

醋糟在畜禽饲养中的应用研究

张子寒 陈 燚 吕 方 (通讯作者)

江苏欧尔润生物科技有限公司, 江苏 苏州 215011

【摘 要】: 醋糟是食醋固态发酵酿造流程中产生的大宗副产物, 我国年产出醋糟已超 200 万吨, 该产物富含粗纤维、粗蛋白及多种矿物质, 兼具来源广泛、成本低廉的优势, 是极具开发潜力的非常规饲料资源^[1]。但醋糟本身存在木质纤维素占比高、适口性欠佳、酸度偏高等固有缺陷, 直接用于畜禽饲喂时消化利用率较低, 这一问题限制了其规模化推广应用^[2]。本文系统综述醋糟的营养特性及关键影响因素, 全面梳理物理、化学、生物三类处理技术对提升醋糟饲用品质的作用效果, 重点分析醋糟在畜禽养殖中的应用现状与实际饲喂成效, 剖析当前应用过程中存在的瓶颈问题并展望未来研究方向, 以期醋糟资源化高效利用及畜禽养殖降本增效提供理论支撑与实践参考。

【关键词】: 醋糟; 非常规饲料; 生物发酵; 畜禽饲养; 资源化利用

Research on the Application of Vinegar Residue in Livestock and Poultry Breeding

ZHANG Zihan CHEN Yi LV Fang (Corresponding author)

Jiangsu Owin Biological Technology Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 205100, China

【Abstract】: Vinegar residue is a bulk by-product generated during the solid-state fermentation and brewing of vinegar. The annual output of vinegar residue in China has exceeded 2 million tons. This by-product is rich in crude fiber, crude protein and various minerals, and has the advantages of a wide range of sources and low cost, making it an unconventional feed resource with great development potential^[1]. However, vinegar residue has inherent defects, such as a high proportion of lignocellulose, poor palatability and relatively high acidity. When directly used for feeding livestock and poultry, its digestive utilization rate is low, which limits its large-scale popularization and application^[2]. This paper systematically reviews the nutritional characteristics of vinegar residue and its key influencing factors, comprehensively sorts out the effects of three types of treatment technologies (physical, chemical and biological) on improving the feeding quality of vinegar residue, focuses on analyzing the application status and actual feeding effects of vinegar residue in livestock and poultry breeding, dissects the bottleneck problems existing in the current application process, and prospects future research directions. It is expected to provide theoretical support and practical reference for the efficient resource utilization of vinegar residue and the cost reduction and efficiency improvement of livestock and poultry breeding.

【Keywords】: vinegar residue; unconventional feed; biological fermentation; livestock and poultry breeding; resource utilization

1 引言

我国是食醋生产与消费第一大国, 2025 年全国食醋年产量已突破 300 万吨, 按照每生产 1 kg 食醋伴随产生 0.8 kg 醋糟的比例计算, 全国醋糟年总产量可达 240 万吨以上^[1]。醋糟的主要成分包含酿醋原料残渣(高粱、玉米、糯米等)、发酵填充料(稻壳、谷糠、高粱壳等)及发酵过程中增殖的微生物菌体,

早期该副产物多被直接丢弃或焚烧处理, 既造成了大量资源浪费, 又容易引发环境污染问题^[11]。近年来, 随着饲料原料价格持续上涨及国家粮食安全战略稳步推进, 开发各类非常规饲料资源已成为推动畜牧业可持续发展的重要路径^[3]。醋糟的粗蛋白含量虽在 11%~13%, 略低于常规蛋白饲料, 但粗纤维含量可达 28%~32%, 且含有多种维生素、矿物质及有机酸, 经科学合理的加工处理后可作为畜禽饲料原料, 实现“变废为宝”的资

源化利用目标^[14]。

目前,醋糟在畜禽饲养领域的应用已取得诸多阶段性成果,但高纤维、低消化率、适口性差等先天不足仍需通过针对性加工处理予以改善^[28]。本文结合近年来国内外相关研究成果,从醋糟营养特性、加工处理技术、畜禽饲喂应用及发展展望四个核心维度展开系统综述,为醋糟的规模化饲用推广提供全面且详实的参考依据^[4]。

