

复合酶制剂在饲料中的应用研究综述

杨超, 王成, 刘双双, 杨洋, 丛培君, 侯雪, 梁代华, 杨运玲, 陶莉, 丁雪*

(谷实生物集团股份有限公司, 哈尔滨 150078)

摘要: 复合酶制剂是一类绿色高效的饲料添加剂, 依靠多酶协同作用, 可有效降解饲料中的抗营养因子, 提高营养物质利用率, 改善畜禽生长性能与肠道健康。在畜牧行业“禁抗、限抗”政策持续推进与饲料成本不断上涨的背景下, 复合酶制剂已成为优化饲料配方、推动产业绿色可持续发展的关键技术。文章系统阐述了复合酶制剂的分类与作用机制, 总结其在猪、肉鸡、反刍动物及水产动物饲料中的应用效果, 分析影响应用效果的主要因素, 并对未来研究方向与产业化发展进行展望, 为复合酶制剂在饲料工业中的科学应用与技术创新提供参考。

关键词: 复合酶制剂; 饲料工业; 畜禽养殖; 生长性能; 肠道健康; 抗营养因子

中图分类号: S816 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0084(2026)04-0015-05

Review of Application of Compound Enzyme Preparations in Feed

YANG Chao, WANG Cheng, LIU Shuangshuang, YANG Yang, CONG Peijun, HOU Xue,

LIANG Daihua, YANG Yunling, TAO Li, DING Xue*

(Gushi Biological Group Co., Ltd., Harbin 150078, China)

Abstract: As a green and high-efficiency feed additive, compound enzyme preparations exert key effects in degrading anti-nutritional factors, improving nutrient utilization, and enhancing growth performance and intestinal health of livestock and poultry *via* multi-enzyme synergy. With the continuous implementation of the antibiotic restriction and ban policy in animal husbandry and the increasing pressure of feed costs, compound enzyme preparations have become one of the core technologies for optimizing feed formulations and promoting the sustainable development of the feed industry. The types and core mechanisms of compound enzyme preparations were systematically reviewed, their application effects in piglets, finishing pigs, broilers, ruminants and aquatic animals were summarized, the key factors affecting their efficacy were analyzed, and prospects for future research and industrialization directions were discussed, so as to provide references for the scientific application and technological innovation of compound enzyme preparations in the feed industry.

Key words: complex enzyme preparations; feed industry; livestock and poultry farming; growth performance; intestinal health; anti-nutritional factors

我国是畜牧养殖与饲料生产大国, 饲料成本占畜禽养殖总成本的 60.0%~70.0%。植物性饲料中

普遍含有非淀粉多糖、植酸、凝集素等抗营养因子, 不仅降低营养物质消化吸收率, 还易引发肠道

作者简介: 杨超(1992—), 女, 硕士, 农艺师, 研究方向为农业副产物资源化应用。

*通信作者: 丁雪(1990—), 女, 硕士, 畜牧师, 研究方向为动物营养与饲料科学。

紊乱, 制约养殖效益提升^[1-2]。近年来, 随着《全国兽用抗菌药使用减量化行动方案(2021—2025年)》政策的实施, 行业对安全、高效、无残留的抗生素替代产品需求持续增加^[3]。复合酶制剂由纤维素酶、木聚糖酶、蛋白酶等多种酶类科学复配而成, 具有催化专一性强、反应条件温和、无残留、环境友好等特点, 可高效降解抗营养因子, 同时改善畜禽生理机能, 已成为饲料工业领域的研究热点^[4-7]。

全球工业酶制剂市场规模稳步扩大, 饲料用酶作为重要细分领域, 市场需求随替抗、降本等行业需求持续增长。目前, 复合酶制剂在仔猪、育肥猪、肉鸡等主要畜禽饲料中的应用已积累大量研究数据, 其应用效果受酶制剂组成、添加水平、饲料类型及畜禽生理阶段等多种因素影响^[8-11]。本文基于国内外最新研究成果, 结合典型试验数据, 系统梳理复合酶制剂在饲料中的应用现状、作用机制及影响因素, 为饲料企业配方优化与养殖企业提质增效提供理论依据与技术支持。

