64.0%、72.0%和 58.0%,回肠 TLR4、NF- κ B-p65 和 Myd88 mRNA 表达水平分别降低 72.0%、51.0%和 72.0%,十二指肠 TNF- α mRNA 表达水平降低 39.0%,有效抑制了过度炎症反应,维持了机体的免疫稳态。

2.4 发酵饲料对猪肉品质与风味的改善

发酵饲料通过对肌肉理化性状、化学成分及风味前体物质的系统性调控,可有效改善猪肉的品质与风味,从而提升其商品价值与消费体验^[59]。在改善猪肉的物理品质方面,饲喂发酵饲料后,猪肉的系水力和色泽发生明显变化。Han 等^[60]研究发现,饲喂由枯草芽孢杆菌和粪肠球菌等发酵的玉米-豆粕液态饲料可使育肥猪肌肉的烹饪损失显著降低 16.5%。Xu 等^[61]证实,在饲料中添加由乳酸菌、枯草芽孢杆菌和酵母菌发酵的脐橙渣能使猪肉滴水损失降低 28.99%~37.68%。与此同时,发酵饲料对改变肉色有积极作用,Song 等^[3]发现,饲喂了由植物乳杆菌和凝结芽孢杆菌等发酵的玉米-豆粕饲料的育肥猪,其肌肉 24 h 红度值提升 11.24%,同时亮度值降低,肉色更鲜红。在提高肉的风味方面,发酵饲料主要通过优化肌肉的化学成分,特别是增加风味物质前体、改变氨基酸与核苷酸组成来实现^[38]。Zhu 等^[62]发现育肥猪饲喂

50%由酿酒酵母等菌发酵的苜蓿饲料后肌肉中鲜味氨基酸如丙氨酸、酪氨酸的含量分别提高 11.2%、15.91%。Xu 等^[61]的研究发现,育肥猪饲喂 15%由乳酸菌、枯草芽胞杆菌与酵母菌发酵的脐橙渣后,其肌苷酸含量增加 1.2 倍。同样,Han 等^[60]指出饲喂发酵饲料后能降低猪只肌肉中苦味氨基酸如组氨酸和精氨酸含量约 28.5%和 49.5%。以上研究案例见表 2。

表 2 不同发酵底物与菌种组合的发酵饲料对育肥猪养殖效果的影响

Table 2 Effects of fermented feed with different substrate and bacterial strain combinations on the breeding performance of fattening pigs

效果类型 Effects types	发酵底物 Fermentation substrates	发酵菌种 Fermentation strains	养殖效果 Feeding performance	参考文献 Reference
提升生长性能	小麦、豆粕	乳酸片球菌	显著提高干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、总能、钙、磷及多数氨基酸的消化率,其中钙消化率提高 40.20%,干物质提升 5.82%	[4]
	玉米、豆粕	枯草芽胞杆菌、粪肠球菌	10%添加量组,日增重提升 9.7%,降低料重比,提高屠宰率	[46]
	玉米湿酒糟	枯草芽胞杆菌 CGMCC21218(T1 组) CICC10275(T3 组)	T1 组和 T3 组日增重显著提高,料重比均降低,眼肌深度均显著增加,T1 组瘦肉率显著提高	[47]
	玉米、小麦	乳酸片球菌、植物乳杆菌	15%添加量组日增重提高 10.34%,30%添加量组日增重提高 9.16%,两组均提高了料重比、屠宰率和背膘厚度	[48]
	菜籽粕、棉籽粕	植物乳杆菌	50%添加量组降低料重比,100%添加量组提高料重比,且显著提高平均日增重、屠宰体重与屠宰率	[49]
	豆粕、玉米	乳酸菌、酵母菌、芽胞杆菌	4%和 8%发酵饲料组干物质和粗纤维消化率均显著提高	[50]
	玉米、豆粕、玉米胚芽饼	乳酸杆菌、枯草芽胞杆菌、酿酒酵母菌	十二指肠淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活性分别显著提高 29.5%、16.3%和 45.6%	[51]
	玉米秸秆	布氏乳杆菌、植物乳杆菌、地衣芽胞杆菌、枯草芽胞杆菌、产脱假丝酵母	5%添加量组空肠淀粉酶活性提高 8.26%、胰蛋白酶活性提高 4.23%,回肠脂肪酶活性提高 9.66%,背最长肌不饱和脂肪酸含量提高 7.15%	[52]
调节肠道健康和免疫	黄酒糟、麸皮	枯草芽胞杆菌、粪肠球菌	8%添加量组显著提高 IgA、IgM 和抗炎细胞因子(IL-4、IL-10)水平,显著增加肠道有益菌(乳酸杆菌、枯草芽胞杆菌)丰度和短链脂肪酸含量	[54]
	玉米	植物乳杆菌、酿酒酵母、枯草芽胞杆菌、黑曲霉	血清超氧化物歧化酶和总抗氧化能力分别提高 9.4%和 19.0%,IgG 和 IgM 分别提高 3.9%和 5.5%;平均日增重提高 8.1%,料重比降低 3.2%;肌肉粗蛋白提高 3.2%,不饱和脂肪酸提高 5.4%,饱和脂肪酸降低 7.4%	[55]
	平菇菌糠	枯草芽胞杆菌、乳酸杆菌	回肠、结肠、盲肠乳酸杆菌含量提高,大肠杆菌含量显著降低,促炎因子 IL-6 水平显著降低,抗炎因子 IL-10 水平显著提高	[56]
	脱脂米糠、大豆壳	枯草芽胞杆菌、酿酒酵母、植物乳杆菌	血清促炎细胞因子 TNF- α 、IL-1 β 、INF- γ 水平显著降低,抗炎细胞因子 IL-22、IL-23 水平显著升高	[57]
	桑叶	小片球菌、地衣、芽胞杆菌	十二指肠、空肠和回肠绒毛高度分别增加 10.9%、35.6%和 29.3%,隐窝深度分别降低 28.7%、25.4%和 27.3%,绒毛高度与隐窝深度的比值分别提高 68.8%、95.5%和 78.1%;回肠总抗氧化能力显著提高	[58]
改善肉品质 and 风味	玉米、豆粕	植物乳杆菌、凝结芽胞杆菌、枯草芽胞杆菌、酵母菌	肌肉脂肪含量和大理石纹评分显著提高,肉色显著改善,剪切力和滴水损失显著降低	[3]
	玉米、豆粕	枯草芽胞杆菌、粪肠球菌、酿酒酵母、丁酸梭菌	蒸煮损失显著降低,肉色亮度显著降低,苦味氨基酸含量显著降低	[60]
	脐橙渣	乳酸菌、枯草芽胞杆菌、酵母菌	10%添加量组猪眼肌面积增加 45.2%,滴水损失降低 29.0%,肌苷酸增加 123.8%,腺苷酸增加 18.3%;单不饱和脂肪酸增加 2.6%,多不饱和脂肪酸增加 5.4%	[61]
	苜蓿	酿酒酵母、枯草芽胞杆菌、乳酸乳球菌	50%添加量组使肌肉丙二醛降低 66.2%,多不饱和脂肪酸提高 99.1%,肌肉谷氨酸提高 6.1%,赖氨酸提高 7.3%,鲜味氨基酸和必需氨基酸显著提高,血清甘油三酯降低 27.9%,丙氨酸氨基转移酶活性降低 27.9%	[62]

