

# 柑橘渣饲料化利用的研究进展

刘敏<sup>1,2</sup>, 方妍<sup>3</sup>, 武孟婷<sup>3</sup>, 龚世霖<sup>3</sup>, 罗锐<sup>3</sup>, 李昌武<sup>3\*</sup>

1. 四川新希望动物营养科技有限公司, 成都 610000;

2. 新希望六和股份有限公司, 成都 610000;

3. 武汉轻工大学动物科学与营养工程学院, 武汉 430023

**摘要** 我国柑橘加工产业产生的柑橘渣资源量大、营养成分丰富,但其资源化利用率偏低。若开发为畜禽替代饲料,不仅可以降低饲料成本,还可以减少固废污染,应用潜力显著。为挖掘柑橘渣作为畜禽替代饲料资源的应用价值,本文综述了柑橘渣的营养特性、生物活性,梳理了柑橘渣在生猪、家禽、反刍动物饲料中的应用效果,明确了不同畜禽品种下的适宜添加比例及其对畜禽肠道微生态平衡、生产性能与产品品质的调控作用,同时剖析了柑橘渣饲料化利用过程中存在的原料供应季节性波动、加工工艺复杂等关键问题,并提出未来需优化储存技术、推动标准化生产、加强高值化研究等举措,为柑橘渣饲料化的技术优化、标准化生产提供了参考依据。

**关键词** 柑橘渣; 畜禽饲料; 营养价值; 饲料粮减量替代; 生产性能; 标准化生产

## Progress on the feed utilization of citrus pomace as feed

LIU Min<sup>1,2</sup>, FANG Yan<sup>3</sup>, WU Mengting<sup>3</sup>, GONG Shilin<sup>3</sup>, LUO Rui<sup>3</sup>, LI Changwu<sup>3\*</sup>

1.Sichuan New Hope Animal Nutrition Technology Co.,Ltd.,Chengdu 610000,China;

2.New Hope Liuhe Co.,Ltd.,Chengdu 610000,China; 3.School of Animal Science and Nutritional Engineering,Wuhan Polytechnic University,Wuhan 430023,China

**Abstract** The application value of citrus pomace as an alternative resource of feed for livestock and poultry was studied to provide a theoretical reference and practical basis for its industrial application. The main nutritional components in citrus pomace including crude fiber, pectin, flavonoids and the biological activity of essential oil in citrus were reviewed. The effects of application and appropriate addition ratios of citrus pomace in the diets of pigs, poultry, and ruminants were analyzed. The reasonable addition range of citrus pomace in different diets of livestock and poultry was clarified. Problems including the seasonal fluctuations in the supply of raw material and complex techniques for utilizing citrus pomace as feed were identified. Appropriately adding citrus pomace into diets of livestock and poultry can improve the intestinal health of livestock and poultry, enhance the production performance and the quality of product, having both economic and environmental benefits. Citrus pomace has good potential of utilization as an alternative resource of feed for livestock and poultry. Measures for optimizing storage technology, promoting standardized production, and strengthening researches on high-value utilization of citrus pomace in the future were proposed. It will provide a reference basis for the technical optimization and standardized production of utilizing citrus pomace as feed.

收稿日期:2025-08-19

作者简介:刘敏,女,1985年生,硕士,助理研究员。\*通信作者:李昌武,男,1986年生,博士,讲师。

**Keywords** citrus pomace; feed for livestock and poultry; nutritional value; reduction and substitution of grains as feed; production performance; standardized production

饲料原料价格频繁波动制约畜禽养殖业可持续发展,开发经济高效的替代性饲养资源成为行业迫切需求。农业副产物(如果蔬加工废弃物等)因富含蛋白质、维生素等营养素,是极具潜力的饲料资源补充途径<sup>[1]</sup>,其资源化利用对破解常规饲料供应紧张、降低养殖成本意义重大。

柑橘为全球年产量最高的水果之一,加工环节(榨汁、罐头、果酒等)产生的柑橘渣(含果皮、果肉残渣、种子及囊衣)约占果实总质量的40%~50%<sup>[2]</sup>。但因其含水量高(约80%)、易腐烂,传统利用率极低,多被丢弃或填埋,既造成生物质资源浪费,又释放有机酸、硫化物,污染土壤与水体,加剧生态压力。现代营养学研究证实,柑橘渣富含粗纤维、维生素C、果胶及类黄酮等营养与生物活性物质,能量水平接近玉米、小麦等常规能量饲料<sup>[3]</sup>,在替代性饲料资源开发中潜力巨大。因此,系统开展柑橘渣的饲料化利用研究,对于缓解饲料原料供应压力、降低养殖成本及减轻环境负荷均具有重要的理论与实践意义。

