

益生菌发酵饲料在畜禽生产中的研究进展



■资料图片

□乔富博 陈静 刘显军 李玫
张家硕 贾展鹏 刘宏宇 苏晴

为降低对抗生素的过度依赖,保障我国的动物营养及公众健康,从2020年起,我国已完全禁止在饲料里添加抗生素。由于我国养殖业并未像国外已经实现病毒净化,传染病仍然大肆泛滥,因此绿色、安全的替抗饲料研发成为研究的热点。生物饲料是指由一系列生物工程开发技术(发酵工程、酶工程、蛋白质工程、基因工程)生产的饲料。发酵饲料作为生物饲料的重要组成部分,成为一种理想的替抗饲料。目前,我国养殖业饲料资源严重短缺,秸秆和糟渣类等农副产品又因为含有抗营养因子等原因导致动物采食后消化吸收差,不能使用而被严重浪费,而发酵饲料就可利用这些农副产品作为底物进行微生物发酵,降解其中抗营养因子和有毒物质的含量,抑制饲料中有害菌的繁殖,提高饲料的消化率,促进动物的消化吸收和肠道健康。这样既缓解了抗生素危害问题,减少环境污染,又充分实现变废为宝,扩展了我国饲料资源。

发酵饲料的概念

动物健康养殖对于养殖业的可持续发展至关重要,而优质绿色饲料则是生产高品质、安全动物产品的关键。自“十三五”规划以来,国家发展和改革委员会以及农业农村部相继推出了相关政策,将生物饲料定位为战略性新兴产业的重要产品,这为饲料产业的发展提供了明确的指导方向。2018年3月1日,中国实施了生物饲料领域首部团体标准——《生物饲料产品分类》。参照国际和中国饲料分类法,根据原料、菌种或酶组成和营养特性,将生物饲料分为4个主类。

经专家多轮讨论,确定核心技术包括发酵、酶解和菌酶协同发酵三大工艺。发酵饲料通过使用微生物、复合酶和有机酸等物质作为发酵剂,采用单一或混合菌种的协同作用,将原料降解成含有微生物固体蛋白、氨基酸、益生菌和复合酶制剂等成分的生物发酵饲料。发酵饲料的优势在于能够有效提升动物营养物质摄入,改善饲料的品质和口感,提高畜禽生产性能,同时还能提高粗蛋白的表现消化率和具备抗氧化功能。此外,发酵饲料对于增强动物的免疫力也有明显的效果。通过这些特性,发酵饲料为养殖业可持续发展提供了有力的支撑。

发酵底料的来源

目前,发酵饲料的来源主要分为常规饲料和非常规饲料两大类。常规饲料主要包括谷类(如玉米、大豆)和牧草等传统饲料原料。而非常规饲料则包括了酵母蛋白、麸皮壳类、秸秆类饲料、非常规粗粕类(例如南瓜籽饼、胡麻籽饼、油橄榄籽饼和茶籽饼等)以及糟渣类(如酒糟、甘薯渣、果渣等)。据统计,截至2022年,我国非常规饲料的生产相当可观,其中秸秆壳类等副产品每年生产约9.4亿吨,糟渣类每年约产1.7亿吨,饼粕类每年约产2300万吨。然而,这些非常规饲料虽然产量大,却存在一些问题。其含有大量抗营养因子(如植物凝集素、生肌多糖等)和有毒物质,导致其中的蛋白质和氨基酸的利用率极低。同时,这些饲料水分高,容易腐烂变质,而且由于是加工后的农副产品,粗纤维含量高和木质化程度高,导致适口性和风味差,因此在动物饲料生产中的应用较少。通常情况下,这些非常规饲料会被丢弃或焚烧,这不仅污染环境,还造成了大量饲料资源的浪费,严重影响了饲料

资源可持续发展。因此,发酵饲料的研究为这一问题提供了有效的解决方案,通过发酵过程改善了这些非常规饲料的品质,使其能够被更广泛地用于动物饲料生产,从而减少资源浪费,促进养殖业的可持续发展。

发酵菌的种类与特性

在发酵饲料生产中,研究和筛选发酵菌种至关重要。益生菌分为细菌和真菌两大类,细菌包括双歧杆菌、芽孢杆菌、乳酸菌和革兰氏阳性球菌;真菌主要是霉菌和酵母菌。养殖实践中广泛应用的益生菌有乳酸菌、酵母菌、芽孢杆菌和霉菌,这些菌种能提升饲料营养价值和消化率,促进动物肠道健康,增强生产性能。