虽然诸多研究已证实发酵饲料可改善育肥猪生产性能,但不同试验结果之间仍存在明显研究异质性,试验设计层面的诸多差异也在一定程度上影响结论普适性。一方面,试验所用猪只品种、日龄、初始体重、饲养环境与试验周期等条件设置缺乏统一标准,易造成测定结果出现偏差;同时发酵饲料原料、发酵菌株、制作工艺及饲喂添加比例差异较大,多数研究未明确发酵产物活性成分含量,试验处理变量管控不够严谨。另一方面,部分养殖试验存在样本量不足、试验重复设置不合理等问题,试验误差偏大,数据代表性较弱。数据分析多局限于常规方差分析,缺乏多元统计、相关性分析等深度分析手段,难以系统阐释剂量效应关系。现有研究监测周期普遍较短,侧重短期生长指标测定,缺少长期饲喂下猪只生长稳定性、机体代

谢及肠道健康等持续性研究,且未充分排除饲养管理、疫病情况等混杂因素干扰。未来需制定标准化试验方案,扩充试验样本,完善统计分析方法,规避试验方法局限性,进一步明晰发酵饲料在育肥猪养殖中精准应用模式。

3 发酵饲料影响育肥猪生产性能的作用机制

3.1 发酵饲料对营养代谢的调控机制

发酵饲料调控营养代谢的核心机制在于提升营养物质的生物利用度与消除消化障碍^[53]。这一机制主要通过2条途径实现:一是发酵菌种的生物转化作用,即利用微生物代谢产生的胞外酶(如蛋白酶、纤维素酶等)将饲料中的大分子营养物质降解为小分子形式,并合成菌体蛋白、活性肽及维生素等活性成分,从而直接介入并优化宿主的营养代谢途径^[61];二是抗营养因子的特异性降解,即通过微生物代谢消除饲料中天然存在的消化抑制物,破除其对养分吸收的阻碍。

就生物转化机制而言,发酵菌种在生长代谢过程中会向基质中分泌多种水解酶。例如:蛋白酶可将豆粕中的抗原蛋白和复杂蛋白质分解为小肽及游离氨基酸;纤维素酶则能破坏植物细胞壁的纤维素骨架,使原本被包裹的淀粉、蛋白质等胞内营养物质得以释放。这种酶解作用既消除了物理性的细胞壁屏障,又破解了化学性的蛋白质大分子结构,从而显著提高营养吸收率。有研究指出,豆粕经发酵后其粗蛋白含量最高可提高23.4%^[63],这是因为发酵菌种分泌出蛋白酶和纤维素酶等特定酶,蛋白酶将抗原蛋白和复杂蛋白质分解为小肽及游离氨基酸,纤维素酶则破坏植物细胞壁结构,释放被包裹的胞内营养物质,消除物理性和化学性消化障碍,提升营养吸收率,使育肥猪更易吸收营养物质。赵娜等^[64]发现,豆粕经木瓜蛋白酶和酵母菌液态酶解发酵后,其低分子蛋白质含量提高2.64倍,水溶性蛋白和小肽含量亦显著提高。

就抗营养因子降解机制而言,发酵微生物能够特异性降解饲料中的脲酶抑制剂、硫苷、游离棉酚等抗营养因子,将其转化为无毒性或低毒性的代谢产物,从而消除其对消化酶活性或养分吸收的抑制作用,提升营养物质可利用性^[4]。隋洁等^[62]发现,对于豆粕、菜籽粕等常见蛋白源,微生物发酵能特异性降解其中的脲酶抑制剂、硫苷等抗营养因子,游离棉酚最高降解率可达82.58%。吴正可等^[65]发现,菜籽粕经嗜酸乳杆菌、酿酒酵母和枯草芽孢杆菌混合菌种固态发酵84 h后,硫苷降解率达48.8%,多肽含量提升148.4%。关红民等^[66]发现,棉籽粕经酵母菌、芽孢杆菌和乳酸菌混合菌种固态发酵后,游离棉酚含量从595.50 mg·kg⁻¹降至202.35 mg·kg⁻¹,降解率达66.02%,粗蛋白质含量从43.52%提升至49.64%,提高6.12个百分点。因此,发酵饲料通过微生物酶解作用实现大分子养分的小分子化,并同步清除抗营养因子,从而在双重机制上显著提升营养物质的生物利用度。

3.2 发酵饲料对肠道微生态的平衡机制

肠道微生态平衡是育肥猪肠道健康与高效营养吸收的关键,发酵饲料主要通过益生菌竞争性排斥有害菌、发酵产物改善肠道环境两大核心机制维持肠道微生态平衡,进而调控育肥猪生产性能^[44,56]。在调节肠道菌群方面,发酵饲料可促进益生菌的增殖,抑制有害菌的生长,进而优化肠道菌群结构与多样性。Zhang等^[67]的研究表明,在生长猪饲料中添加5%发酵麻疯树饼粕,肠道有益菌群如乳酸菌和罗氏菌属的相对丰度分别提高195%和165%,而潜在有害菌群如脱硫弧菌属和链球菌属的相对丰度分别降低45%和52%,有效优化了肠道菌群结构。Yang等^[68]也证实,用植物乳杆菌与戊糖片球菌共发酵饲料饲喂育肥猪,能显著富集其肠道内的巨型球菌属、罗斯氏菌属、粪杆菌属等一系列具有产SCFA和抗炎功能的益生菌群,并使拟杆菌属的相对丰度降低1.49%。Yu等^[69]发现,在育肥猪日粮中添加由植物乳杆菌GBL 16和GBL 17发酵的覆盆子副产物饲料,可使肠道中乳杆菌属和链球菌属丰度平均提高8.51%和4.68%,同时使梭菌纲和埃希氏菌属丰度平均降低27.05%和2.85%。