2 醋糟的营养特性及影响因素

醋糟的理化特性与营养成分直接决定其饲用价值高低,且这类指标受酿醋原料、生产工艺等多种因素影响显著,因此明确其营养特征是实现科学饲用的前提条件。

2.1 醋糟的基础营养成分

以风干状态为基准,醋糟的核心营养成分呈现鲜明特点:粗蛋白(CP)含量为11.45%~12.78%,处于甜菜渣(9.7%)与干啤酒糟(25.4%)之间,且显著高于玉米秸秆(5.9%)^[1,2];粗纤维(CF)含量在29.63%~31.2%,略低于玉米秸秆(34.4%),其中中性洗涤纤维(NDF)占比65%~70%,酸性洗涤纤维(ADF)占比40%~45%^[28];粗脂肪(EE)含量达12.78%,远高于甜菜渣(0.6%)和玉米秸秆(1.3%)^[14];粗灰分(Ash)含量为14.59%,钙(0.42%)、磷(0.19%)等矿物质含量能够满足畜禽基础生长需求^[4]。除此之外,醋糟还含有少量氨基酸(赖氨酸0.32%、蛋氨酸0.18%)及B族维生素,且因发酵残留有机酸呈酸性,鲜醋糟pH值维持在5.0~5.5,这一特性虽能调节畜禽肠道酸碱环境,但过量摄入会对胃肠道产生刺激^[3]。

相较于常规饲料,醋糟的优势体现在粗纤维与粗脂肪含量较高,可作为能量与纤维补充类饲料;劣势则是粗蛋白含量偏低,且木质纤维素难以被单胃动物消化吸收,直接饲喂时整体营养价值有限^[2,28]。

2.2 影响醋糟营养成分的关键因素

2.2.1 酿醋原料

酿醋主料是决定醋糟营养品质的核心因素:以高粱为原料制成的山西老陈醋糟,粗蛋白含量12.3%、粗纤维28.5%;以糯米为原料的镇江香醋糟,粗蛋白11.8%、粗纤维30.2%;以麸皮为原料的四川保宁麸醋糟,粗蛋白13.1%、粗纤维27.8%^[12]。酿醋过程中添加的辅料与填充料也会影响醋糟营养,添加麸皮、豆粕的醋糟粗蛋白含量更高,而稻壳、高粱壳占比高的醋糟,其粗纤维含量会显著上升^[1]。

2.2.2 生产工艺

食醋酿造工艺主要分为黄醅发酵与熏醅发酵,对应的醋糟

也分为黄醅糟与熏醅糟^[14]。黄醅糟发酵温度控制在43~45℃,营养成分损失较少,粗蛋白含量可达12.5%~13.2%,适口性相对较好;熏醅糟需经过70~80℃高温处理,美拉德反应会导致氨基酸与还原糖结合,使粗蛋白含量降至10.8%~11.5%,且结合产物难以被畜禽体内酶类分解,营养价值明显低于黄醅糟^[24]。此外,酿醋发酵周期越长,原料中的淀粉、蛋白质消耗就越多,醋糟中粗纤维的占比也会随之提高^[4]。

3 醋糟的加工处理技术

醋糟直接饲喂存在消化率低、适口性差、易腐败变质等问题,需通过物理、化学、生物等技术手段进行处理,以此降解抗营养因子、提升营养利用率,是实现醋糟饲用化的关键环节。

3.1 物理处理技术

物理处理以改善醋糟物理性状、降低水分含量、便于储存为核心目标,具有操作简单、成本低廉的优势,是醋糟预处理的常用方式^[12]。

3.1.1 干燥处理

鲜醋糟含水量高达60%~70%,极易腐败变质,将其干燥至水分含量15%以下可实现长期保存^[11]。常用干燥方式为自然晾晒与机械烘干:自然晾晒成本较低,但受天气条件影响大,且阳光直射易造成维生素流失;机械烘干将温度控制在60~80℃,可快速脱水,减少营养成分损失,烘干后粉碎并过40~60目筛,能提高醋糟与日粮的混合均匀度,进而改善适口性^[28]。干燥处理可使醋糟粗蛋白相对含量提升10%~15%,但无法降解粗纤维,仅适用于短期储存与初步加工^[4]。

3.1.2 青贮处理

将醋糟与干草、玉米秸秆等粗饲料按比例混合(醋糟占比40%~60%),添加青贮发酵剂后压实密封进行青贮,既能保存营养成分,又能改善适口性^[30]。青贮过程中乳酸菌发酵可将pH值降至4.0以下,抑制杂菌繁殖,同时软化粗纤维,使消化率提升12%~18%^[24,30]。相关研究表明,醋糟与玉米秸秆按1:1比例青贮后,肉牛对其干物质消化率可达58.3%,显著高于单一醋糟的42.1%^[17]。青贮处理适合规模化养殖场采用,可实现醋糟的季节性储备。