1 复合酶制剂的种类与核心作用机制

1.1 主要种类及分类

按照功能与作用底物, 饲料用复合酶制剂可分为5大类, 各组分协同作用, 覆盖饲料营养降解全流程^[12]。碳水化合物降解复合酶以纤维素酶、木聚糖酶、 β -葡聚糖酶、淀粉酶为核心, 降解非淀粉多糖等抗营养因子, 释放可利用单糖, 降低肠道食糜黏度。蛋白质降解复合酶包含酸性蛋白酶、中性蛋白酶、角蛋白酶等, 可分解植物蛋白中的抗原结构, 将大分子蛋白质降解为小肽与氨基酸, 提高蛋白质利用率, 复合蛋白酶效果优于单一酶^[13]。脂质降解复合酶以脂肪酶、磷脂酶为主, 促进脂肪水解为脂肪酸与甘油, 提升脂肪消化率, 适用于高脂肪日粮与幼龄动物。矿物质释放复合酶以植酸酶为核心, 降解植酸磷, 释放磷、钙等矿物元素, 减少矿物添加剂用量, 降低磷排放。多功能复合酶融合两类及以上酶种, 如木聚糖酶+蛋白酶+植酸酶复配体系, 适配复杂饲料配方, 兼顾抗营养因子消除与营养释放。

1.2 核心作用机制

1.2.1 降解抗营养因子, 释放潜在营养

植物性饲料中10.0%~25.0%的营养物质被细胞壁结构包裹或与抗营养因子结合, 难以被畜禽消化

利用^[14]。复合酶制剂可破坏植物细胞壁 β -1, 4糖苷键, 释放淀粉、蛋白质等营养物质; 植酸酶可水解植酸复合物, 使磷利用率提高10.0%~30.0%^[15]; β -葡聚糖酶可降解大麦、燕麦中的 β -葡聚糖, 降低肠道食糜黏度, 减少腹胀、腹泻发生率。徐海铭研究表明, 复合酶制剂可使育肥猪粪便中氨基酸总量降低18.2%, 显著提升营养吸收效率^[9]。

1.2.2 补充内源酶, 强化消化功能

畜禽内源消化酶分泌受品种、日龄、健康状况影响较大, 幼龄、患病及应激状态下易出现酶分泌不足的现象^[16]。复合酶制剂可直接补充内源酶缺口, 同时减轻抗营养因子对内源酶的抑制作用^[17]。Yin et al.研究表明, 外源淀粉酶与畜禽内源淀粉酶协同作用, 可使淀粉消化率提高8.0%~15.0%^[18]; 蛋白酶复配体系能激活肠道蛋白酶原, 增强内源蛋白消化能力。Zhang et al.研究表明, 复合酶制剂可改善肉鸡的抗氧化和免疫功能^[19]。

1.2.3 调节肠道微生态, 改善健康状况

复合酶可降解纤维产生的木糖、阿拉伯糖等小分子糖, 可作为肠道有益菌的发酵底物, 促进乳酸菌、双歧杆菌等增殖, 抑制大肠杆菌、沙门氏菌等有害菌生长^[20]。有益菌发酵产生的短链脂肪酸可降低肠道pH, 增强肠道黏膜屏障功能。徐海铭研究基于16S rRNA测序结果显示, 相较于饲喂基础日粮的空白对照组, 在育肥猪饲料中添加复合酶制剂后, 试验猪肠道拟杆菌门丰度提升8.9%, 厚壁菌门丰度下降21.9%, 罗伊氏乳杆菌等有益菌群丰度显著上调, 证实复合酶制剂能够优化育肥猪肠道菌群结构^[9]。

1.2.4 提高营养利用率, 降低养殖污染

复合酶制剂通过提升氮、磷等营养物质利用率, 减少粪便中未消化养分排放^[21]。纤维素酶与木聚糖酶复配可减少氮排放10.0%~15.0%^[22]。酶制剂可提高饲料有机物消化率, 减少饲料浪费, 在提升养殖效益的同时, 助力畜牧业绿色发展^[23]。

2 复合酶制剂在不同动物饲料中的应用

2.1 在猪饲料中的应用

2.1.1 仔猪饲料

仔猪消化系统发育不完善, 内源酶活性低, 易受抗营养因子影响引发腹泻。在仔猪玉米-豆粕日粮中添加木聚糖酶+角蛋白酶+甘露聚糖酶复合制剂, 可使腹泻率降低32.6%, 平均日增重提高