在发酵产物对肠道环境的改善作用方面,SCFA作为发酵饲料的核心代谢产物,在肠道环境优化和肠道健康维持中发挥关键作用。Liao等^[70]报道,在育肥猪日粮中添加30%由植物乳杆菌LY19和纳豆芽孢杆菌NDI发酵的棕榈仁饼粕后,结肠中丁酸和戊酸浓度显著提高,其中丁酸浓度提高了68.7%,戊酸浓度从1.63 mmol·L⁻¹提升至2.37 mmol·L⁻¹。Li等^[71]的研究表明,与对照组相比,在育肥猪日粮中添加了15%由酿酒酵母菌发酵的茅台酒糟后,结肠内容物中乙酸、丙酸、丁酸和戊酸浓度分别提高51.3%、32.7%、24.8%和52.3%,总直链脂肪酸和总SCFA分别提高41.2%和41.6%,从而优化肠道环境。总体而言,发酵饲料一方面通过促进有益菌增殖、抑制有害菌来优化肠道菌群结构,另一方面借助短链脂肪酸等代谢产物

改善肠道环境,从而维持肠道微生态平衡,为育肥猪肠道健康与高效营养吸收奠定基础。

3.3 发酵饲料对免疫的调节机制

免疫功能直接关联猪只的抗病能力与生长稳定性,发酵饲料主要通过刺激肠道黏膜免疫发育、抑制炎症反应两大机制调控免疫功能。Tang 等^[55]证实,饲喂由植物乳杆菌、产朊假丝酵母及枯草芽孢杆菌等发酵的全价饲料,能使育肥猪血液中的 IgG 和 IgM 含量分别提高 35.4% 和 35.3%,这主要归功于发酵饲料中益生菌菌体成分如肽聚糖等可作为免疫增强剂,通过刺激肠道相关淋巴组织,诱导 B 淋巴细胞的活化与增殖,从而提高机体免疫球蛋白水平。陈碧红^[72]研究发现,饲喂由植物乳杆菌和粪肠球菌发酵的液态饲料,能显著提高育肥猪肠道黏膜抗体 IgA 及血清 IgG 水平,增强机体抗病能力。这主要得益于发酵饲料中的菌体成分作为微生物相关分子模式被肠道免疫细胞识别,激活 B 细胞分化为抗体分泌细胞,同时两菌联用可通过协同调节 Th1/Th2 免疫应答平衡进一步增强体液免疫反应。

此外,发酵饲料可通过抗炎与抗氧化作用调节炎症因子平衡,减少应激与炎症对育肥猪生长的抑制。代春华等^[73]发现,在育肥猪日粮中添加 9.1% 发酵豆粕后,育肥猪血清中总抗氧化能力 (total antioxidant capacity, T-AOC) 和超氧化物歧化酶活性显著提高,丙二醛含量显著降低。Liao 等^[47]报道,在育肥猪日粮中添加 6% 由枯草芽孢杆菌 CGMCC21218 发酵的玉米湿酒糟饲料,血清超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性以及 T-AOC 显著升高。Su 等^[57]指出,对育肥猪饲喂 10% 由枯草芽孢杆菌和植物乳杆菌等发酵的脱脂米糠饲料,其血清 T-AOC、超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性均显著提高,丙二醛含量显著降低;同时,血清促炎细胞因子 TNF- α 、IL-1 β 和 IFN- γ 水平显著降低,抗炎细胞因子 IL-22 和 IL-23 水平显著提高,免疫球蛋白 IgG 含量显著增加。

综上,发酵饲料通过生物转化作用提高饲料养分生物利用度,同时调控肠道微生态以促进有益代谢物生成,由此系统性地调控育肥猪免疫功能——包括刺激肠道黏膜免疫发育、增强体液免疫,并通过抗炎抗氧化作用调节炎症因子平衡。这一过程形成了“营养高效利用—微生态优化—免疫稳态维持”的协同调控网络,从而在保障肠道健康的基础上实现对育肥猪生产性能的全面提升。

4 发酵饲料在育肥猪养殖中的应用现状与问题

发酵饲料作为一种新型绿色饲料产品,凭借其提升饲料营养价值、调节肠道微生态平衡、增强机体免疫力等优势,已成为替代抗生素、推动生猪养殖绿色转型的重要路径,目前在育肥猪养殖中逐步推广应用。

4.1 规模化猪场的应用现状

目前,大型养殖集团已在液态发酵全价料领域实现规模化与自动化应用,并在降本增效方面取得显著成效^[74-75]。例如,新希望六和集团通过现场发酵液态饲喂一体化模式,饲料浪费减少 15%,显著降低饲料成本。同时,其液态发酵饲料技术使猪只日均增重从 850 g 提高至 935 g,有效提高猪肉产量^[76]。此外,牧原食品集团股份有限公司采用液态发酵豆粕饲喂育肥猪,平均日增重显著提高 6.1%,料重比下降 7.3%,每千克增重的饲料成本降低 9.9%,进一步验证了该技术在降本增效方面的显著优势^[77]。小型猪场则更倾向于使用外购的发酵豆粕或发酵麸皮作为功能性原料进行小比例添加,以改善肠道健康^[78-79]。王园等^[80]用 6% 的发酵豆粕等量替代基础日粮中的豆粕,结果显示添加发酵豆粕显著提高猪回肠中的胰蛋白酶和淀粉酶活性,并改变了肠道菌群结构,有效改善了肠道健康。与头部企业和小型养殖场的积极应用形成鲜明对比,中小规模的标准化养殖场因设备改造成本高、管理难度大,其技术应用明显滞后^[81-82]。部分早期建设的小规模猪场由于设施条件受限,难以满足现代发酵工艺要求,加之土地与环保政策收紧,已陷入改造困难甚至停产的困境,这折射出中小规模养殖场在技术升级过程中面临的“高投入—低适配”结构性矛盾^[83]。尤为突出的是,高昂的设备投入与复杂的工艺管理成为小型养殖场的主要障碍,导致其应用进度明显落后于大型集团与小规模养殖主体^[84],从而构成了当前产业升级中“中小规模断层”的结构性矛盾。

4.2 产业推广制约因素

发酵饲料在育肥猪养殖中的推广与高效应用还面临来自技术适配、市场认知与产业监管等多方面的局限。首先,发酵饲料更适配集约化养殖,其标准化生产工艺能充分发挥饲料提质增效优势,对于散养模式和小规模家庭农场,发酵饲料虽有助于提升肉质与养殖效益,但受限于技术与设备条件,其应用规模难以扩大,产品品质亦不稳定,整体适配性偏低^[85]。并且,标准化生产体系缺失是发酵饲料推广的核心瓶颈。农副产物原料营养波动大,行业缺乏统一的工艺控制与质量安全监测标准,导致产品质量参差不齐,

