



简述基于技术优化的酒糟水产饲料化研究进展

王佳乐 王子真 赵书彤*

宿迁学院 宿迁 223800

摘 要:随着水产养殖业的快速发展,对优质饲料的需求日益增长。酒糟是酿酒工业的主要副产物,富含有机物、蛋白质、氨基酸和矿物质等营养成分,将其资源化利用于水产饲料具有重要的经济和生态效益。本文简要阐述了酒糟的营养价值与特征,重点探讨了其核心加工工艺(如发酵、酶解、制粒及膨化处理等现代生物技术)的技术参数与应用效果,结合水产养殖实践案例评估了酒糟制作水产饲料的应用价值,并针对现存技术瓶颈提出解决方案与未来发展方向,为推动酒糟在水产饲料领域的高效利用提供参考依据。

关键词:酒糟;水产饲料;营养价值;加工工艺;应用进展

中图分类号:S816.9 **文章编号:**1671-9212(2025)04-0091-05

文献标识码:A **DOI:**10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.04.013

近年来,全球水产养殖业呈现出蓬勃发展的态势,已成为保障人类蛋白质供应的重要产业之一。随着水产养殖规模的持续扩大,饲料成本在水产养殖总成本中的占比居高不下,通常达到 50% ~ 70%^[1]。因此,开发来源广泛、成本低廉且营养丰富的饲料原料,成为水产养殖产业可持续发展的关键突破口。

酒糟作为酿酒工业的主要副产物,全球年产量超 5 亿吨。我国作为全球白酒生产和消费量最大的国家,全国每年产生酒糟约 4000 万吨^[2]。这类废弃物中含有蛋白质、脂类、维生素、氨基酸和矿物质等多种营养成分,具有转化为饲料原料的潜力。然而,目前酒糟的资源化利用方式仍较为有限,大部分中小型酿酒企业的酒糟尚未实现集约化综合利用,不仅造成资源浪费,其随意堆放还易引发土壤和水体污染,发酵异味更会影响空气质量。因此,通过技术创新推动酒糟的高效饲料化利用,既可以解决酒糟的处置难题,又能为水产养殖业提供新的饲料来源,以降低饲料成本,兼具经济价值和生态效益。

1 酒糟的营养价值与特性

1.1 营养成分构成

酒糟富含蛋白质、碳水化合物、脂类、维生素和矿物质等多种营养成分,其中蛋白质、脂类和维生素等含量均相对较高^[3],其特征因酿酒原料与工艺差异呈现显著多样性:未发酵白酒糟粗蛋白含量 16.82% ~ 32.20%,粗脂肪含量 1.70% ~ 10.11%;发酵白酒糟粗蛋白含量 21.10% ~ 30.90%,粗脂肪含量 6.51% ~ 10.18%^[4]。未发酵啤酒糟粗蛋白含量 16.73% ~ 26.95%,粗脂肪含量 4.32% ~ 7.69%,发酵啤酒糟粗蛋白含量 18.30% ~ 29.31%,粗脂肪含量 3.20% ~ 10.20%^[5]。未发酵黄酒糟粗蛋白含量 36.1%,肽含量 3.9%;发酵黄酒糟粗蛋白含量 48.0%^[6]。干酒糟及其可溶物粗蛋白含量高达 26% ~ 32%,有效磷含量 0.58% ~ 0.73%^[7]。多粮型白酒酒糟粗蛋白含量 14.35%,粗淀粉含量 16.46%^[8]。此外,酒糟中含有丰富的功能性分子:氨基酸类包括赖氨酸、谷氨酸等,维生素类包括维生素 B 族;矿物质涵盖铁、锌、磷等关键元素;

[收稿日期] 2025-06-05

[作者简介] 王佳乐,女,2005 年生,本科在读,专业方向为生物工程,E-mail: 2129689774@qq.com。*通讯作者:赵书彤,女,讲师/博士,E-mail: 21120@squ.edu.cn。

同时含有未知促生长因子以及腐植酸^[9]。其中,腐植酸的钠盐(腐植酸钠)于2013年被纳入《饲料原料目录》,在水产养殖中可通过调节肠道微环境、增强免疫力等作用,提升饲料的营养价值与饲喂效果。这些营养成分及特性,使酒糟成为替代水产饲料主要蛋白质来源鱼粉^[10]成为可能。