18.3%^[24]；淀粉酶+纤维素酶+蛋白酶复配体系可促进仔猪肠道消化酶分泌，粗蛋白质消化率提升12.5%，复合酶制剂可有效降解豆粕寡糖与粗纤维，缓解断奶应激，改善仔猪生长与健康水平^[25]。

2.1.2 育肥猪饲料

育肥猪养殖以提高饲料转化效率、降低料重比为核心目标。吕东海等人的研究证实，在玉米-豆粕型育肥猪日粮中添加微丸型复合酶制剂(含木聚糖酶、 β -葡聚糖酶、纤维素酶及蛋白酶等)150~180 g·t⁻¹，可有效降解日粮中非淀粉多糖及抗营养因子、改善养分利用率；与对照组相比，试验组育肥猪生长性能与屠宰性能无显著差异且料重比显著降低，表明复合酶制剂能通过多酶协同弥补日粮营养缺陷，提升玉米基础日粮的饲喂效率^[26]。此外，复合酶制剂还能改善育肥猪血清生化指标，提高机体抗病毒能力，并可优化饲料原料结构，减少玉米、豆粕等高价原料的使用，降低饲料成本。

2.2 在肉鸡饲料中的应用

肉鸡生长周期短、代谢旺盛，对饲料营养密度要求高，复合酶制剂可有效提升低蛋白、高纤维日粮的营养价值^[27]。在肉鸡玉米-豆粕型日粮中添加500 g·t⁻¹复合酶制剂(含木聚糖酶、纤维素酶、蛋白酶等)，42日龄肉鸡外周血白细胞分类中淋巴细胞比例升高，异嗜粒细胞与淋巴细胞比值下降，死淘率较对照组降低，生长性能与屠宰性能同步改善^[28]。隋毅研究表明，含木聚糖酶、 β -葡聚糖酶的复配体系可使肉鸡日增重提高9.7%，改善饲料转化率^[29]。针对高纤维日粮，复合酶可使粗纤维消化率提高15.0%~20.0%，降低肠道疾病发生率，提升低蛋白、高纤维日粮的应用价值。

2.3 在反刍动物饲料中的应用

反刍动物瘤胃微生物可降解部分纤维，添加复合酶可进一步辅助纤维分解，提高粗饲料利用率，优化瘤胃发酵功能。李红玉等研究表明，反刍动物日粮中添加复合酶可破坏牧草细胞壁结构，释放纤维素和半纤维素，瘤胃挥发性脂肪酸产量增加18.0%^[30]。在围产期奶牛日粮中添加复合酶制剂，可显著提高乳蛋白率，优化乳品质，提升养殖效益^[31]。

2.4 在水产动物饲料中的应用

水产动物肠道较短，消化酶系统简单，对植物性饲料利用率较低。在草鱼低磷低脂、无鱼粉日粮中添加复合酶，可显著提高营养物质利用率，改善

生长性能^[32]。熊莹槐等研究表明，饲料中添加复合菌酶制剂较单独添加酶制剂和菌制剂更有利于对虾生长、免疫和肝肠健康^[33]。水产饲料中复合酶制剂的适宜添加剂量通常为300~500 g·t⁻¹，应用时需兼顾酶的耐温性与耐酸性，适应饲料加工与水生动物消化道环境。

3 影响复合酶制剂应用效果的关键因素

3.1 酶制剂自身特性

复合酶需与饲料原料特性精准匹配，组分比例失衡会削弱协同效应。酶活性直接决定营养物质降解效能，优质复合酶制剂总酶活力需达到15 000 U·g⁻¹以上^[34]。饲料加工过程中，制粒温度>85℃的高温高湿调质环境会显著引起酶蛋白变性。杨海锋等实测表明，85℃调质后耐高温型 β -葡聚糖酶活保存率仅36.70%、纤维素酶活保存率58.20%。采用包被(微囊化)技术或制粒后液体酶后喷涂系统可避开调质高温段，显著降低酶活损失、保障酶制剂应用效果^[35]。

3.2 品种与生理阶段

幼龄动物生长阶段内源酶分泌不足，对复合酶制剂的需求更高，仔猪日粮酶添加量通常比育肥猪高20.0%~30.0%；成年动物肠道微生物体系成熟，酶制剂作用效果相对温和^[36]。三元杂交猪对复合酶的响应优于地方品种，平均日增重提升幅度更高^[37~38]。