难以稳定发挥其应用价值^[8]。此外,长期应用的安全性风险是重要制约。某些发酵饲料的原料(如豆渣、麸皮等)易受霉菌毒素污染,相关调查显示污染率为79.2%~90.0%,甚至可能存在重金属残留风险^[86]。其次,技术推广体系薄弱且养殖户认知有限。基层专业指导缺乏,养殖户常因操作不当而降低使用意愿。因此,发酵饲料与现有饲喂设备的适配性差、行业标准缺失以及从业者专业素养不足,共同构成了技术落地的现实障碍^[87]。最后,质量监管体系不健全。行业缺乏统一的质量标准与权威检测方法,市场准入门槛低,导致劣质产品充斥市场,而全产业链监管的乏力使得养殖户权益难以保障,严重削弱了市场对产品的整体信任度。

5 小结与展望

综上,发酵饲料通过降解抗营养因子、优化营养组成并生成多种功能性代谢产物,在提升育肥猪生长性能、促进营养消化吸收、改善肠道健康与免疫功能以及提升猪肉品质等方面展现出显著优势。从作用机制来看,其核心在于形成“营养转化-微生态调控-免疫稳态维持”的多层级协同作用,实现对生猪生产性能的系统性提升。然而,当前发酵饲料在实际应用中仍面临标准化体系缺失、产品质量不稳定、成本与设备投入较高以及对中小规模养殖场适配性不足等问题,这些因素在一定程度上制约了其规模化推广与产业化应用。

未来,发酵饲料的发展应朝着“精准化、智能化与标准化”方向推进。一方面,应加强基于多组学技术的功能菌种筛选与复合菌理念设计,深入解析微生物代谢互作机制,推动发酵体系由经验驱动向机制驱动转变;另一方面,结合智能监测与数字化调控技术,实现对发酵过程的精准控制与稳定输出。同时,需加快标准体系建设与低成本工艺研发,提升中小规模养殖场的技术可及性。在研究层面,应重点关注发酵饲料的长期应用效应及其分子调控机制,并探索其与益生菌、酶制剂等的协同作用,以构建面向不同养殖场景的精准营养解决方案,推动生猪养殖向高效、绿色与可持续方向发展。

参考文献 References:

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国 2025 年国民经济和社会发展统计公报[R/OL]. 2026-02-28. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202602/t20260228_1962662.html.
National Bureau of Statistics of China. 2025 national economic and social development statistical bulletin[R/OL]. 2026-02-28. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202602/t20260228_1962662.html.
- [2] Oecd. OECD-FAO Agricultural outlook 2025-2034[M]. Paris and Rome:OECD Publishing,2025.
- [3] Song J, Wang X, Cao Y H, et al. Effects of corn-soybean meal-based fermented feed supplementation on growth performance, meat quality, fatty acid profiles, nutritional values, and gut microbiota of lean-type finishing pigs[J]. *Foods*, 2025, 14(15):2641.
- [4] Zhang A R, Yang Y Y, Li Y, et al. Effects of wheat-based fermented liquid feed on growth performance, nutrient digestibility, gut microbiota, intestinal morphology, and barrier function in grower-finisher pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2024, 102:skae229.
- [5] Sun H X, Jiang Z P, Chen Z M, et al. Effects of fermented unconventional protein feed on pig production in China[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, 11:1446233.
- [6] Xiang X E, Zhou Y B, Cai P R, et al. Probiotics and their fermented feed: multi-dimensional effects and mechanistic insights on pork quality[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2026, 17(1):13.
- [7] 蔡辉益, 刘世杰, 邓雪娟, 等. 生物饲料团体标准开启产业健康发展新时代[J]. *中国畜牧杂志*, 2018, 54(9):138-141.
Cai H Y, Liu S J, Deng X J, et al. Biofeed group standards open a new era of healthy development of industries[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2018, 54(9):138-141(in Chinese with English abstract).
- [8] 邓雪娟, 于继英, 刘晶晶, 等. 我国生物发酵饲料研究与应用进展[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(5):1981-1989.
Deng X J, Yu J Y, Liu J J, et al. Research and application progress of biological fermented feed in China[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(5):1981-1989(in Chinese with English abstract).
- [9] 乔富博, 陈静, 刘显军, 等. 益生菌发酵饲料在畜禽生产中的研究进展[J]. *饲料工业*, 2025, 46(3):26-32.
Qiao F B, Chen J, Liu X J, et al. Progress of probiotic fermented feed in livestock and poultry production[J]. *Feed Industry*, 2025, 46(3):26-32(in Chinese with English abstract).
- [10] 戴超, 冷云伟, 宗雯雯. 固态发酵技术的研究进展[J]. *江苏调味副食品*, 2008, 25(2):25-28.
Dai C, Leng Y W, Zong W W. Progress on the technology of solid state fermentation[J]. *Jiangsu Condiment and Subsidiary Food*, 2008, 25(2):25-28(in Chinese).
- [11] 颜梦秋, 刘艳芳, 周帅, 等. 食药菌液体发酵及功能活性成分研究现状与展望[J]. *微生物学通报*, 2023, 50(7):3211-3231.
Yan M Q, Liu Y F, Zhou S, et al. Liquid fermentation technology and functional components of edible and medicinal fungi[J]. *Microbiology China*, 2023, 50(7):3211-3231(in Chinese with English abstract).
- [12] 朱琪, 温超. 液态发酵饲料对仔猪生产性能影响的研究进展[J]. *畜牧与兽医*, 2024, 56(8):134-138.
Zhu Q, Wen C. Progress in research on effects of liquid fermented feed on performance of piglets[J]. *Animal Husbandry & Veterinary*