1.2 应用限制因素

酒糟的饲料化应用受多重因素制约,其中植酸、单宁、纤维素和木质素等抗营养因子的存在是核心瓶颈。其中,植酸可以与钙、镁、铁、锌等矿物质元素结合,形成难以被吸收的复合物,降低矿物质的利用率;单宁不仅有苦涩味,影响饲料的适口性,还能与蛋白质结合,形成不溶性复合物,降低蛋白质的消化率;纤维素和木质素等物质结构复杂,难以被水产动物消化酶分解,会阻碍营养物质的吸收,降低饲料的营养价值。这些抗营养因子的协同作用,导致未经处理的酒糟在水产饲料中的添加比例很低,且极易引发养殖对象消化不良,产生病毒害等不良后果。因此,必须通过适当的处理方法对酒糟中的抗营养因子加以去除或降低其含量,以提升其在水产饲料中的应用。

2 酒糟预处理技术

2.1 物理处理

酒糟的物理处理过程主要包括粉碎、脱水、干燥等关键操作。原始酒糟需先过筛去除杂质(如稻壳等);再通过机械力(如锤式破碎机、球磨机、振动筛等)将酒糟中的大块物料破碎,并粉碎到一定粒度,此过程不仅可增加后续发酵过程中的物质接触面积,同时确保饲料颗粒的均匀性。由于原始酒糟含水量通常较高,为了满足长期储存、远距离运输或作为稳定商品销售的要求,必须将含水率控制在10%~14%的安全水平。为此,需要先进行机械脱水,将含水量降至60%~70%,以降低后续干燥能耗,再进行深度干燥处理。

2.2 化学处理

酒糟的化学处理主要包括酸处理或碱处理工艺,以实现木质素、纤维素结构的破坏。酸处

理工艺通常采用一定浓度的硫酸或盐酸,通过控制酸浓度与处理时间,实现木质素、纤维素的可控降解。研究表明,混合酸浓度为1.5%,处理时间为145 min,单糖收率可达61.24%^[11]。碱处理工艺则主要用氢氧化钙、氢氧化钠等碱性试剂对木质素、纤维素进行降解。研究表明,高温碱处理用15%氢氧化钠在120℃下预处理6 h,可有效去除木质素并提高葡萄糖产量^[12]。

3 酒糟饲料化的加工工艺

3.1 直接干燥与发酵技术

目前,直接干燥技术主要有传统高温干燥、低温烘干或真空冻干技术,以降低酒糟水分,延长酒糟饲料的保存期,但该过程可能会导致部分营养成分损失。传统高温干燥是利用300~600℃高温热风快速脱水,是酒糟饲料化的常用技术;低温烘干是利用≤65℃的低温热风缓慢去除水分,最大限度保留热敏性营养物质的干燥技术。真空冻干是在低温冷冻后,在真空环境下使冰直接升华为水蒸气排出,是营养几乎无损失的干燥技术。

发酵技术是改善酒糟品质、提高其营养价值和适口性的重要手段之一。发酵的基本原理是利用微生物在适宜条件下对酒糟中的有机质进行分解和转化,产生有益的代谢产物,同时降低抗营养因子的含量。在酒糟发酵中,常用的微生物菌种包括乳酸菌、酵母菌、芽孢杆菌和霉菌等。乳酸菌(如干酪乳杆菌^[13])可以产生乳酸等有机酸,降低发酵体系的pH,抑制有害微生物的生长,同时提高饲料的适口性;酵母菌(如酿酒酵母^[14])能够利用酒糟中的糖类进行发酵,产生酒精、二氧化碳和多种维生素、氨基酸等,增加饲料的营养价值;芽孢杆菌(如短小芽孢杆菌^[15])具有较强的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性,可以分解酒糟中的大分子营养物质,提高其消化率;霉菌(如白地霉^[15])能够产生丰富的酶类,对酒糟中的纤维素、木质素等抗营养因子具有一定的降解作用。实践中,多采用复合菌种协同发酵,优化氨基酸组成,降低纤维素含量。张帆等^[16]采用产朊假丝酵母-乳酸菌-芽孢



杆菌复合菌固态发酵体系处理高粱酒糟,显著降低了酒糟中粗纤维含量,同时提高了粗蛋白和粗脂肪含量,从而提升了酒糟的营养价值。姚晓红等^[14]将菌剂组合短小芽孢杆菌+酿酒酵母+屎肠球菌应用于黄酒糟发酵中,酸溶蛋白和粗蛋白含量分别达到 164.23 mg/g 和 31.55%。

3.2 酶解与化学、物理预处理

酶解技术是利用酶的催化作用,将酒糟中的大分子物质分解为小分子物质,以提高酒糟的营养价值和消化率。而酶解与化学或物理预处理结合,可以显著提高酶解效率,实现营养成分的提升和纤维素、木质素的高效降解。