3.3 饲料原料与配方

在高纤维原料(麸皮、玉米皮、秸秆)日粮中，复合酶应用效果更突出，粗纤维消化率可提升15.0%~30.0%^[17]；高蛋白质日粮宜强化蛋白酶以靶向降解大分子蛋白及抗营养因子，高淀粉日粮应侧重淀粉酶以提升淀粉糊化后消化率，高纤维日粮则以木聚糖酶、 β -葡聚糖酶、纤维素酶等非淀粉多糖酶为主，实现外源酶与日粮理化特性的协同平衡^[39]。低营养密度日粮中，复合酶的营养补偿效应更明显，平均日增重可提高10.0%~15.0%；高营养日粮中，酶制剂主要用于优化消化效率、降低配方成本^[40]。

3.4 加工工艺与饲养环境

饲料加工工艺对酶制剂活性影响显著，制粒高温高湿环境会导致酶蛋白变性及活性大幅流失；为保障酶活，生产上建议采用低温制粒($\leq 80^\circ\text{C}$)或制粒冷却后的液体酶后喷涂技术^[41]；饲料储存时间过长会导致酶活衰减，需添加稳定剂延长保质期^[42]。高温高湿、集约化养殖等应激条件下，畜禽消化酶

活性降低, 应适当提高复合酶添加量。

4 研究现状与存在问题

4.1 研究热点

目前研究重点聚焦于作用机制解析与复配应用技术。借助 16S rRNA 测序、转录组学、代谢组学等技术, 揭示复合酶对肠道微生物-宿主代谢轴的调控机制, 证实其可上调仔猪肠道营养转运蛋白基因(*GLUT2*、*SGLT1*)表达^[43]。复合酶与益生菌、植物提取物、有机酸等联用效果显著, 复合酶+芽孢杆菌联用可使断奶仔猪腹泻率降低 42.0%, 平均日增重提高 21.0%^[44]。葡萄糖氧化酶与复合酶复配可改善母猪繁殖性能^[45]。

4.2 存在的主要问题

一是饲料高温制粒、酸碱环境及储存过程易造成酶活损失, 限制应用范围^[46]; 二是优质复合酶制剂的生产工艺成本较高, 规模化推广受限^[47]; 三是现有酶制剂多为通用型产品, 针对特定畜禽品种、特定生长阶段、特定饲料配方的专用型产品较少, 精准适配性不足; 四是复合酶制剂的评价体系单一, 多以生长性能为指标, 对肉品质、机体免疫、环境排放等综合评价不足^[11]。

5 结 语

复合酶制剂作为核心绿色饲料添加剂, 可降低抗营养因子、补充内源酶、调节肠道微生态、提高营养利用率, 显著改善畜禽生长性能, 降低养殖成本与环境污染, 应用前景十分广阔。其应用效果受酶制剂特性、动物生理、饲料配方、加工环境等多因素影响, 精准匹配、科学添加是实现效能最大化的关键。随着酶工程、分子生物学与产业化技术不断进步, 定制化、高稳定、低成本的复合酶制剂将成为主流, 为饲料工业升级与畜牧业绿色高效发展提供重要技术支撑。

[参 考 文 献]