- Medicine, 2024, 56(8): 134–138 (in Chinese with English abstract).
- [13] 邵晴晴, 许西奎, 朱绍伟, 等. 构树叶液态发酵饲料发酵工艺研究[J]. 中国畜牧业, 2025(24): 51–52.
Shao Q Q, Xu X K, Zhu S W, et al. Study on fermentation technology of liquid fermented feed from *Broussonetia papyrifera* leaves[J]. China Animal Industry, 2025(24): 51–52 (in Chinese).
- [14] 张福娟, 孙成行, 董艳莉, 等. 四菌组合固态发酵麸皮工艺参数的优化[J]. 辽宁师专学报(自然科学版), 2024, 26(4): 99–105.
Zhang F J, Sun C H, Dong Y L, et al. Optimization of process parameters for solid-state fermentation of wheat bran with four-bacteria combination[J]. Journal of Liaoning Normal Colleges (Natural Science Edition), 2024, 26(4): 99–105 (in Chinese with English abstract).
- [15] Zhong Z, Sun F, Xu S, et al. Co-culturing *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* with *Lactobacillus helveticus* accelerates its growth and fermentation in milk through metabolic interactions[J]. Journal of Dairy Science, 2025, 108(1): 229–241.
- [16] 王希国, 杨谦, 燕红, 等. 梅林青霉液态发酵生产纤维素酶条件的研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊3): 97–100.
Wang X G, Yang Q, Yan H, et al. Cellulase production by *Penicillium melinii* in liquid state fermentation[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(S3): 97–100 (in Chinese with English abstract).
- [17] 胡郑晨, 熊世进, 朱行宇, 等. 优良猴头菇菌种选育及液态发酵工艺优化[J]. 南昌大学学报(理科版), 2025, 49(5): 480–493.
Hu Z C, Xiong S J, Zhu X Y, et al. High-performance *Hericium erinaceus* breeding and liquid fermentation technology optimization[J]. Journal of Nanchang University (Natural Science), 2025, 49(5): 480–493 (in Chinese with English abstract).
- [18] 吴艺斌, 袁滨, 陈毅勇, 等. 鲍鲍菇液体菌种发酵罐培养基及培养条件优化[J]. 现代化农业, 2025(6): 25–28.
Wu Y B, Yuan B, Chen Y Y, et al. Optimization of fermentation medium and culture conditions of *Pleurotus eryngii* liquid strain fermentor[J]. Modernizing Agriculture, 2025(6): 25–28 (in Chinese).
- [19] 黄春喜, 刘晓慧, 张立彬, 等. 发酵液体饲料的生产及其在断奶仔猪上的应用[J]. 饲料工业, 2014, 35(增刊1): 1–3.
Huang C X, Liu X H, Zhang L B, et al. Production of fermented liquid feed and its application in weaned piglets[J]. Feed Industry, 2014, 35(S1): 1–3 (in Chinese with English abstract).
- [20] Liu S P, Li M L, Sun H L, et al. Integrated multi-omics analysis unveils metabolites-mediated microbial interactions; dynamic regulation and metabolic division of *A. flavus* SU-16 and *S. cerevisiae* HJ during co-fermentation[J]. Food Science and Human Wellness, 2026, 15(4): 9250445.
- [21] Wang R, Sun S Q, Hao Y L, et al. A protease-precursor system drives synergistic antagonism in haloarchaea[J]. MBio, 2026, 17(2): e03405–e03425.
- [22] Liu D T, Su Z H, Han Q, et al. Interactions of microbiota during solid-state cereal vinegar fermentation[J]. Trends in Food Science & Technology, 2026, 169: 105536.
- [23] 黄亚东. 防治机械搅拌通风发酵过程中杂菌污染的方法[J]. 中国酿造, 2001, 20(4): 30–32, 34.
Huang Y D. Study on pollution and prevention of infected microb in ventilating fermentation by machine agitating[J]. China Brewing, 2001, 20(4): 30–32, 34 (in Chinese with English abstract).
- [24] 张关锋, 曾文林, 郑梦莉, 等. 微生物发酵饲料的特性及其在动物生产中的应用研究进展[J]. 饲料工业, 2023, 44(18): 79–85.
Zhang G F, Zeng W L, Zheng M L, et al. Research progress on characteristics of microbial fermented feed and its application in animal production[J]. Feed Industry, 2023, 44(18): 79–85 (in Chinese with English abstract).
- [25] 梁洪慧, 谭会泽, 赵江涛, 等. 饲料原料中抗营养因子的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2022(1): 49–53, 59.
Liang H H, Tan H Z, Zhao J T, et al. The research progress of antinutritional factors in feedstuff[J]. Cereal & Feed Industry, 2022(1): 49–53, 59 (in Chinese).
- [26] 贾冰玉, 邹峰余, 宋长春, 等. 微生物固态发酵条件的优化及其对菜籽粕品质改善的研究[J]. 动物营养学报, 2024, 36(1): 650–657.
Jia B Y, Zou F Y, Song C C, et al. Optimization of solid-state fermentation condition of microorganisms and their roles in improvement of quality in rapeseed meal[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2024, 36(1): 650–657 (in Chinese with English abstract).
- [27] Zhang L, Yang X L, Nie C X, et al. Combined transcriptomics and cellular analyses reveal the molecular mechanism by which *Candida tropicalis* ZD-3 adapts to and degrades gossypol[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 279: 135294.
- [28] 周忆灵, 杨安树, 陈红兵. 酶解协同益生菌发酵消减豆粕中抗营养因子的工艺优化[J]. 南昌大学学报(理科版), 2025, 49(3): 308–316.
Zhou Y L, Yang A S, Chen H B. Optimization of enzymatic hydrolysis and probiotic fermentation for reducing anti-nutritional factors in soybean meal[J]. Journal of Nanchang University (Natural Science), 2025, 49(3): 308–316 (in Chinese with English abstract).
- [29] 谢文斌, 陈娟娟, 田斌, 等. 布氏乳杆菌对玉米秸秆青贮品质和体外消化率的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(21): 122–126.
Xie W B, Chen J J, Tian B, et al. Effect of *Lactobacillus brucei* on quality and *in vitro* digestibility of corn straw silage[J]. Feed Research, 2022, 45(21): 122–126 (in Chinese with English abstract).
- [30] 张桂堂, 任军玲. 枯草芽孢杆菌对发酵玉米秸秆营养成分、酸化和氨基酸含量的影响[J]. 中国饲料, 2024(14): 42–45.
Zhang G T, Ren J L. Comparative study on acidification and degradation of rice straw feed by different ferments[J]. China Feed, 2024(14): 42–45 (in Chinese with English abstract).
- [31] 汪钰, 刘宽博, 李爱科, 等. 多指标综合加权法优化固态发酵菜粕品质研究[J]. 饲料工业, 2022, 43(12): 42–47.
Wang Y, Liu K B, Li A K, et al. Study on optimizing the quality of solid-state fermented rapeseed meal by multi-index comprehensive weighting method[J]. Feed Industry, 2022, 43(12): 42–47 (in Chinese with English abstract).
- [32] 魏嘉, 李丽, 刘军, 等. 混菌发酵对提高棉籽粕蛋白和降低游离棉酚的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(16): 231–238.
Wei J, Li L, Liu J, et al. Effect of mixed fermentation on improving cottonseed meal protein and reducing free gossypol[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(16): 231–238 (in Chinese with English abstract).
- [33] 卜子晨, 夏永军, 艾连中, 等. 益生菌中短链脂肪酸的合成途径及功能性研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(14): 286–291, 302.