本文综述了柑橘渣的营养成分、生物活性等,以及在猪、家禽、反刍动物三类畜禽饲料中的应用效果,评估柑橘渣替代传统饲料的经济效益与环境效益,探索产业化发展路径,结合现存问题,提出针对性解决方案,以期缓解传统饲料原料(如玉米、豆粕)供应紧张的压力,推动柑橘渣饲料化在规模养殖中的应用。

## 1 柑橘渣的营养价值

### 1.1 主要营养成分

柑橘渣,尤其是橙渣,作为一种极具潜力的饲料资源,富含多种营养物质与生物活性成分,其综合利用价值显著。橙渣中含有精油(EO)、抗坏血酸、糖类、类胡萝卜素、类黄酮、膳食纤维、多酚及微量矿物质等,能够为动物提供能量并促进其健康;以干物质为基础,柑橘果肉包含7%粗蛋白、14%粗纤维、21.6%中性洗涤纤维、2.5%脂肪、24.4%总糖<sup>[4]</sup>。研究表明,橙渣中天然抗氧化剂的含量对动物生长、微生物数量及免疫参数均具有有益影响<sup>[5]</sup>。在传统处理方式中,这类皮渣常被填埋或加工为动

物饲料<sup>[6]</sup>。

果胶作为柑橘渣中含量较高的多糖类物质,在鲜果中占比为0.48~3.45 g/100 g,其中橙类柑橘渣的果胶含量尤为突出<sup>[3]</sup>。作为可溶性膳食纤维,果胶可被畜禽肠道益生菌发酵利用,促进双歧杆菌等有益菌增殖,调节肠道菌群平衡<sup>[7]</sup>。相关研究显示,果胶能通过TLR4/MyD88/NF- $\kappa$ B信号通路抑制肠道炎症,增强肠道屏障功能,减少有害物质吸收<sup>[8]</sup>,例如在仔猪饲料中添加适量果胶,可降低肠道通透性,缓解断奶应激腹泻。值得注意的是,橙渣中的天然果胶因相对分子质量较大而难以被吸收,通过降解处理可提高其生物活性,如酶解柑橘果胶能够增加肠道短链脂肪酸浓度,促进有益菌丰度,进而增强肠道健康,有研究表明低分子质量柑橘果胶具有降低大鼠高血脂水平和改善肥胖的作用<sup>[9]</sup>。

黄酮类物质是柑橘渣主要的酚类活性成分,约占总多酚的89.34%,以黄酮(如柚皮苷、橙皮苷)为主,含量为8.80~72.32 mg/100 g<sup>[2]</sup>。这类物质具有极强的抗氧化性,能有效清除畜禽体内自由基,减少氧化应激损伤<sup>[10]</sup>。在脂代谢调节方面,黄酮类物质可抑制脂肪合成酶(如乙酰辅酶A羧化酶)活性,促进脂肪氧化,降低畜禽体内脂肪沉积<sup>[11]</sup>;同时,其能改善肠道菌群结构与氨基酸代谢,缓解奶牛甲烷排放并提高氮利用率<sup>[12]</sup>,且具有抑菌作用,可作为天然防腐剂延长饲料储存期<sup>[2]</sup>。

此外,柑橘渣还含有一定量的粗纤维(可促进肠道蠕动)、维生素C(参与氧化还原反应,增强免疫力)等营养成分。

### 1.2 柑橘精油的生物活性

柑橘精油主要存在于果皮油胞,具有独特芳香气味。其抗菌活性源于柠檬烯、橙花醇等成分,可破坏细菌细胞膜完整性,导致细胞内物质泄漏,抑制或杀灭细菌<sup>[13]</sup>。研究显示,柑橘精油对青霉菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等常见食品腐败菌和致病菌抑制效果良好<sup>[14]</sup>。

在畜禽养殖中,柑橘精油应用潜力显著。例如,在鸡养殖中,其对球虫病和白色念珠菌感染的防治效果与部分抗生素相当,为减少抗生素使用、降低药物残留和细菌耐药性提供新途径。此外,柑

橘精油的芳香气味还能改善饲料适口性,提升应用价值<sup>[2]</sup>。

## 2 柑橘渣在畜禽饲料中的应用

### 2.1 生猪饲料

在生猪养殖领域,柑橘渣及其提取物的应用效果因猪的生长阶段和添加比例的不同而呈现出差异化特征,相关研究为其科学应用提供了重要依据。

钟如意等<sup>[15]</sup>以 15 头 4 月龄土杂肉猪为研究对象,在 90 d 的饲喂试验中,分别用 10% 和 20% 的脐橙渣发酵饲料替代基础日粮。结果显示,2 组试验对肉猪的体重和日增重未产生显著影响,但 10% 替代组的料重比降低约 14.8%,20% 替代组的料重比降低约 5.5%,表明适宜比例的脐橙渣发酵饲料可改善肉猪的饲料转化效率。