3.2 化学处理技术

化学处理通过酸碱试剂降解醋糟中的木质纤维素,提升消化率,但存在试剂残留风险,需严格控制用量^[28]。

常用处理试剂为氢氧化钠与氨水:采用1%~2%氢氧化钠溶液浸泡醋糟24h,可有效降解木质素,使粗纤维含量降低20%~25%,但会破坏部分蛋白质;氨水处理(氨浓度3%)既能

提升粗蛋白含量(增加非蛋白氮),又能软化纤维,适合用于反刍动物饲料,但需通风散氨后再饲喂,避免引发氨中毒^[28]。化学处理效果显著,但成本较高且易造成环境污染,目前应用范围较窄,多与其他处理技术结合使用^[12]。

3.3 生物处理技术

生物处理以微生物发酵或酶制剂降解为核心,能显著提升醋糟营养品质,且无残留、安全性高,是当前醋糟加工研究与应用的主流方向^[29]。

3.3.1 微生物发酵处理

通过接种酵母菌、乳酸菌、枯草芽孢杆菌、白腐真菌等有益菌群,利用微生物代谢活动降解粗纤维、合成蛋白质,从而改善醋糟适口性与营养价值^[13]。

单一菌种发酵:酵母菌发酵可使醋糟粗蛋白含量提升至15%~18%,粗纤维降解率达15%~20%;白腐真菌发酵7 d后,木质素降解率可达32%,干物质消化率提升25%^[24, 29]。

复合菌种发酵:菌酶协同发酵的效果更为理想,例如酵母菌+乳酸菌+纤维素酶复合处理后,醋糟粗蛋白含量可达18.3%,粗纤维降至22.1%,有机酸含量同步降低,适口性显著改善^[29]。赵守贤等研究发现,复合菌种发酵可使醋糟粗蛋白含量提升至35%~40%,使其成为优质蛋白饲料^[13]。

发酵处理不仅能提升醋糟营养水平,还能消除酸味,增加益生菌含量,减少畜禽肠道疾病发生,是提升醋糟饲用价值的最有效手段^[24]。

3.3.2 酶制剂处理

向醋糟中添加纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶等酶制剂,可直接降解其中的木质纤维素,提高消化利用率^[28]。单独添加0.2%纤维素酶处理醋糟,粗纤维降解率可达18%~22%^[14];采用纤维素酶+半纤维素酶+蛋白酶的复合酶制剂处理,干物质消化率可提升30%以上^[30]。酶制剂处理反应条件温和、周期短,但成本相对较高,多与发酵技术结合使用,实现“菌酶协同增效”的效果^[29]。

4 醋糟在畜禽饲养中的应用现状

经加工处理后的醋糟可应用于猪、反刍动物、家禽等多种畜禽养殖,不同畜禽的消化生理存在显著差异,因此醋糟的适宜添加比例与饲喂效果也有所不同。

4.1 在猪饲养中的应用

猪属于单胃动物,对粗纤维的消化能力较弱,醋糟需经发酵处理后适量添加,且需适配猪不同生长阶段的营养需求^[23]。

4.1.1 生长育肥猪

发酵醋糟在生长育肥猪日粮中应用效果显著,合理添加既能降低饲料成本,又能提升生长性能^[7]。邵莲花等研究表明,生长前期猪日粮添加16%发酵醋糟,生长后期添加20%,育肥阶段添加22%,猪的日增重可达750~780 g,料重比降低0.15~0.20,较对照组节约饲料成本12%~15%^[6]。陈永霞等采用20%干醋糟替代青糠饲喂40 kg以上肉猪,肉猪日增重达777.8 g,较对照组提高19.86%,且猪肉粗蛋白含量无显著差异^[5]。

需要注意的是,猪日粮中醋糟添加量不宜超过25%,过量添加会导致粗纤维摄入过多,降低能量消化率,进而影响生长速度;发酵醋糟可改善适口性,减少腹泻发生率,这与发酵过程中产生的益生菌调节肠道菌群平衡密切相关^[23]。

4.1.2 母猪与仔猪

母猪日粮中添加5%~10%发酵醋糟,可提高采食量,改善泌乳性能,且不会影响仔猪成活率^[25];仔猪消化功能尚未发育完善,醋糟添加量需控制在3%~5%,且需选择发酵充分、粗纤维含量低的醋糟,避免引发消化不良^[5, 23]。