- Bu Z C, Xia Y J, Ai L Z, et al. Synthetic pathway and functional study of short chain fatty acids in probiotics[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(14): 286–291, 302 (in Chinese with English abstract).
- [34] 王蕊, 宁艳, 刘世龙, 等. 发酵饲料对肥育猪脂肪代谢、肠道菌群及代谢产物的影响[J]. 动物营养学报, 2025, 37(5): 2930–2944.
Wang R, Ning Y, Liu S L, et al. Effects of fermented feed on lipid metabolism, intestinal flora and metabolites of finishing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(5): 2930–2944 (in Chinese with English abstract).
- [35] 朱筱玉. *Bacillus amyloliquefaciens* ES-2-4 抗菌脂肽固态发酵工艺的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010: 1–69.
Zhu X Y. SoLID-STATE fermentation process for production of antimicrobial lipopeptide by *Bacillus amyloliquefaciens* ES-2-4[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010: 1–69 (in Chinese with English abstract).
- [36] 北京伟嘉人生物技术有限公司. 一种芽孢杆菌抗菌肽的制备方法和应用: CN201510251466.3[P]. 2017-01-04.
Beijing Weijia Ren Biotechnology Co., Ltd. Preparation method and application of a *Bacillus* antimicrobial peptide: CN201510251466.3[P]. 2017-01-04 (in Chinese).
- [37] 付文娟, 杨亚晋, 王庆, 等. 高产蛋白酶菌株的筛选及其提高发酵豆粕肽含量效果研究[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(23): 41–46.
Fu W J, Yang Y J, Wang Q, et al. Screening of a new *Bacillus* which produces high protease and study on its peptide promoting effect on fermented soybean meal[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2013, 49(23): 41–46 (in Chinese with English abstract).
- [38] 邱良伟, 顾拥建, 沙文锋, 等. 复合微生物固态发酵菜籽粕的研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(3): 209–211.
Qiu L W, Gu Y J, Sha W F, et al. Study of solid substrate fermentation with complex microbial on rapeseed meal[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(3): 209–211 (in Chinese with English abstract).
- [39] 陈敬帮, 戴晋军, 徐智鹏, 等. 菌酶固态发酵豆粕去除抗营养因子的差异化研究[J]. 中国饲料, 2022(21): 147–150.
Chen J B, Dai J J, Xu Z P, et al. Study on the synergistic effect of microorganism and enzymes on the removal of anti-nutritional factors in solid-state fermented soybean meal[J]. China Feed, 2022(21): 147–150 (in Chinese with English abstract).
- [40] 朱晓峰, 张栢, 丁立人, 等. 乳酸杆菌固态发酵降低菜籽粕硫代葡萄糖苷的研究[J]. 南京农业大学学报, 2021, 44(3): 526–532.
Zhu X F, Zhang Z, Ding L R, et al. Solid state fermentation of rapeseed meal with *Lactobacillus* to degrade glucosinolate[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2021, 44(3): 526–532 (in Chinese with English abstract).
- [41] 洪振. 微生物固态发酵法降低棉粕中游离棉酚含量的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2016: 1–46.
Hong Z. Microbial solid fermentation to reduce free gossypol content in the cottonseed meal[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2016: 1–46 (in Chinese with English abstract).
- [42] 孙宏, 李国成, 吴逸飞, 等. 酿酒酵母制备固态发酵饲料的参数优化及品质评价[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(5): 102–107.
Sun H, Li Y C, Wu Y F, et al. Parameters optimization and quality evaluation of solid-state fermented feed prepared by *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2018, 54(5): 102–107 (in Chinese with English abstract).
- [43] 丁亚伟, 刘月, 徐艳辉, 等. 复合益生菌发酵玉米-豆粕型饲料的品质评价及抑菌性能研究[J]. 家畜生态学报, 2022, 43(11): 19–24.
Ding Y W, Liu Y, Xu Y H, et al. Quality evaluation and antimicrobial activity analysis of full price corn-soybean meal feed fermented with compound probiotics[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2022, 43(11): 19–24 (in Chinese with English abstract).
- [44] 荆淑琴. 发酵饲料对猪生长性能、营养物质消化及肠道菌群影响[J]. 新农业, 2023(4): 75.
Jing S Q. Effect of fermented feed on growth performance, nutrient digestion and intestinal flora of pigs[J]. Modern Agriculture, 2023(4): 75 (in Chinese).
- [45] 董庆锋, 赵立彬. 发酵青绿饲料在育肥猪中的应用及经济效益[J]. 山东畜牧兽医, 2024, 45(1): 38–40, 43.
Dong Q F, Zhao L B. Application and economic benefit of fermented green feed in fattening pigs[J]. Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2024, 45(1): 38–40, 43 (in Chinese with English abstract).
- [46] Liu S Q, Du M, Tu Y A, et al. Fermented mixed feed alters growth performance, carcass traits, meat quality and muscle fatty acid and amino acid profiles in finishing pigs[J]. Animal Nutrition, 2023, 12: 87–95.
- [47] Liao W, Wu X D, Wang Z G, et al. Effects of probiotic-fermented corn wet distillers grains on the growth performance, carcass characteristics, and heavy metal residue levels of finishing pigs[J]. Biology, 2025, 14(8): 1021.
- [48] Zhang A R, Zheng Y F, Yin W, et al. Impact of fermented liquid feed supplementation on grower-fattening pigs production: insights into growth performance, carcass traits, meat quality, and metabolite profiles[J]. Food Chemistry Molecular Sciences, 2025, 11: 100268.
- [49] Cheng Y, He J, Zheng P, et al. Effects of replacing soybean meal with enzymolysis-fermentation compound protein feed on growth performance, apparent digestibility of nutrients, carcass traits, and meat quality in growing-finishing pigs[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2024, 15(1): 127.
- [50] 宋芬. 微生物发酵饲料对育肥猪生长性能、养分消化率及经济效益的影响[J]. 中国饲料, 2024(22): 73–76.
Song F. The effect of microbial fermented feed on the growth performance, nutrient digestibility, and economic benefits of fattening pigs[J]. China Feed, 2024(22): 73–76 (in Chinese with English abstract).
- [51] 胡文平, 王恩玲, 张永翠, 等. 微生物发酵饲料对莱芜黑猪生长性能、氮磷排放、肠道消化酶活性和盲肠微生物的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(12): 14–18.
Hu W P, Wang E L, Zhang Y C, et al. Effect of microbial fermented feed on growth performance, emissions of nitrogen and phosphorus, intestinal digestive enzyme activities and cecal microorganisms of Laiwu black pigs[J]. Feed Research, 2022, 45(12): 14–18 (in Chinese with English abstract).
- [52] 马晓阳, 袁汝喜, 梁余妙, 等. 液态饲喂发酵玉米秸秆对育肥猪肠道健康和肉品质的影响[J]. 饲料研究, 2025, 48(23): 33–36.
Ma X Y, Yuan R X, Liang Y M, et al. Effects of liquid feeding fermented corn stover on intestinal health and meat quality of finishing pigs[J]. Feed Research, 2025, 48(23): 33–36 (in Chinese with English abstract).