针对断奶仔猪,不同研究呈现出多样化结果。Weber 等<sup>[16]</sup>的试验发现,在 24 日龄断奶仔猪的饲料中添加 7.5% 的干燥柑橘渣,经过 28 d 饲喂后,仔猪的生长性能、血清急性蛋白与 IGF-1 含量、肠道细胞因子基因表达以及肠组织总 DNA 和蛋白含量均未发生显著变化。然而,当添加比例提升至 10% 时,干燥柑橘渣能增强仔猪对慢性和急性病原应激的抵抗能力,进而促进其生长。Wang 等<sup>[7]</sup>研究揭示了氧化应激对断奶仔猪生长性能的负面影响,具体表现为平均日增重和平均日采食量的降低。与之相对,Cui 等<sup>[17]</sup>研究证实,在断奶仔猪饲料中添加柑橘提取物效果显著:在酶活性方面,十二指肠内碱性磷酸酶、脂肪酶活力增强,空肠中的碱性磷酸酶与胰蛋白酶活性被激活;在血液成分上,白蛋白含量增长 18.80%,血浆总必需氨基酸含量上升 25.23%,其中苏氨酸含量涨幅高达 89.06%;在肠道微观结构上,十二指肠、空肠、回肠的隐窝深度分别减少 12.41%、20.76%、28.64%,回肠绒毛高度与隐窝深度的比值大幅跃升 66.67%,表明柑橘提取物可通过改善肠道消化吸收功能和血液营养状况,促进断奶仔猪生长。

在育肥猪研究中,Watnabae 等<sup>[18]</sup>通过二次曲线分析指出,当添加比例约为 10.79% 时,生长肥育猪达到 130 kg 屠宰体重的生产性能最佳,试验证实干燥柑橘渣可作为玉米的替代原料用于育肥猪饲料,且适宜添加比例为 10%。这一结论与生长肥育猪

的整体研究趋势一致。钟如意等<sup>[15]</sup>的研究结果显示,10% 脐橙渣发酵饲料替代基础日粮时,料重比降低效果最显著(约 14.8%)。从营养利用效率来看,Ruiz 等<sup>[19]</sup>的消化率研究表明,即使饲料中柑橘渣添加比例达到 30%,猪回肠对总能的消化率仍可达 86.5%,全消化道对粗蛋白的消化率达 60.5%,说明其营养物质可被较好利用,且生长育肥猪对柑橘渣的耐受性整体较高,添加后虽可能因苦味物质导致采食量略有下降,但对料重比无显著负面影响<sup>[2]</sup>。但是柑橘渣中的苦味苷类物质(如柚皮苷)是一把“双刃剑”:一方面,作为活性成分,Wang 等<sup>[20]</sup>的研究显示,在育肥猪饲料中添加 0.5、1.0 或 1.5 g/kg 的柚皮苷,均可显著提高调控肌肉发育的 *myhcila* 基因的 mRNA 表达水平,其中 0.5 g/kg 添加量可使瘦肉含量提高 7.63%、眼肌面积提高 21.46%;1.0 g/kg 添加量则能显著提升肌肉 pH 和磷酸肌酐含量以改善肉品质,并增强猪肉及肝脏的抗氧化能力(如超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性),体现出其在改善产肉性能和肉品质方面的潜力。但另一方面,这类苦味物质也会影响饲料适口性,限制采食量,当添加比例超过 15% 时,可能因抗营养因子累积或适口性下降导致生产性能降低<sup>[2]</sup>,这也提示实际应用中需平衡活性成分功效与适口性的关系,避免盲目提高添加比例。

此外,Noh 等<sup>[21]</sup>研究发现,柑橘渣能够减少猪肠道内肠杆菌(*Enterobacteriaceae*)的数量,但对乳酸菌(*Lactobacillus*)、双歧杆菌(*Bifido bacterium spp.*)及梭菌(*Clostridium spp.*)的数量无显著影响,提示柑橘渣可通过调节肠道菌群结构发挥积极作用。

综合来看,柑橘渣及其提取物对猪的生长性能具有积极影响,在适宜添加比例下,可调节肠道微生态平衡、改善饲料转化效率、提升机体抗应激能力,并在一定程度上改善猪肉品质,同时有助于降低养殖成本。