乳酸菌类及特性

乳酸菌(如发酵乳杆菌、植物乳杆菌等)具有抗氧化能力,能缓解动物应激,减少肠道疾病,维持瘤胃微生物平衡。其可添加到食品和饲料中,提高饲料的抗菌、抗炎功能及适口性,提升发酵质量。乳酸菌代谢产物具有抗菌潜力,并能吸附和水解某些毒素,起到解毒作用。但长期过量使用可能导致胃肠依赖、蠕动减弱、抑制其他益生菌,且不耐热,对储存和运输条件要求高。

酵母菌类及特性

酵母菌如酒酵母和假丝酵母等,体系庞大,具有高蛋白质、氨基酸和维生素含量,是营养剂,能促进动物肠道发育,提高反刍动物肠道健康,常用于发酵饲料。酵母菌通过释放抗菌化合物、营养竞争和改变pH来控制病菌,抑制病原菌活性。其寡核糖核苷酸和D-甘露醇复合物具有抗病毒、抗炎和免疫调节作用。但价格高,增加生产成本。

芽孢杆菌类及特性

芽孢杆菌类(如枯草芽孢杆菌等),能促进发酵饲料产生更多营养物质,减少污染。其具有抗炎和抗氧化作用,提高放牧奶牛日增重及血清激素水平,改善动物生产性能,增强抗氧化能力,调节肠道微生物群稳定性,抑制沙门氏菌损伤,促进感染动物恢复,减少粪便污染,保护环境。但存在局限性,不能定植于肠道,可能引起肌肉骨骼疾病,易被其他微生物污染,且耐热性强,加热难以去除,残留过多可能影响机体。

霉菌类及特性

霉菌(如米曲霉、黑曲霉等),在发酵饲料时可分解粗脂肪碳水化合物作为碳源,分泌蛋白酶将大分子营养物质分解为小分子,降低毒素含量。同时抑制黄曲霉和大肠杆菌繁殖,降低毒素,提高动物生产性能,促进生长发育,增强免疫力和抗病能力。

发酵工艺研究

除了发酵菌种,发酵工艺也是影响发酵饲料好坏的关键因素。根据发酵时微生物培养基的状态,水分的含量等,微生物发酵的生产工艺常分为固态发酵、液态发酵、菌酶协同发酵、液态表面发酵、液态深层发酵、固定化细胞发酵等。

固态发酵工艺

固态发酵源于传统制曲,以饲料为基质,通过一种或多种益生菌在特定条件下发酵。适用于低水分环境,受碳氮比、pH等因素影响,发酵参数需根据菌种和原料确定。固态发酵常为开放式,流程涵盖选菌接种、扩大培养、预处理、混合发酵、干燥打包。根据氧气需求分为需氧发酵、厌氧发酵和两段式发酵。需氧发酵快速但耗损大,适合好氧菌;厌氧发酵芳香味浓、耗损小,利于长期保存,适合养殖场,但发酵周期长;两段式发酵结合两者优点,适合混合菌发酵。国内多采用固体厌氧发酵方法,如青贮、密封袋发酵等。

固态发酵优点:固态发酵不需要对单纯的营养基质进行灭菌,温度、湿度、pH、通风等发酵参数易操作且设备构造简单,发酵过程粗放,后续处理简便,技术生产成本更加低廉,投资少产量高,所需限制条件比较少;固态发酵所用的原料一般、价格便宜,并且品种来源丰富多样,用固态发酵方法制作的发酵饲料安全性更高,因为固态发酵对饲料原料的含水量需求不大,含水少可以减少细菌和病毒的繁殖,有效降低饲料中的抗营养因子和一些有毒物;对通风的设备要求低,不需要大设备进行空气的抑菌操作和连续通风,自然地进行气体扩散就可以,减少能耗;固态发酵的装置简单所需的空间小,并且不用考虑工业废水的处理和排放的问题,大大减少对环境的污染以及经济成本。

固态发酵缺点:固态发酵为开放式发酵体系,相当于一种自然发酵,在通风散热过程中,会造成水分流失并易染杂菌影响产品质量;固态发酵时所用的菌株在培养时喜在低湿环境中生长繁殖,故所用菌株有一定局限性,因此发酵速度慢且产量低;同时固态发酵机械化程度较差,过程参数和质量控制,如发酵环境的酸碱度、水分含量、氧气浓度和微生物的活性等没有科学指标为依据,通常是员工依据个人经验操作,同时还涉及去渣工作,对人工劳动强度需求大;在人工操作中还会出现因操作不当导致覆盖没有压实,空气排不净等问题,造成产品发酵品质差、易发霉变质等问题;固态发酵装置的导热性相对较差,难以保持固定温度,不利于微生物的生长;采用固态发酵培养获取的代谢物,有时需要使用大量的有机溶剂进行提取和纯化,这种方法不仅操作困难而且费用昂贵,大大增加了饲料成本;这些缺点限制了固体发酵的推广,因此固态发酵不适于工业化大规模批量生产。