- [53] Muniyappan M, Shanmugam S, Wang S Q, et al. Dietary fermented soybean meal in swine nutrition and effects on regulation of gut health, immune system and environment: a review[J]. Journal of Animal Science and Technology, 2026, 68(3): 645–666.
- [54] Zhang Y, Wang C, Su W F, et al. Co-fermented yellow wine lees by *Bacillus subtilis* and *Enterococcus faecium* regulates growth performance and gut microbiota in finishing pigs[J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 1003498.
- [55] Tang X P, Liu X G, Zhang K. Effects of microbial fermented feed on serum biochemical profile, carcass traits, meat amino acid and fatty acid profile, and gut microbiome composition of finishing pigs[J]. Frontiers in Veterinary Science, 2021, 8: 744630.
- [56] 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.
Tang L, Cao Y Y, Wei J J. Effects of fermented mushroom bran feed on growth performance, intestinal microbiota, and immune function of fattening pigs[J]. China Feed, 2025(2): 73–76 (in Chinese with English abstract).
- [57] Su W F, Jiang Z P, Wang C, et al. Co-fermented defatted rice bran alters gut microbiota and improves growth performance, antioxidant capacity, immune status and intestinal permeability of finishing pigs[J]. Animal Nutrition, 2022, 11: 413–424.
- [58] Peng S, Cui Y Y, Yu M, et al. Effect of fermented mulberry leaves on gut health of finishing pigs[J]. Animals, 2024, 14(19): 2911.
- [59] Prates J A M. Enhancing meat quality and nutritional value in monogastric livestock using sustainable novel feed ingredients[J]. Foods, 2025, 14(2): 146.
- [60] Han G Q, Liu S, Zhao C X, et al. Effects of fermented liquid feed on growth performance, meat quality, and intestinal microbiota of Yuedong black pigs[J]. Animals, 2025, 15(18): 2657.
- [61] Xu C H, Xiong P W, Song W J, et al. Effects of fermented navel orange pulp on growth performance, carcass characteristics, meat quality, meat nutritional value, and serum biochemical indicators of finishing Tibetan pigs[J]. Foods, 2024, 13(12): 1910.
- [62] Zhu Y F, Lei X Y, Zhang X Y, et al. Effects of alfalfa fermented feed on growth performance, meat quality, and fecal microflora of Taoyuan Black pigs[J]. Frontiers in Veterinary Science, 2025, 12: 1689943.
- [63] 隋洁, 薛盼盼, 陶泽宇, 等. 微生物发酵饲料对猪禽生产性能的影响[J]. 家畜生态学报, 2018, 39(5): 73–75.
Sui J, Xue P P, Tao Z Y, et al. Effect of microbial fermentation feed on production performance of pig and poultry[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2018, 39(5): 73–75 (in Chinese with English abstract).
- [64] 赵娜, 杨雪海, 陈芳, 等. 液态豆粕酶解发酵物对生长育肥猪的营养价值评定[J]. 中国兽医学报, 2017, 37(11): 2206–2210.
Zhao N, Yang X H, Chen F, et al. Nutritional value evaluation of liquid enzymolysed and fermented soybean meal on growing pigs[J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2017, 37(11): 2206–2210 (in Chinese with English abstract).
- [65] 吴正可, 刘国华, 李阳, 等. 混菌固态发酵菜籽粕工艺优化[J]. 中国农业科学, 2019, 52(24): 4603–4612.
Wu Z K, Liu G H, Li Y, et al. Optimization of solid state fermentation for rapeseed meal with mixed strains[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(24): 4603–4612 (in Chinese with English abstract).
- [66] 关红民, 王佳, 张登辉, 等. 发酵棉籽粕对保育猪、生长猪和肥育猪的生长性能及健康状况的影响[J]. 养猪, 2017(4): 9–11.
Guan H M, Wang J, Zhang D H, et al. Effects of fermented cottonseed meal on production performance and health status of nursery pig, growing pig and finishing pig[J]. Swine Production, 2017(4): 9–11 (in Chinese with English abstract).
- [67] Zhang Z Y, Zhao H, Chen X L, et al. Enhancing pig growth and gut health with fermented *Jatropha curcas* cake: impacts on microbiota, metabolites, and neurotransmitters[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2024, 108(5): 1243–1257.
- [68] Yang Y Z, Yan G H, Meng X H, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici* co-fermented feed on growth performance and gut microbiota of nursery pigs[J]. Frontiers in Veterinary Science, 2022, 9: 1076906.
- [69] Yu D Y, Oh S H, Kim I S, et al. Intestinal microbial composition changes induced by *Lactobacillus plantarum* GBL 16, 17 fermented feed and intestinal immune homeostasis regulation in pigs[J]. Journal of Animal Science and Technology, 2022, 64(6): 1184–1198.
- [70] Liao J, Daniel S, Miao J, et al. Finishing pig's responses to a diet incorporating unfermented or fermented palm kernel cake on growth performance, nutrient digestibility, digestive enzyme activity, short-chain fatty acid, and colonic microbiota composition[J]. Animal Advances, 2025, 2: e013.
- [71] Li H, Li H W, Xie P F, et al. Dietary supplementation with fermented Mao-Tai lees beneficially affects gut microbiota structure and function in pigs[J]. AMB Express, 2019, 9(1): 26.
- [72] 陈碧红. 复合微生物制剂发酵液态饲料对育肥猪生长性能、肉质、免疫力、抗氧化能力和肠道形态结构的影响[J]. 动物营养学报, 2023, 35(12): 7658–7667.
Chen B H. Effects of complex microbial agent fermented liquid feed on growth performance, meat quality, immunity, antioxidant capacity and intestinal morphological structure of finishing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(12): 7658–7667 (in Chinese with English abstract).
- [73] 代春华, 单吴书, 何荣海, 等. 发酵豆粕对育肥猪生长性能、血清指标及肠道菌群的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2022(8): 257–261, 269.
Dai C H, Shan H S, He R H, et al. Effects of fermented soybean meal on growth performance, serum indexes and intestinal flora of finishing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022(8): 257–261, 269 (in Chinese with English abstract).
- [74] 倪美. 液态料饲喂系统在养猪生产中的应用现状[J]. 中国动物保健, 2023, 25(3): 89–90.
Ni M. Application status of liquid feed system in pig production[J]. China Animal Health, 2023, 25(3): 89–90 (in Chinese with English abstract).
- [75] 张博, 孙永刚, 王文锋, 等. 猪液态发酵饲料的研究进展[J]. 猪业科学, 2025, 42(9): 70–72.
Zhang B, Sun Y G, Wang W F, et al. Research progress of liquid fermented feed for pigs[J]. Swine Industry Science, 2025, 42(9): 70–72 (in Chinese with English abstract).
- [76] 王一诺, 刘玉玲, 王萌, 等. 液态发酵料智能装备在养猪行业的应用与实践[J]. 猪业科学, 2025, 42(12): 85–87.