### 2.2 家禽饲料

Vlaicu 等<sup>[22]</sup>的团队针对肉鸡饲料开展的 2 项研究为柑橘渣在禽类养殖中的应用提供了重要参考。其一,在肉鸡饲料中分别添加 2% 橘皮和 2% 柚皮后,不仅延缓了肉鸡体内脂肪的氧化过程,还通过调节肠道菌群平衡有效抑制了致病性大肠杆菌和葡萄球菌的增殖,同时显著促进了有益菌乳酸杆菌的生长。其二,该团队进一步探究了饲料中添加亚

麻粉(FM)、干橙皮(DOP)和干燥红葡萄柚皮(DRGP)的效果,结果显示,此类添加可改善肉鸡胸肉的色泽与组织结构,且未对肌肉的化学成分及脂肪酸组成产生干扰。Nazok等<sup>[23]</sup>的研究结果表明,当柑橘渣添加量低于12%时,对家禽生产性能及蛋品质无显著影响;该比例下不仅无负面影响,还能降低鸡蛋胆固醇含量,且因减少常规饲料用量而降低饮食成本,提升经济效益。

Mourao等<sup>[24]</sup>的研究则揭示了柑橘渣添加比例对肉鸡生长的剂量效应,当添加比例低于10%时,肉鸡平均日采食量(ADFI)增加,料重比(FCR)改善,有利于生长;但添加量过高会抑制生长,其核心原因在于柑橘渣中约占干基32.4%的非淀粉类多糖会增加食糜黏度,减缓肠道蠕动速度,进而降低生长速率。Abbasi等<sup>[25]</sup>的研究进一步细化了这一结论,在肉鸡饲料中分别添加0、0.5%、1.0%、1.5%和2.0%的柑橘干渣,发现2.0%添加量时可显著提升采食量和体重,同时降低肝脏脂肪、腹部脂肪及血清甘油三酯含量;而饲喂含橙精油的饲料还能增加肉鸡体重,并提高消化道绒毛高度。

在其他家禽品种中,杨志鹏等<sup>[26]</sup>研究发现,四川白鹅饲料中柑橘皮渣添加比例低于10%时,血清生化指标基本稳定,其中6%添加量可显著降低腹脂率(FIG),8%添加量能显著提高血清高密度脂蛋白含量,且6%添加量对生长性能的促进效果最佳。此外,蛋鸡饲料中补充橙渣与埃及苜蓿干叶可增加产蛋量、改善蛋质并提升抗病能力;Vlaicu等<sup>[22]</sup>也指出,饲料中添加橙渣可通过其含有的植物化学物质改善禽类生产性能和肉质,同时提升风味。

综合来看,柑橘渣在肉鸡饲料中的应用需关注比例控制。Agu等<sup>[3]</sup>研究认为替代玉米比例低于20%时对生产性能无负面影响,而Guzmán等<sup>[11]</sup>研究发现10%添加量可调节脂肪代谢,增加鸡肉不饱和脂肪酸(如油酸、亚油酸)含量,降低饱和脂肪酸比例,改善肉品质。其作用机制与柑橘渣中的果糖等可溶性碳水化合物密切相关,这些成分可作为肠道有益菌(如乳酸菌)的底物,促进其增殖以优化肠道微生物结构,而有益菌代谢产生的短链脂肪酸能调节肠道pH值,抑制有害菌生长,最终提升饲料利用效率。此外,柑橘渣提取物的应用效果更为突出,如曹贵彬等<sup>[27]</sup>发现200 mg/kg陈皮苷可改善肉鸡生长性能、饲料转化率及肠道屏障功能,Pourhos-

sein等<sup>[28]</sup>证实1 250 mg/kg柑橘渣提取物能增强肉鸡免疫接种后的免疫应答能力,这些结果共同凸显了柑橘渣及其活性成分在禽类养殖中的广泛应用潜力。