3.2.1 酶解

酒糟酶解依赖多酶系协同作用,常用酶包括蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶、木质素酶和植酸酶等。蛋白酶可以将酒糟中的蛋白质分解为多肽和氨基酸,提高蛋白质的消化率和利用率;淀粉酶能够将淀粉分解为葡萄糖、麦芽糖等小分子糖类,增加饲料的能量价值;纤维素酶和木质素酶可以破坏纤维素和木质素的结构,将其分解为可被利用的糖类和小分子物质,降低抗营养因子的含量,同时提高饲料的适口性;植酸酶可以分解植酸,释放出被植酸螯合的矿物质元素,提高矿物质的利用率。实践中多采用多种酶复合酶解以提升综合效益。林晓婕等^[17]研究表明,以红曲黄酒糟和水固液比 1 : 10,中性蛋白酶和风味蛋白酶以 2 : 1 复合酶解,蛋白提取率达 63.62%。

3.2.2 酶解-化学预处理

化学预处理通过破坏木质纤维素网络为酶解创造条件。例如,芬顿试剂法结合纤维素酶酶解,与未进行芬顿试剂预处理相比,酒糟还原糖得率提升 148.37%,但需控制添加量(4 mL)以避免 Fe 离子氧化纤维素酶活性中心^[18]。

3.2.3 酶解-物理预处理

物理预处理通过机械作用改善物料微观结构,提高酶与底物的接触效率。例如,超声波辅助酶解(300 W 超声处理)可显著降低木质素含量,使纤维素酶解率提高 20.3%^[19]。该技术因无化学残留,更适合绿色饲料生产。

3.3 制粒

制粒是酒糟饲料商品化的核心环节,其本质是通过机械挤压实现物料致密化与稳定性提升。常用设备包括环模制粒机和平模制粒机。其中,环模制粒机凭借其生产的颗粒表面光滑、密度高的优势,在水产饲料生产中应用更广、质量更优;制粒参数需根据饲料原料特性和水产动物摄食特点等进行针对性调整;环模制粒机的模孔直径通常为 2 ~ 6 mm^[20],适用于不同规格的水产动物;制粒温度宜控制在 70 ~ 90 °C,此温度范围既能使淀粉糊化,提高饲料的适口性和消化率,又能杀灭大肠杆菌等致病菌,从而延长产品保质期^[21]。

3.4 膨化处理

膨化处理是一种物理加工技术,在酒糟制作水产饲料中具有独特的优势。膨化过程是将酒糟与适量的水分混合后,在高温、高压作用下,使物料瞬间膨胀、熟化,然后通过模孔挤出,形成特定形状的膨化饲料^[22]。膨化处理一方面可以使酒糟中的淀粉糊化度提升,蛋白质变性为易消化形式,从而提高饲料的消化率和适口性;另一方面可以通过破坏酒糟中的抗营养因子,降低纤维素含量,提高饲料的营养价值^[23]。此外,膨化饲料具备两大突出优势:一是具有良好的漂浮性,适合于一些上层鱼类的养殖,减少饲料浪费;二是水中稳定性时间长,降低水质污染风险。膨化处理需要专门的膨化设备(如螺杆式膨化机等),在操作过程中需要严格控制原料水分、温度、压力和螺杆转速等参数,以保证膨化效果和营养保留率^[24]。

4 酒糟饲料在水产养殖中的应用

4.1 鱼类养殖

酒糟具有特殊香味,对鱼类具有诱食效果,在多种鱼类养殖中应用效果显著。在草鱼养殖中,用干酒糟及其可溶物替代 20% ~ 30% 的菜粕或鱼粉,能够显著提高草鱼的生长性能,增强草鱼肌肉纹理和抗氧化能力,且不会对骨骼肌相关基因表达产生不良影响^[25]。在罗非鱼养殖中,发酵啤酒糟替代 54.1% ~ 55.4% 的豆粕,可优化鱼体成分,



降低脂肪含量,提高水分和灰分含量,同时改善血清生化指标^[26]。在郴州高山禾花鱼养殖中,以3:4.5:2.5比例组合的桑葚酒糟、玉米、豆粕基础日粮,可以提高禾花鱼肌肉的不饱和脂肪酸含量,改善鱼肉品质^[27]。在虹鳟鱼养殖中,用含有高蛋白的干酒糟及其可溶物替代15%的鱼粉,饲料成本可以降低10%,且虹鳟鱼肌肉颜色未被染成黄色^[28]。