4.2 在反刍动物饲养中的应用

反刍动物瘤胃内的微生物可降解粗纤维,与醋糟的适配性较强,醋糟可作为反刍动物的优质粗饲料补充,经简单处理后即可饲喂^[7]。

4.2.1 肉牛

醋糟在肉牛饲养中的应用技术较为成熟,既能降低养殖成本,又能提升育肥效果。山西省检验检测中心试验结果显示,育肥肉牛日粮中添加10%~30%处理醋糟,可替代部分玉米与豆粕,饲料成本降低10%~20%,每头肉牛可增收600~900元,养殖效益提升10%左右^[7, 20]。醋糟中的酸性物质可促进肉牛胃酸分泌,粗纤维能维持瘤胃正常蠕动与微生物平衡,提高整体饲料消化率^[27];其独特的酸味还能刺激肉牛食欲,增加采食量。

饲喂要点:①需采用过渡饲喂方式,在7~10 d内逐步提高醋糟添加比例,避免引发应激反应^[17];②日粮中添加1%~2%碳酸氢钠调节瘤胃pH值,防止酸中毒^[27];③搭配青贮玉米、苜蓿等优质粗饲料,保证粗精比控制在4:6~6:4^[7]。

4.2.2 肉羊

湖羊、绵羊等肉羊日粮中添加15%~25%醋糟,饲喂效果显著。花卫华等试验表明,4月龄湖羊羔羊日粮中添加15%和25%醋糟,平均日增重较对照组分别提高12.3%和8.7%,且羊肉中的氨基酸含量无显著差异^[8]。醋糟可替代部分秸秆类饲料,降低饲养成本,同时还能改善羊肉风味^[28]。

4.3 在家禽饲养中的应用

家禽消化道短、对粗纤维消化能力弱，醋糟需经深度发酵处理，且严格控制添加比例，主要应用于蛋鸡、肉鸡饲养^[9]。

4.3.1 蛋鸡

蛋鸡日粮中添加3%~8%发酵醋糟，可提高产蛋率与蛋品质^[22]。相关研究显示，蛋鸡日粮添加5%发酵醋糟，产蛋率提升3%~5%，蛋壳强度增加8%~10%，蛋黄颜色明显加深，这与醋糟中富含的钙、磷等矿物质及维生素密切相关^[28]；同时，醋糟中的有机酸可抑制肠道有害菌繁殖，减少蛋鸡腹泻发生率^[9]。

4.3.2 肉鸡

肉鸡生长周期短，对能量需求较高，醋糟添加量需严格控制在3%~5%。黄伊颖等在肉鸡基础日粮中添加4%干醋糟，饲料转化率较对照组提高5.2% ($P<0.01$)，日增重无显著差异；采用发酵醋糟时添加量可提升至6%，且能降低腹脂率，改善肉鸡屠宰性能^[9, 22]。

4.4 在草食畜禽饲养中的应用

兔、鹅等草食畜禽对粗纤维利用率较高，与醋糟适配性良好，醋糟是这类畜禽养殖降本增效的优质饲料^[16]。

肉兔日粮中添加10%~20%醋糟效果最佳：时钟玉等研究发现，肉兔日粮添加10%酒糟醋糟混合粉，料重比降低0.18，饲料成本降低10%^[16]；马希景等在肉兔日粮中添加20%醋糟，养殖经济效益提升12%以上，且兔肉品质未出现下降^[10]。鹅日粮中添加8%~12%发酵醋糟，可提高采食量，降低养殖成本，且不影响生长速度^[18]。

5 醋糟在畜禽饲养中应用的瓶颈

尽管醋糟饲用化已取得诸多进展，但规模化推广应用仍面临多重挑战，主要体现在以下四个方面：

5.1 品质不稳定，标准化程度低

醋糟营养成分受酿醋原料、生产工艺影响较大，不同厂家、不同批次的醋糟品质差异显著，例如粗蛋白含量波动可达10%~15%，给日粮精准配方设计带来困难^[2, 24]；目前我国尚未出台醋糟饲料行业标准，质量管控体系缺失，这一问题限制了其规模化推广^[28]。

5.2 加工处理成本偏高，性价比不足

生物发酵是提升醋糟品质的核心技术，但该技术需接种专用菌种、精准控制发酵条件，小规模处理时成本较高^[13]；干燥、青贮等预处理环节也需投入专用设备与人力，若醋糟运输半径过大，综合成本会进一步上升，部分地区醋糟的性价比低于常规饲料^[12]。