### 2.3 反刍动物饲料

反刍动物因瘤胃微生物的独特作用,对苦味物质的敏感性较低,而柑橘渣的独特香味反而可能提升其适口性,因此适量添加通常不会对生产性能产生不良影响<sup>[2]</sup>。具体来看,在湖羊养殖中,廖岗<sup>[29]</sup>的研究结果显示,用脐橙渣混合微贮替代75%花生秧,可增加湖羊采食量,改善中性洗涤纤维(NDF)的表观消化率,展现出更优的育肥效果与经济效益。针对山羊,Guzmán等<sup>[11]</sup>的研究结果表明,用干橙浆(DOP)替代40%或80%玉米时,山羊血浆中肌酸激酶和谷草转氨酶的活性降低,提示肌肉氧化损伤得到缓解;若以脱水橙果肉替代哺乳母羊饲料中80%的谷物,乳羔羊肉中多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比值升高,n-6与n-3脂肪酸比值降低,且乙基呋喃、二甲基二硫、庚烷等挥发性物质含量显著增加,有效提升了羊肉的感官品质(色泽、风味等)。在绵羊饲料优化研究中,相关试验显示,添加10%柑橘渣完全替代饲料中的甜菜渣后,绵羊的产奶量及乳脂肪含量显著提升,以该乳汁制备的奶酪中,脂肪、蛋白质及共轭亚油酸(conjugated linoleic acid, CLA)的含量均显著增加,且奶酪的氧化稳定性得到显著增强,同时奶酪中的微生物菌群结构得以优化<sup>[30]</sup>。Karimi等<sup>[31]</sup>以泌乳荷斯坦奶牛为试验对象,系统探究干燥柑橘渣(DCP)单独添加及与大豆油(SO)混合添加对奶牛生产性能的影响,结果表明:2种添加方式均未对奶牛干物质采食量(DMI)产生显著影响;单独添加DCP可显著提高奶牛对粗蛋白(CP)的表观消化率,而DCP与SO混合添加组的粗脂肪(EE)表观消化率显著高于单独添加DCP组及对照组,且2种添加方式均未对干物质(DM)、有机物质(OM)及纤维类物质的消化过程产生抑制作用;在生产性能方面,单独添加DCP组奶牛的日均泌乳量及4%脂肪校正乳产量与对照组无显著差异,DCP与SO混合添加组虽未显著提升乳蛋白、乳糖等核心乳成分的产量,但乳脂肪产量呈现出小幅上升趋势;在乳品质优化方面,单独添加DCP可显著降低乳中C14:0、C16:0等饱和脂肪酸的含量,而DCP与SO混合添加组不仅进一步降低了饱和脂肪

酸占比,还显著提升了乳中 C18:1n-9(单不饱和脂肪酸)、C18:2n-6(多不饱和脂肪酸)及共轭亚油酸(CLA)的浓度,有效优化了乳脂肪酸组成比例;此外,两种添加方式均能显著提高乳中总酚含量,进而增强乳制品的抗氧化潜力。Liotta 等<sup>[32]</sup>在绵羊饲料研究中发现,饲料中添加 10% 金橘浆可增加产奶量和乳脂含量,制成的奶酪 pH 值显著降低,且脂肪和蛋白质含量均有提升。

在肉牛饲料中添加 30% 的新鲜柑橘渣,对肉牛的日常增重、屠宰率等生产性能及肉品质(如大理石花纹、肉色)均无显著负面影响<sup>[33]</sup>。对于肉羊,用 24% 和 32% 的柑橘渣替代大麦作为能量饲料,可降低羊肉储存期间的脂质氧化程度,提高肉的氧化稳定性,这可能与柑橘渣中的多酚类物质(如黄酮)升高血液中柚皮素等抗氧化物质的含量有关<sup>[34]</sup>;此外,柑橘渣中的酚类物质还能降低瘤胃中多不饱和脂肪酸的生物氢化作用,减少反式脂肪酸的生成,有利于提升肉品质。

在奶牛养殖中,柑橘渣的应用研究较为广泛。Ítavo 等<sup>[35]</sup>以橙皮青贮替代玉米青贮(按饲料干物质基础,添加量分别为 250、500、750 g/kg)饲喂经产荷斯坦奶牛,结果显示,250 和 500 g/kg 添加组的产奶量及乳蛋白含量与饲喂标准玉米青贮的对照组无显著差异,但 750 g/kg 添加组的乳脂和乳蛋白含量显著提升。薛瑞婷等<sup>[36]</sup>的研究结果表明,在粗脂肪水平 5.5% 的奶牛高脂日粮中添加 5% 或 10% 柑橘渣,能显著提升奶牛粗蛋白、粗脂肪及干物质的消化效率,且不影响纤维消化;对泌乳量和 4% 脂肪校正乳产量无负面影响,可保障生产稳定;虽会降低乳中粗脂肪与总固形物含量,但不影响乳蛋白、乳糖等核心营养,还能优化乳脂肪酸组成,如降低饱和脂肪酸含量、提高单不饱和脂肪酸含量、改善 n-3/n-6 比例等,提升乳品质健康价值;同时可调节奶牛血液脂质代谢指标,保障其生理健康。用柑橘渣替代 40% 和 80% 的苜蓿作为粗饲料时,对奶制品的理化性能(如酸度、乳成分)和感官指标(如风味、色泽)均无显著影响<sup>[11]</sup>。