4.2 其他水产动物

酒糟饲料在非鱼类水产养殖中同样表现出良好适配性。在虾类养殖中,含酒糟的饵料可替代50%以上人工饲料,且能提升虾生长性能,降低养殖成本^[29]。在田螺养殖中,干酒糟及其可溶物替代豆粕比例不超过13.63%,可促进幼螺的生长^[30]。在刺参养殖中,喂养海带渣与啤酒糟混合发酵产物时,刺参日增重0.57 g左右,日采食量3.93 g左右;以啤酒糟的发酵产物为饲料时,刺参肠道微生物数量达最大值,能明显改善水体环境^[31]。

5 技术挑战与解决方案

5.1 现存问题

酒糟的规模化饲料化应用面临多重技术瓶颈,其核心问题可归纳为以下3个方面。

(1) 高水分与易腐性。酒糟含水量高、粗纤维含量高及抗营养因子(如麦壳、谷壳、稻壳)含量高,直接饲喂易导致动物消化不良和霉变。例如,鲜酒糟因水分和酒精残留易变质,极易发生霉变。

(2) 高能耗与低效率。传统干燥工艺能耗高,且分离率低(如稻壳分离效率不足),是制约成本的关键;发酵工艺需优化温度(30~35℃)、pH(4.8~5.0)及接种量(13%)以降低生产成本,但酒糟中淀粉酶和纤维素酶活性低,且菌种单一性导致发酵效率不足,发酵后蛋白质含量提升有限。

(3) 低经济性。酒糟体积大、重量轻,运输成本较高,限制了其广泛应用,需探索本地化处理模式。

5.2 解决方法

(1) 水分与腐变控制。通过机械脱壳+干燥

技术,降低水分;或将鲜酒糟含水量控制在适宜的范围内,通常为60%~70%,添加适宜菌种密封发酵,抑制酒糟霉菌生长,延长保存期。

(2) 抗营养因子降解。采用酶解技术,如利用纤维素酶和淀粉酶分解纤维素,可提高酒糟发酵效率。采用复合菌种协同发酵技术,如产朊假丝酵母、乳酸菌、芽孢杆菌复合菌固态发酵体系处理高粱酒糟,可使粗纤维素含量显著降低49.3%^[16]。在酶解预处理的基础上,利用白地霉、假丝酵母混菌固态发酵,白酒糟粗蛋白增幅87.5%,粗纤维和粗脂肪降解率分别达20.1%和61.81%^[15]。

(3) 工艺优化。优化工艺参数,通过控制发酵温度以平衡酶活性与菌群代谢。如王炫等^[15]通过优化酒糟和麸皮比(9:1)、初始含水量(70%)、料层厚度(5 cm)、初始pH(5.0)以及纤维素酶预处理条件、发酵条件等,最终获得产物蛋白含量达到30.1%。

(4) 本地化处理。依托酿酒厂周边建设分布式加工站,采用“鲜酒糟—即时发酵—就近配送”模式,运输半径控制在50 km内,物流成本降低60%~70%。

6 未来展望

6.1 政策与产业链整合

积极推动“酒糟—饲料—养殖”一体化模式。产业政策层面,将酒糟饲料纳入农业绿色发展补贴范围,对年处理量达到一定规模的项目给予设备投资补贴。环保政策层面,通过碳减排核算机制,将酒糟资源化纳入企业环保信用评价,激励全产业链参与。产业化层面,强化龙头企业引领作用,如五粮液集团与新希望集团合作建设的年产能达50万吨的酒糟饲料项目^[32],通过“就近转化+定向供应”模式降低运输成本,提升产品附加值,可作为行业发展示范项目。标准化层面,制定《酒糟饲料原料分级标准》与《养殖应用技术规范》,统一产品质量指标与安全阈值。

6.2 技术优化

技术突破需聚焦3个核心:一是研发耐高温、



高纤维分解能力的菌种,进一步提升发酵效率。二是结合物联网技术,实时监控发酵过程中的温度、pH 等参数,实现工艺自动化控制,提高生产稳定性和产品质量。三是功能化产品开发,定向提取酒糟中的腐植酸、功能性肽等活性成分,制备兼具营养供给与水质调控功能的复合型饲料,拓展在高密度养殖场景中的应用。