- [1] 冯定远, 汪傲. 抗营养因子及其处理研究进展[C]//中国畜牧兽医学. 2000 动物营养研究进展: 全国畜禽饲养标准学术讨论会暨营养研究会成立大会论文集. 北京: 中国畜牧兽医学, 2000: 105-122.
- [2] 余建, 范志勇, 王丽, 等. 小麦中抗营养因子及其猪饲用价值改善方法研究进展[J]. 动物营养学报, 2023, 35(8): 4777-4794.
- [3] 洪丽平, 王翔, 梁志军, 等. 关于兽用抗菌药使用减量化行动的思考[J]. 广东畜牧兽医科技, 2024, 49(5): 87-89.
- [4] 刘闯, 马建爽, 柏映国, 等. 豆粕酶解工艺中常用酶制剂的酶学性质研究进展[J]. 生物技术进展, 2025, 15(4): 573-586.
- [5] ATOO A F, BOLIVAR-SIERRA A F, PEREZ-PALENCIA J Y, et al. Supplementation of multienzyme with acidifier alleviates the antinutritional effects of a high soybean meal diet for nursery pigs[J]. Frontiers in Veterinary Science, 2025, 12. DOI: 10.3389/fvets.2025.1589827.
- [6] 张启月, 韩杰, 古铃灵, 等. 复合酶制剂和枯草芽孢杆菌制剂对蛋鸡产蛋性能、养分表现代谢率及肠道相关指标的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2025, 61(9): 376-382.
- [7] 常丹萍, 刘观忠, 杨博文, 等. 玉米-杂粕型饲料中添加复合纤维素酶对蛋鸡生产性能、肝脏糖代谢、内源消化酶活性和肠道中葡萄糖转运载体基因表达的影响[J]. 动物营养学报, 2024, 36(2): 935-945.
- [8] 刘慧龙. 复合酶对几种饲料原料养分消化率的影响及其在猪饲料中的应用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [9] 徐海铭. 新型复合酶制剂对育肥猪生产性能、免疫功能、肠道微生物及代谢产物的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2025.
- [10] 陈丹蝶, 彭翔, 张广民, 等. 酶菌复合制剂对肉鸡生长性能、免疫功能和抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(10): 5557-5568.
- [11] 岳稳, 李忠荣, 靳伟刚, 等. 低蛋白饲料添加复合酶对白羽肉鸡生长性能和氮代谢的影响[J]. 饲料研究, 2024, 47(20): 40-45.
- [12] 腾敏, 王玉, 孟勇, 等. 不同类型畜禽饲料复合酶研究进展[J]. 中国饲料, 2023(22): 363-370.
- [13] 周宇朦, 孙洪浩, 吕福军. 不同蛋白酶对豆粕中抗原蛋白的降解效果[J]. 养猪, 2022(5): 7-10.
- [14] SURESHKUMAR S, SONG J, SAMPATH V, KIM I. Exogenous enzymes as zootechnical additives in monogastric animal feed: A review[J]. Agriculture, 2023, 13(12). DOI: 10.3390/agriculture13122195.
- [15] 张永成, 李德发. 减少养猪业对环境污染的营养措施[J]. 饲料工业, 1999(12): 1-4.
- [16] 马天一, 王祚, 肖定福. 瘤胃微生物内源酶种类及调控方法研究进展[J]. 饲料工业, 2023, 44(24): 55-59.
- [17] 王恬, 蒋正宇, 周岩民, 等. 饲料外源酶与动物内源消化酶的互作效应及机制研究[J]. 饲料与畜牧, 2006(12): 5-8.
- [18] YIN D F, YIN X N, WANG X Y, et al. Supplementation of amylase combined with glucoamylase or protease changes intestinal microbiota diversity and benefits for broilers fed a diet of newly harvested corn[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology,