需要注意的是,妊娠母牛饲料中若若干柑橘渣替代超过 10% 的玉米,可能因能量供应不足或营养失衡导致采食量和饲料转化率下降,甚至影响后代犊牛的代谢指标(如攻毒后血清尿素氮和葡萄糖水平降低);而当柑橘渣替代玉米的比例超过 50% 时,

可能因瘤胃发酵紊乱导致奶牛产奶性能下降。

此外,柑橘渣在反刍动物饲料中的应用还具有显著的环境效益。研究表明,用柑橘渣替代 20% 的玉米,可显著降低瘤胃甲烷排放量和乙酸含量。甲烷作为强效温室气体,其排放量的减少有助于缓解气候变化,而乙酸比例的降低则有利于提升能量利用效率,这对减少畜牧业碳排放具有重要意义<sup>[11]</sup>。

### 3 结语与展望

柑橘渣富含多种营养成分和生物活性物质,通过适宜加工处理,可显著改善营养价值、适口性,降低抗营养因子含量,成为优质非常规饲料原料。在猪(推荐≤15%)、禽(推荐≤20%玉米替代量)和反刍动物(推荐≤30%)饲料中合理应用,能部分替代常规饲料、降低成本,改善畜禽肠道健康、免疫功能,提升肉、蛋、奶产品品质(如抗氧化稳定性、脂肪酸组成)和安全性(如减少抗生素使用)。此外,在反刍动物饲料中应用还可降低甲烷排放,产生环境效益。柑橘渣有望成为替代玉米、豆粕等的优质非常规饲料原料,为缓解我国饲料原料供需矛盾提供了重要路径。尽管柑橘渣在饲料领域的应用已取得一定进展,但当前仍存在诸多亟待突破的问题。

#### 3.1 面临的挑战

柑橘生产季节性强(如我国主产区集中在 10 月至次年 2 月),导致柑橘渣产量波动大,难以满足全年供应需求。目前缺乏经济有效的储存技术,难以保障原料稳定供应。不同品种(如脐橙、蜜橘、柠檬)、产地的柑橘渣,因生长环境和加工工艺不同,营养成分和抗营养因子含量存在差异,影响应用效果。现有加工技术(尤其是生物处理)效率和成本需优化,如菌酶协同发酵的菌种筛选、工艺参数(温度、pH、时间)精准控制等,且尚未实现标准化和规模化生产,处理成本较高。对柑橘渣中生物活性物质(如果胶、黄酮、精油)作用机理研究不足,与畜禽营养代谢、免疫调控、肠道微生物互作的分子机制不明。同时,缺乏利用现代生物技术(基因编辑、高通量筛选)选育高效、安全专用发酵菌株的研究。虽有柑橘渣作为饲料原料的应用,但对其高值化利用(如提取功能性饲料添加剂)途径探索较少。畜禽养殖业中,产学研合作不够紧密,缺乏柑橘渣饲料化利用的产业化示范基地,完整产业链尚未形成,阻碍技术落地应用。

### 3.2 未来方向

开发经济有效的储存技术(如青贮、低温干燥结合防霉剂),建立区域性柑橘渣收集与储存网络,保障原料全年稳定供应,解决季节性产量波动问题。深入研究不同来源柑橘渣特性,建立成分数据库,针对不同畜禽种类和生长阶段,制定精准添加量模型和应用方案,实现标准化应用。优化生物处理(尤其是菌酶协同发酵)工艺参数,推动技术标准化和规模化生产,降低处理成本,提升柑橘渣饲料市场竞争力。加强对柑橘渣生物活性物质作用机理研究,阐明其与畜禽营养代谢、免疫调控、肠道微生物互作关系;利用基因编辑、高通量筛选等现代生物技术选育高效、安全专用发酵菌株;探索柑橘渣高值化利用途径,如提取天然抗氧化剂、免疫促进剂等功能性饲料添加剂,提高经济价值。加强产学研合作,建立柑橘渣饲料化利用产业化示范基地,形成“柑橘加工—渣处理—饲料生产—畜禽养殖”完整产业链,推动技术落地,实现农业废弃物资源化利用与畜牧业绿色可持续发展双赢。未来,柑橘渣有望在畜禽养殖产业绿色转型升级中发挥更大作用,为实现农产品全产业链增值、推动种养循环可持续发展提供有力保障。