液态发酵工艺

液态发酵基于抗生素生产工艺,是将原料液化后在微生物作用下进行发酵。分为自然发酵和接种微生物发酵两种,可单独发酵一种原料或直接对全价料进行发酵。过程比固态发酵复杂,需脱水、收集和干燥。关键要控制好发酵参数如营养成分、温度等。主要技术手段是将培养基和原料混合制成培养液,确定菌株并接种,在适宜条件下发酵。产物由发酵液和发酵液组成。国内主要用于生产微生态制剂等,国外则多用于直接饲喂动物。

液态发酵优点:在分批发酵时,在自然发酵介质中加铜可促进乳酸生成从而提高发酵质量,并且分批发酵使发酵过程更易控制,发酵效果不理想损伤相对较小。液态发酵的微生物细胞内pH更稳定,对酸性环境的适应性比固态发酵的微生物更加高。液态发酵生产技术成熟,发酵工艺已经实现自动化,并且发酵成本低、质量稳定、生产参数可量化,能用于工业化生产。液态发酵的饲料含水量高,提高了动物的采食效率。并且低pH的液体发酵饲料能够增强动物胃的免疫力。液体发酵饲料的处理步骤比固态饲料少,可以减少灰尘污染,并且液体饲料方便在生产中进行分饲喂或者混合饲喂。

液态发酵缺点:批发酵周期长,分批运输时也不方便。液态发酵直接发酵全价料时易造成营养成分(氨基酸和维生素)的损伤,液态发酵菌剂的存活率还没有固态发酵菌剂高。液态发酵干酪乳杆菌的生物量虽然比固态发酵高,但是液态发酵的干酪乳杆菌对氯化钠、双氧水和乙醇的耐受性没有固态发酵的干酪乳杆菌耐受性高,菌种存活性差。液态发酵有时在分解

过程中还会产生生物胺等物质,影响饲料的适口性。并且液态发酵饲料会需要大量昂贵设备,消耗能源产生很高的生产成本。最严重的是液态发酵会产生大量废水残渣易污染环境。由于液体饲料在饲喂时易浪费,会导致饲料转化率低。并且液体饲料在养殖场进行储存时容易腐败,需要严格控制管理。

其他发酵工艺

在生产中,除了常用的固态和液态发酵外,还有一些其他发酵工艺。这些工艺包括在液态发酵基础上延伸出的液态表面发酵和液态深层发酵,固定化细胞发酵、吸附在固体表面膜状发酵以及菌酶协同发酵等。其中,菌酶协同发酵是一种将酶参与的生物化学过程和微生物参与的生命活动过程有机结合的发酵方式。这种发酵方式根据发酵底物的不同,可以分为菌酶协同发酵单一饲料和发酵混合饲料。菌酶协同发酵的原理是利用酶来促进底物的分解,加快乳酸生成和pH的变化,从而提高微生物发酵效率。同时,菌种能够分解底物为酶解反应供应小分子营养物质,进一步促进酶解反应。此外,还有一些微生物能合成一些酶类物质与原料中的酶共同发挥作用,促进底物发酵。菌酶协同发酵在实际应用中具有重要作用。例如,对于消化酶分泌不足的幼畜或老龄家畜,可以在饲料中添加一些蛋白酶帮助消化。或者在发酵一些粗纤维较多的饲料原料时(如小麦、秸秆等),可以添加一些β-葡聚糖酶、纤维素酶和木聚糖酶等复合酶,有利于分解植物的细胞壁,降低胃肠道内容物黏度,促进家畜消化吸收。

发酵饲料在畜禽生产中的应用

发酵饲料在猪生产中的应用

在多数的发酵饲料研究表明,发酵饲料对猪的健康和生产性能有显著的积极效果。经过发酵处理的饲料,其酸香风味能够有效激发猪的食欲,进而增加其摄食量。此外,发酵过程使得饲料中的维生素、粗脂肪和有机酸的含量得以提升,同时消除了有害微生物和抗营养因子,这一系列变化不仅提升了饲料的营养价值,也增强了其消化吸收率,从而降低了养殖成本并提高了猪的生产性能。以德氏乳杆菌亚种发酵的豆渣为例,当用于饲喂猪时,可以显著促进肉猪的体重增长。更为重要的是,试验组猪肉肉质更嫩滑。在健康方面,对照组中检测到有猪出现肠道和呼吸道感染、皮肤和肝肾疾病。相比之下,试验组仅有一例轻微腹泻案例,其余试验组均未出现疾病症状。发酵饲料还能增强猪的免疫力,减少炎症反应,帮助猪保持良好的健康状况。健康的体质是提高猪生产性能的基础,因此,发酵饲料对于提升猪的生产性能和肉质等方面具有重要的正向调节作用。