- Wang Y N, Liu Y L, Wang M, et al. Application and practice of intelligent equipment for liquid fermentation materials in pig industry[J]. Swine Industry Science, 2025, 42(12): 85–87 (in Chinese).
- [77] 辛顺进. 液态料和发酵料应用经济效益分析[J]. 猪业科学, 2023, 40(4): 74–75.
Xin S J. Economic benefit analysis of application of liquid and fermented materials[J]. Swine Industry Science, 2023, 40(4): 74–75 (in Chinese with English abstract).
- [78] 徐述亮, 刘晓东, 魏建军, 等. 不同发酵豆粕在教槽料中使用对仔猪生长性能和肠道形态的影响[J]. 饲料工业, 2013, 34(21): 34–39.
Xu S L, Liu X D, Wei J J, et al. Effects of different fermented soybean meals on growth performance and intestinal morphology in piglets[J]. Feed Industry, 2013, 34(21): 34–39 (in Chinese with English abstract).
- [79] 郭惠敏, 李辉. 发酵麦麸对育肥猪生产性能、肠道菌群及免疫功能的影响[J]. 中国饲料, 2023(16): 65–68.
Guo H M, Li H. Effects of fermented wheat bran on production performance, intestinal flora and immune function of fattening pigs[J]. China Feed, 2023(16): 65–68 (in Chinese with English abstract).
- [80] 王园, 王文文, 安晓萍, 等. 发酵豆粕对断奶仔猪生长性能、消化酶及肠道菌群结构的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2023, 50(1): 115–124.
Wang Y, Wang W W, An X P, et al. Effects of dietary fermented soybean meal replacement on growth performance, digestive enzyme, and microbota composition in weaned piglets[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2023, 50(1): 115–124 (in Chinese with English abstract).
- [81] 曹利刚, 郭改琴. 基于 PLC 的猪场智能液态饲喂系统的设计与研究[J]. 杨凌职业技术学院学报, 2024, 23(4): 1–4.
Cao L G, Guo G Q. Design of an intelligent liquid feeding system for pig farms based on PLC[J]. Journal of Yangling Vocational & Technical College, 2024, 23(4): 1–4 (in Chinese with English abstract).
- [82] 赵崇杰, 姜小梅, 张帅. 复合酸化剂对育肥猪生长性能的影响[J]. 畜牧与兽医, 2025, 57(5): 31–34.
Zhao C J, Jiang X M, Zhang S. Effect of compound acidifier on growth performance of fattening pigs[J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57(5): 31–34 (in Chinese with English abstract).
- [83] 王佳秀, 马红林. 对设施落后停产和半停产规模化猪场升级改造建议: 麟游县规模化养猪场现状调查[J]. 畜牧兽医杂志, 2025, 44(6): 39–41.
Wang J X, Ma H L. Recommendations for the upgrading and renovation of outdated, suspended, and semi-suspended large-scale pig farms: an investigation into the current status of large-scale pig farming in Linyou county[J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2025, 44(6): 39–41 (in Chinese with English abstract).
- [84] 石永杰, 尉新华. 规模化猪场液态发酵饲喂技术的应用分析[J]. 养殖与饲料, 2025, 24(10): 36–38.
Shi Y J, Yu X H. Application analysis of liquid fermentation feeding technology in large-scale pig farms[J]. Animals Breeding and Feed, 2025, 24(10): 36–38 (in Chinese with English abstract).
- [85] 郭境桢. 生猪养殖企业内部控制规范化研究: 基于不同养殖模式的案例分析[D]. 重庆: 重庆三峡学院, 2024: 1–83.
Guo J A. Research on the standardization of internal control in pig farming enterprises: case analysis based on different breeding models[D]. Chongqing: Chongqing Three Gorges University, 2024: 1–83 (in Chinese with English abstract).
- [86] 刘建高, 厉学武, 彭哲, 等. 2021 年我国饲料原料中常见霉菌毒素污染情况调查[J]. 中国家禽, 2023, 45(10): 70–75.
Liu J G, Li X W, Peng Z, et al. Investigation of common mycotoxins contamination in feed ingredients in China in 2021[J]. China Poultry, 2023, 45(10): 70–75 (in Chinese with English abstract).
- [87] 劳泰财, 余忠丽, 程林春, 等. 生物发酵饲料开发前景广阔[J]. 广东饲料, 2018, 27(9): 12–15.
Lao T C, Yu Z L, Cheng L C, et al. Prospect of bio-fermentation feed is promising[J]. Guangdong Feed, 2018, 27(9): 12–15 (in Chinese).

责任编辑: 周广礼



付浩, 博士, 助理研究员, 2022 年毕业于江西农业大学。主要从事饲用微生物及饲料资源开发等基础与应用研究, 通过微生态制剂的定向创制、地缘性饲料资源的发酵改造、功能性饲料配方的优化等技术手段, 靶向解决生猪营养和肠道健康及臭气源头减排等生产难题。主持国家自然科学基金青年基金 1 项、省市级项目 5 项。在 *Resources, Environment and Sustainability*、*Environmental Technology & Innovation* 和《中国科学: 生命科学》等期刊上以第一作者或通信作者发表 SCI 收录论文 9 篇, 中文核心期刊论文 4 篇。



许来鹏, 博士。2025 年 6 月毕业于南京农业大学, 获农学博士学位, 2025 年 7 月入职洛阳师范学院食品与药品学院。主要研究肠道微生物与营养健康、功能性食品开发与应用以及真菌毒素生物降解技术。围绕食品营养、肠道微生态与食品安全等领域开展研究, 累计参与发表 SCI 论文 8 篇, 获授权发明专利 1 项。相关研究成果发表于 *Journal of Agricultural and Food Chemistry*、*Food & Function*、*Anim Nutrition* 等国际期刊。入职以来, 依托学院科研平台, 持续开展食品微生物调控、功能性食品开发及真菌毒素绿色降解等方面的研究, 重点关注食品营养与肠道健康之间的相互关系, 积极推动科研成果向食品营养与安全领域的技术应用转化, 为功能食品研发、食品安全保障及相关产业发展提供理论与技术支持。