### 参 考 文 献

- [1] 梁君. 农副产物发酵饲料在动物养殖中的应用研究进展[J]. 养殖与饲料, 2024, 23(3): 43-46.
- [2] 游金明, 郭晓波, 谯俊, 等. 柑橘渣的营养价值及其在畜禽饲料中的应用研究进展[J]. 饲料工业, 2025, 46(3): 1-8.
- [3] AGU P N, OLUREMI O I A, TULEUN C D. Nutritional evaluation of sweet orange (*Citrus sinensis*) fruit peel as a feed resource in broiler production[J]. International journal of poultry science, 2010, 9(7): 684-688.
- [4] 操贤洪, 邱静芸, 连海, 等. 脐橙渣和甜叶菊渣微贮饲料对肉牛生长性能、血浆生化指标和粪便微生物多样性的影响[J]. 动物营养学报, 2024, 36(5): 3070-3081.
- [5] 席江, 艾平, 袁萧, 等. 接种比例和接种物驯化对榨汁橙渣厌氧发酵的影响[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 309-316.
- [6] 付复华, 李忠海, 单杨, 等. 柑橘皮渣综合利用技术研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 178-184.
- [7] WANG A N, CAI C J, ZENG X F, et al. Dietary supplementation with *Lactobacillus fermentum* 15007 improves the anti-oxidative activity of weanling piglets challenged with diquat[J]. Journal of applied microbiology, 2013, 114(6): 1582-1591.
- [8] XU G R, ZHANG C, YANG H X, et al. Modified citrus pectin ameliorates myocardial fibrosis and inflammation via suppressing galectin-3 and TLR4/MyD88/NF- $\kappa$ B signaling pathway[J/OL]. Bio-medicine & pharmacotherapy, 2020, 126: 110071[2025-08-19]. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110071>.
- [9] 刘海靖, 闫雪婷, 刘欢欢, 等. 柑橘果胶与红曲色素复合物的体外酵解特性与降脂活性[J]. 天津科技大学学报, 2025, 40(2): 51-60.
- [10] BARRECA D, MANDALARI G, CALDERARO A, et al. Citrus flavones: an update on sources, biological functions, and health promoting properties[J/OL]. Plants, 2020, 9(3): 288[2025-08-19]. <https://doi.org/10.3390/plants9030288>.
- [11] GUZMÁN J L, DELGADO-PERTÍÑEZ M, BERIÁIN M J, et al. The use of concentrates rich in orange by-products in goat feed and its effects on physico-chemical, textural, fatty acids, volatile compounds and sensory characteristics of the meat of suckling kids [J/OL]. Animals, 2020, 10(5): 766[2025-08-19]. <https://doi.org/10.3390/ani10050766>.
- [12] YU S Q, ZHAO Y C, LI L X, et al. Flavonoids from *Citrus peel* display potential synergistic effects on inhibiting rumen methanogenesis and ammoniogenesis: a microbiome perspective[J]. Environmental science and pollution research, 2024, 31(14): 21208-21223.
- [13] LI Z H, CAI M, LIU Y S, et al. Antibacterial activity and mechanisms of essential oil from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* [J/OL]. Molecules, 2019, 24(8): 1577[2025-08-19]. <https://doi.org/10.3390/molecules24081577>.
- [14] DENKOVA-KOSTOVA R, TENEVA D, TOMOVA T, et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of essential oils from tangerine (*Citrus reticulata* L.), grapefruit (*Citrus paradisi* L.), lemon (*Citrus lemon* L.) and cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* L.) [J]. Zeitschrift für naturforschung C, 2021, 76(5/6): 175-185.
- [15] 钟如意, 孔智伟, 陈荣强, 等. 脐橙渣发酵饲料对土杂肉猪生产性能的影响[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2018(6): 25-27.
- [16] WEBER T E, ZIEMER C J, KERR B J. Effects of adding fibrous feedstuffs to the diet of young pigs on growth performance, intestinal cytokines, and circulating acute-phase proteins[J]. Journal of animal science, 2008, 86(4): 871-881.
- [17] CUI Y Y, TIAN Z M, WANG G, et al. *Citrus* extract improves the absorption and utilization of nitrogen and gut health of piglets [J/OL]. Animals, 2020, 10(1): 112[2025-08-19]. <https://doi.org/10.3390/ani10010112>.
- [18] WATANABE P H, THOMAZ M C, DOS SANTOS RUIZ U, et al. Effect of inclusion of *Citrus* pulp in the diet of finishing swines [J]. Brazilian archives of biology and technology, 2010, 53(3): 709-718.
- [19] RUIZ U S, TOMAZ M C, PASCOAL L A F, et al. Nutrient digestibility of degermed, dehulled corn, *Citrus* pulp, and soy protein concentrate by barrows [J]. Journal of animal science, 2012, 90(S4): 170-172.
- [20] WANG Q, WANG J, QI R L, et al. Naringin supplementation af-