- 2018, 9(1): 24.
- [19] ZHANG L Y, LIU Y, XIE C Y, et al. Effects of enzymes originating from *Trichoderma reesei* on the performance, organ index, serum biochemical indices, and intestinal health homeostasis of broiler chicken[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2025, 12. DOI: 10.3389/fvets.2025.1550463.
- [20] JAICHAKAN P, KAEWSALUD T, NAKPHAICHIT M, et al. Enzymatic xylanolysis and assessment on prebiotic arabino- and xylooligosaccharides from defatted rice bran[J]. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2025, 15(5). DOI: 10.1007/s13399-025-06729-9.
- [21] 赵国先, 冯志华. 植酸酶在猪、鸡日粮中的应用效果[J]. *农村养殖技术*, 2001(11): 29.
- [22] 段晨磊, 李文立, 孙静静. 降低畜禽排泄物污染的技术措施[J]. *中国饲料*, 2014(8): 38-41.
- [23] 林谦, 宾石玉, 戴求仲, 等. 几种常用饲料添加剂联用研究[J]. *饲料博览*, 2011(5): 29-32.
- [24] 赵睿, 张凯, 谭权, 等. 复合酶制剂对断奶仔猪生长性能、养分消化率和肠道微生物群落的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2023, 59(7): 195-201.
- [25] 刘昀. 复合酶制剂对仔猪生长性能及养分消化率的影响[J]. *现代畜牧兽医*, 2022(12): 32-35.
- [26] 吕东海, 林海燕, 刘亚力, 等. 微丸型饲用复合酶在生长育肥猪饲料中的应用研究[J]. *饲料研究*, 2005(11): 7-10+17.
- [27] 刘胜军, 王帅杰, 张成杰, 等. 复合酶制剂在肉鸡低蛋白日粮中的应用研究[J]. *饲料研究*, 2023, 46(11): 40-46.
- [28] 杜红方, 郭玉光, 王敏, 等. 日粮中添加复合酶对肉鸡生长性能、血液生化指标、肠道形态和屠宰性能的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(11): 96-100.
- [29] 隋毅. 不同复合酶制剂对肉仔鸡生长性能、粪便相对黏度和菌群数量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [30] 李红玉, 曹振卿. 复合酶青贮玉米秸秆日粮对肉牛生长性能、养分表观消化率和血清生化指标的影响[J]. *中国饲料*, 2025(22): 133-136.
- [31] 庞小童, 匡宇, 耿明阳, 等. 复合酶制剂对围产期奶牛养分消化率、乳成分、瘤胃发酵参数及菌群的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2025, 52(8): 3607-3619.
- [32] 杨航, 张国奇, 周陆, 等. 复合酶制剂对草鱼生长性能、营养物质利用及肠道组织形态的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(11): 5262-5273.
- [33] 熊莹槐, 罗晓春, 钱雪桥, 等. 添加复合酶制剂和复合菌制剂对凡纳滨对虾免疫指标、抗病力以及肠道和肝胰腺健康的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 2022, 44(5): 33-39.
- [34] 匡宇, 马小雪, 薛玉洋, 等. 外源复合酶配比优化及其对犍牛饲料体外发酵特性的影响[J]. *饲料研究*, 2024, 47(11): 7-12.
- [35] 杨海锋, 刘泽辉, 宋卫国, 等. 制粒工艺对饲料中 β -葡聚糖酶及纤维素酶活性影响的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2014(3): 35-37+47.
- [36] 司合静. 猪用复合酶制剂的研究效果[J]. *吉林畜牧兽医*, 2020, 41(1): 84-85.
- [37] 魏立民, 王峰, 郑心力, 等. 复合酶制剂对海南黑猪肥育后期生长性能和肉品质的影响[J]. *养猪*, 2016(6): 4-6.
- [38] 李长喜, 农丽容, 陆丹, 等. 复合酶制剂对育肥猪生产性能、肉品质及血液生化指标的影响[J]. *中国畜禽种业*, 2021, 17(5): 119-122.
- [39] 冯定远. 构建传统日粮配合技术体系升级版“平衡日粮”及其应用的若干思考[J]. *饲料工业*, 2021, 42(4): 1-8.
- [40] 敖翔, 周建川, 周婷, 等. 低营养水平饲料添加单一或复合非淀粉多糖酶对生长肥育猪生长性能、养分消化率和肉品质的影响[J]. *养猪*, 2019(1): 5-8.
- [41] 徐淑玲. 加工工艺对饲料中热敏物质的影响及后添加工艺[J]. *广西畜牧兽医*, 2007(5): 237-239.
- [42] 徐建雄, 叶陈梁, 谢爱纯, 等. 植酸酶和酸化剂对断奶仔猪日粮消化率和生产性能的影响[J]. *饲料研究*, 2001(7): 23-25.
- [43] LONG S F, HU J X, MAHFUZ S, et al. Effects of dietary supplementation of compound enzymes on performance, nutrient digestibility, serum antioxidant status, immunoglobulins, intestinal morphology and microbiota community in weaned pigs[J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2021, 75(1): 31-47.
- [44] 王佳丽, 田斌, 陈亮. 复合酶制剂和芽孢杆菌类微生态制剂对断奶仔猪生长性能、腹泻率及经济效益的影响[J]. *现代畜牧科技*, 2024(6): 73-75.
- [45] 李宁, 马塘, 孙红梅, 等. 葡萄糖氧化酶在改善母猪二胎综合征中的作用[J]. *养猪*, 2019(5): 25-27.
- [46] 冯定远. 饲料酶制剂应用技术与产业开发现状和展望[J]. *饲料工业*, 2018, 39(17): 1-6.
- [47] 张民. 酶制剂在畜禽养殖中的应用研究进展[J]. *生物产业技术*, 2019(3): 91-98.