参考文献

- [1] 谢甜. 水产饲料价格波动对养殖成本的影响研究[J]. 饲料研究, 2025, 48(2): 232 ~ 235.
- [2] 胡京钰. 酒糟生物炭和有机肥施用的土壤及作物效应研究[D]. 西南大学硕士学位论文, 2023.
- [3] 王晓力, 孙尚琛, 王永刚, 等. 饲料原料白酒糟基本成分测定及评价[J]. 粮油加工(电子版), 2015(5): 62 ~ 65.
- [4] 陈宝, 范志勇, 王丽, 等. 白酒糟和发酵酒糟的营养价值及其在猪生产中的应用研究进展[J]. 动物营养学报, 2025, 37(5): 2822 ~ 2836.
- [5] 崔艺燕, 何荣, 潘浩华, 等. 发酵啤酒糟营养价值、生产工艺及其在畜禽生产中的应用[J]. 广东畜牧兽医科技, 2024, 49(4): 68 ~ 72.
- [6] Hu Y L, Pan L N, Dun Y H, et al. Conversion of yellow wine lees into high-protein yeast culture by solid-state fermentation[J]. Biotechnology, Biotechnological Equipment, 2014, 28(5): 843 ~ 849.
- [7] 扣泽华, 宋志峰, 范越鑫, 等. 玉米 DDGS 营养特征及其在猪生产中高效利用的改善措施[J]. 中国饲料, 2023(19): 163 ~ 170.
- [8] 胡伟, 陈豫. 多粮型白酒糟成分分析研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 118 ~ 120, 125.
- [9] 李美清, 刘春生, 付伟国. 添加微晶化磷矿粉对白酒糟、糠醛渣发酵过程中养分动态变化的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(9): 310 ~ 312.
- [10] 路典敬. 鱼粉在水产饲料中的作用与评价[J]. 畜牧兽医科技信息, 2019(8): 161.
- [11] 刘高梅, 任海伟. 白酒糟酸水解制备木糖及其结构变化[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(3): 106 ~ 110.
- [12] 张天放, 何露茜, 高晶晶, 等. 氯化锌-超声波联合预处理对高温热处理毛竹颜色和稳定性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(3): 99 ~ 102.
- [13] 王万清, 王锴涵, 郑瑾, 等. 利用干酪乳杆菌同步糖化发酵酒糟产乳酸的研究[J/OL]. 环境工程, 2025: 1 ~ 10. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2097.X.20250710.1112.002.html>.
- [14] 姚晓红, 胡家壁, 游菲, 等. 黄酒糟发酵菌株筛选及效果评价[J/OL]. 浙江农业科学, 2025: 1 ~ 11. <https://doi.org/10.16178/j.issn.0528-9017.20250250>.
- [15] 王炫, 汪江波, 薛栋升. 混菌固态发酵小曲白酒糟生产蛋白饲料的研究[J]. 湖北工业大学学报, 2014, 29(1): 111 ~ 115.
- [16] 张帆, 刘君楠, 阮记明. 混合微生物发酵对高粱酒糟营养成分的影响[J]. 养殖与饲料, 2019, 18(1): 69 ~ 71.
- [17] 林晓婕, 何志刚, 梁璋成, 等. 红曲黄酒糟蛋白酶解物制备工艺优化及营养评价[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(1): 43 ~ 49.
- [18] 庞琼, 薛莎莎, 李卓渊, 等. 基于响应面法优化酒糟酶解工艺[J]. 中国酿造, 2024, 43(5): 135 ~ 143.
- [19] 刘媛媛. 木质纤维素预处理及提高纤维素酶水解效率的研究[D]. 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2011.
- [20] 谭智, 陆静. 饲料环模制粒机主体结构及工艺参数优化研究进展[J]. 饲料研究, 2020, 43(9): 118 ~ 120.
- [21] 程译锋. 加工工艺对鲤鱼饲料营养和卫生的影响[D]. 江南大学硕士学位论文, 2008.
- [22] 甘振威, 张大维, 张娅婕, 等. 饲料膨化加工方法对其营养成分的影响[J]. 中国比较医学杂志, 2009, 19(5): 72 ~ 75.
- [23] 周佳萍, 杨在宾, 王景成, 等. 饲料加工处理与营养物质利用率关系的研究和应用技术[J]. 饲料工艺, 2007(21): 8 ~ 10.
- [24] 张祖立, 朱永文, 刘晓峰, 等. 螺杆挤压膨化机加工农作物秸秆的试验研究[J]. 农业工程学报, 2001(6): 97 ~ 101.
- [25] Fatma R M Y A. 玉米干酒糟及其可溶物(DDGS)作为草鱼饲料中替代蛋白质源的营养价值评估[D]. 华中农业大学博士学位论文, 2024. (下转第 103 页)