- fects performance, carcass traits, meat quality and oxidative stability of finishing pigs[J]. South African journal of animal science, 2020, 50(1): 78-87.
- [21] NOH H S, INGALE S L, LEE S H, et al. Effects of citrus pulp, fish by-product and *Bacillus subtilis* fermentation biomass on growth performance, nutrient digestibility, and fecal microflora of weanling pigs[J/OL]. Journal of animal science and technology, 2014, 56: 10[2025-08-19]. <https://doi.org/10.1186/2055-0391-56-10>.
- [22] VLAICU P A, UNTEA A E, PANAITI T D, et al. Effect of dietary orange and grapefruit peel on growth performance, health status, meat quality and intestinal microflora of broiler chickens[J]. Italian journal of animal science, 2020, 19(1): 1394-1405.
- [23] NAZOK A, REZAEI M, SAYYAHZADEH H. Effect of different levels of dried *Citrus* pulp on performance, egg quality, and blood parameters of laying hens in early phase of production[J]. Tropical animal health and production, 2010, 42(4): 737-742.
- [24] MOURÃO J L, PINHEIRO V M, PRATES J A M, et al. Effect of dietary dehydrated pasture and *Citrus* Pulp on the performance and meat quality of broiler chickens[J]. Poultry science, 2008, 87(4): 733-743.
- [25] ABBASI H, SEIDAVI A, LIU W Y, et al. Investigation on the effect of different levels of dried sweet orange (*Citrus sinensis*) pulp on performance, carcass characteristics and physiological and biochemical parameters in broiler chicken[J]. Saudi journal of biological sciences, 2015, 22(2): 139-146.
- [26] 杨志鹏, 王文策, 叶慧, 等. 柑橘皮渣对 1~21 日龄四川白鹅生长性能及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3181-3187.
- [27] 曹贵彬, 易凤珍, 游金明, 等. 陈皮苷制剂对爱拔益加肉鸡生长性能、免疫器官指数及小肠黏膜形态结构的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(3): 710-717.
- [28] POURHOSSEIN Z, AHMAD ALAW QOTBI A, SEIDAVI A, et al. Effect of different levels of dietary sweet orange (*Citrus sinensis*) peel extract on humoral immune system responses in broiler chickens[J]. Animal science journal, 2015, 86(1): 105-110.
- [29] 廖岗. 脐橙渣混合微贮菌剂筛选及其对湖羊育肥效果和肉品质的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2024.
- [30] LEE S E, YANG H N, SON G W, et al. Eriodictyol protects endothelial cells against oxidative stress-induced cell death through modulating ERK/Nrf2/ARE-dependent heme oxygenase-1 expression[J]. International journal of molecular sciences, 2015, 16(7): 14526-14539.
- [31] KARIMI A, ABARGHUEI M J, GHANATSAMAN Z A, et al. Dietary application of dried citrus pulp, with or without soybean oil, in lactating Holstein cow diet: effects on feed intake, digestibility, performance, a milk fatty acid profile and total phenolics[J/OL]. Animal feed science and technology, 2022, 294: 115488[2025-08-19]. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115488>.
- [32] LIOTTA L, RANDAZZO C L, RUSSO N, et al. Effect of molasses and dried orange pulp as sheep dietary supplementation on physico-chemical, microbiological and fatty acid profile of comisana ewe's milk and cheese[J/OL]. Frontiers in nutrition, 2019, 6: 1[2025-08-19]. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00001>.
- [33] LUZARDO S, BANCHERO G, FERRARI V, et al. Effect of fresh citrus pulp supplementation on animal performance and meat quality of feedlot steers[J/OL]. Animals, 2021, 11(12): 3338[2025-08-19]. <http://dx.doi.org/10.3390/ANI1123338>.
- [34] INSERRA L, PRIOLO A, BIONDI L, et al. Dietary citrus pulp reduces lipid oxidation in lamb meat[J]. Meat science, 2014, 96(4): 1489-1493.
- [35] ÍTAVO L C V, KOZERSKI N D, ÍTAVO C C B F, et al. Orange juice industry by-product silage can increase fat and protein in Holstein cow's milk[J]. The journal of dairy research, 2020, 87(4): 400-405.
- [36] 薛瑞婷, 李栋. 柑橘渣对奶牛泌乳性能、养分消化率及乳成分的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44(4): 11-14.

【责任编辑: 赵琳琳】