5.3 应用研究不够系统，精准配比缺失

现有研究多集中于单一畜禽品种、单一生长阶段，针对不同品种畜禽（如不同猪种、肉牛品种）的醋糟适宜添加量、最佳加工处理方式，缺乏系统的试验数据支撑^[4, 8]；醋糟与酒糟、秸秆等其他非常规饲料的搭配应用研究较少，未能实现营养互补与养殖效益最大化^[12]。

5.4 储存运输难度大，供应链不完善

鲜醋糟含水量高、易腐败变质，干燥后醋糟容重低，运输成本较高^[11]；青贮醋糟需密封储存，受场地条件限制较大^[30]；当前醋糟多由制醋企业就近处理，缺乏专业的加工、储存、运输一体化供应链，难以满足规模化养殖场的需求^[1]。

6 展望

醋糟作为大宗农业副产物，饲用化开发潜力巨大，结合当前应用瓶颈与畜牧业发展需求，未来可从以下五个方向寻求突破：

6.1 推进醋糟品质标准化，建立质量管控体系

加快制定醋糟饲料原料行业标准，明确营养指标、霉菌毒素、重金属等卫生指标；研发醋糟品质快速检测技术，实现营养成分与卫生指标的实时监测^[20]；推动制醋企业优化生产工艺，稳定醋糟营养成分，为规模化饲用奠定基础。

6.2 研发低成本高效加工技术，提升性价比

筛选高效、廉价的复合菌种与酶制剂，优化发酵工艺参数，缩短发酵周期、降低加工成本^[29]；开发醋糟与酒糟、秸秆等副产物的联合发酵技术，实现多类农业副产物协同利用^[12, 30]；研发小型化、智能化加工设备，适配中小养殖场的加工需求，降低预处理成本^[14]。

6.3 开展精准饲喂研究，实现差异化应用

针对不同畜禽品种、不同生长阶段，系统开展醋糟适宜添加量、最佳处理方式的试验研究，建立精准饲喂模型^[8]；深入探索醋糟在畜禽健康养殖中的作用，如调节肠道菌群、增强机体免疫力等，挖掘其功能性饲料价值^[22]；开展醋糟对畜禽产品品质（肉、蛋、奶）影响的长期跟踪研究，为其安全应用提供科学依据^[9]。

6.4 构建全产业链模式，完善供应链体系

推动制醋企业与畜禽养殖场建立合作机制，构建“制醋-醋糟加工-畜禽养殖”一体化产业链，实现醋糟就近处理、就近利用，降低运输成本^[11]；研发醋糟保鲜、压缩成型技术，提高运输效率^[12]；探索醋糟加工副产物（如发酵液）的再利用途径，进一步提升资源利用率^[13, 29]。

6.5 结合政策支持，推动产业化推广

依托乡村振兴与绿色养殖相关政策,加大醋糟饲用化技术推广补贴力度;建立醋糟饲用示范基地,推广成熟的加工与饲喂技术,提升养殖户认可度^[16];加强产学研深度合作,推动技术成果转化落地,实现醋糟资源化利用与畜禽养殖降本增效的双赢目标^[18]。

7 结论

醋糟作为来源广泛、成本低廉的非常规饲料资源,经物理、化学尤其是生物发酵处理后,可显著提升营养品质与适口性,

在猪、反刍动物、家禽及草食畜禽养殖中均能取得良好饲喂效果^[21],既能降低养殖成本,又能减少农业副产物环境污染,符合绿色养殖与资源循环利用的发展理念^[23]。当前醋糟饲用化仍面临品质不稳定、加工成本偏高、应用研究不系统等瓶颈问题^[25,26],未来需通过标准化建设、技术创新、精准研究与全产业链构建,突破应用障碍^[18]。随着研究的不断深入与加工技术的持续升级,醋糟有望成为畜禽养殖的重要饲料原料,为我国畜牧业可持续发展与粮食安全保障贡献重要力量^[10]。

参考文献:

- [1] 宋增廷,董晓芳,佟建明,等.醋糟的营养价值及其在饲料生产中的应用[J].中国畜牧杂志,2011,47(9):73-76.
- [2] 崔耀明,董晓芳,佟建明,等.山西老陈醋醋糟营养成分分析[J].饲料工业,2015,36(1):24-29.
- [3] 吴端钦,贺志雄.醋糟在动物营养中应用的研究进展[J].饲料博览,2011,21(5):50-51.
- [4] 周维仁,李优琴,薛飞,等.酱糟发酵饲料和醋糟发酵饲料替代肉猪日粮中豆粕的饲养试验[J].江苏农业科学,2001,29(2):61-62.
- [5] 陈永霞,单昊书,王寿宽,等.干醋糟饲喂肉猪试验[J].上海畜牧兽医通讯,2008(1):35.
- [6] 邵莲花,刘艳,王红英,等.发酵醋糟在生长育肥猪日粮中的应用效果[J].中国饲料,2019(12):45-48.
- [7] 崔保维,郑晓忠.醋糟育肥肉牛的效果[J].饲料研究,1993(5):28-29.
- [8] 花卫华,赵伟,李建,等.醋糟对育肥羊生产性能、屠宰性能及营养物质消化率的影响[J].中国草食动物科学,2018,38(3):25-28.
- [9] 黄伊颖,张艳梅,刘志云,等.干醋糟在肉鸡日粮中的应用效果研究[J].饲料工业,2020,41(8):32-35.
- [10] 马希景,李中利.醋糟饲喂肉兔的效果试验[J].中国养兔,2003(4):14-15.
- [11] 徐清萍,钟桂芳.食醋醋渣的综合利用[J].中国调味品,2009,34(7):34-37.
- [12] 杨庆文,彭晓光,杨林娥,等.醋糟的开发与利用[J].山西农业科学,2009,37(2):44-46.
- [13] 赵守贤,张俊荣.醋糟单细胞蛋白饲料的研制[J].饲料工业,1994,15(3):25-26.
- [14] 杨致玲,李建英,张拴林.微生物发酵可提高醋糟营养价值[J].中国饲料,1999(6):24.
- [15] 任克良,郑建婷,曹亮,等.醋糟对獭兔生产性能及营养物质消化率的影响[J].中国养兔杂志,2016,36(2):10-13.
- [16] 时钟玉,王艳玲,张世卿,等.酒糟醋糟混合粉在肉兔日粮中的应用研究[J].饲料研究,2017(10):1-4.
- [17] 张拴林,李建英,杨致玲,等.发酵醋糟替代部分精料对肉牛瘤胃发酵及消化率的影响[J].动物营养学报,2012,24(5):901-907.
- [18] 周瑞得,范增英,田满意.醋糟饲喂家兔试验[J].饲料研究,1989(5):20-21.
- [19] 景小兰,田洪岭.醋糟栽培双孢菇的示范与推广[J].山西农业科学,2009,37(2):29-31.
- [20] 崔保维,郑晓忠.醋糟饲养肥牛效果好[J].中国饲料,1993(5):20.
- [21] 谷子林,李江,张玉华,等.日粮粗纤维水平对断乳力克斯兔腹泻率、消化道 pH 和盲肠菌群的影响[J].中国农学通报,2008,24(2):21-25.
- [22] 张艳梅,刘志云,黄伊颖,等.发酵醋糟对蛋鸡产蛋率及蛋品质的影响[J].中国家禽,2019,41(16):45-48.
- [23] 吴瑛,恽建伟,陈永霞,等.醋糟在肉猪日粮中的应用研究[J].饲料工业,2008,29(12):18-20.
- [24] 张孟恩,王典,李颖丽,等.醋糟的生物学功能及其在畜禽生产中的应用[J].中国畜牧杂志,2025,61(09):82-88.
- [25] 樊磊,周维仁,薛飞,等.发酵醋糟在母猪日粮中的应用效果研究[J].江苏农业科学,2002,30(3):58-60.
- [26] 陶岳荣,应承业.獭兔毛皮品质研究[J].中国养兔杂志,1993(2):12-15.
- [27] 孙维斌,王加启,毛玉胜.不同饲养水平下西门塔尔杂交阉牛瘤胃氮代谢特征研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(7):21-24.

- [28] 吴端钦, 贺志雄. 醋糟在动物营养中应用的研究进展[J]. 饲料博览, 2011, 21(5):50-51.
- [29] Gu Y, Lin Y, Sun L, et al. Optimising substrate conditions for microbial fermentation of vinegar residue[J]. Journal of Animal and Feed Sciences, 2024, 33(1):355-362.
- [30] Du Z, Lin Y, Sun L, et al. Microbial community structure, co-occurrence network and fermentation characteristics of woody plant silage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(3):1193-1204.

作者简介: 张子寒 (1997—), 男, 汉族, 山东泰安人, 硕士研究生, 任职于江苏欧尔润生物科技有限公司, 助理实验师职称, 研究方向为生物大分子。