在断奶仔猪饲料研究中发现,用发酵棉籽粕替代豆粕显著提高了断奶仔猪血清中的免疫球蛋白G(IgG)水平。同时血清以及空肠和回肠中的抗氧化酶活性也有所增加,这些变化共同增强了断奶仔猪的抗应激和免疫功能。另一方面,采用发酵黑麦饲料与姬松茸和水解椰肉粉(后者含有丰富的甘露聚糖)混合饲喂断奶仔猪,可以显著提高断奶仔猪血清中免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白M(IgM)和IgG的水平。在血液淋巴细胞数量和这种饲料混合物增加了自然杀伤(NK)细胞的数量,并降低了促炎细胞因子的基因表达水平,从而证实了发酵饲料混合剂对断奶仔猪免疫系统具有调节作用。

研究表明,发酵饲料可以改善猪肠道健康。由60%的橄榄生产废料、20%

在我国畜牧业中,随着严禁使用抗生素政策的实施,生物饲料已成为替抗饲料的主力选择。发酵饲料作为生物饲料的重要分支,在提升动物生产性能方面发挥着关键作用。其不仅能提高饲料营养价值,保持肠道内微生态的均衡,同时也有助于增强动物的消化能力。此外,发酵饲料还能介导动物机体特异性和非特异性免疫,从多方面增强动物免疫力。同时,发酵饲料还具备绿色、安全、无残留等一系列优点,有效减轻了养殖业对环境的危害。文章对发酵菌的分类、发酵工艺、发酵饲料的应用以及当前发酵饲料面临的问题进行综述,以期为该领域的研究和应用提供参考。

的葡萄渣和20%的脱蛋白羊乳酪固体废料制备的发酵饲料显著增加断奶仔猪肠道内普氏菌科和粪球菌属的相对丰度,并在育肥猪的肠道内提升了双孢菌属和假长双歧杆菌的丰度,这些变化有助于增强仔猪的肠道免疫力,从而改善其整体肠道健康。在另一项研究中,使用乳酸菌发酵牛奶来喂养仔猪,发现乳酸菌发酵牛奶能显著调节仔猪回肠的微生物群落构成和转录组谱的变化:不仅促进了益生菌肠球菌在肠道中的定植,还有效抑制了大肠杆菌的生长。同时,发酵牛奶还参与了回肠的免疫调节和肠道屏障的修复过程。因此,这些发现证实了发酵饲料能够有效地调节断奶仔猪的肠道微生物平衡,增强肠道免疫力,对维护断奶仔猪的肠道健康具有积极影响。

发酵饲料在反刍动物生产中的应用

用发酵饲料取代传统的浓缩饲料喂养奶牛。结果显示,试验组的初始体重和后期增重都高于对照组,这一发现揭示发酵饲料能促进食欲,提高饲料转化率,并在保持动物生长速度的同时增加体内脂肪的沉积。在评估胴体和肉质方面,试验组的公牛不仅胴体重有所增加,肋眼面积也得到了改善。因此,发酵饲料可以显著提升牛的生产性能和肉质。此外,在另一项研究中,研究人员尝试用木薯浆发酵酵母废料替代浓缩饲料中的豆粕喂养肉牛。结果显示,试验组的肉牛并未出现任何不良影响,且牛的增重与瘤胃健康状况与传统对照组相比并无显著差异。因此,这种方法在降低饲料成本的同时,成功维持了牛的生长效率,并间接提升了肉牛的生产性能。

将杏鲍菇加工剩余物制备成发酵饲料用于湖羊的喂养。经过对比,发现该发酵饲料对湖羊瘤胃内的微生物群落构成产生了显著影响。与常规饲料相比,该发酵饲料显著提高厚壁菌门、拟杆菌门、纤维杆菌门、黄瘤胃球菌和白色瘤胃球菌的相对丰度,这些均为瘤胃内关键的纤维素分解菌类。这一变化表明,发酵饲料在增强瘤胃消化功能方面的潜力,从而促进粗纤维物质的高效分解,提高了饲料转化率,并在经济上降低养殖成本,同时对动物的生产性能产生了积极的改善作用。此外,当关岭牛摄入相同发酵饲料后,在其皱胃和盲肠中也观察到有益微生物(如厚壁菌门、拟杆菌门和变形菌门)的丰度上升,而一些潜在的致病菌群(如变形菌门和螺旋体门)的丰度则有所减少。这为降低牛传染病的发病率提供了可能,揭示了发酵饲料在调节反刍动物胃肠道微生物群落结构方面的巨大潜能,通过促进有益微生物的增殖,进一步提高了饲料的利用效率。

在狼尾草发酵饲料对波尔山羊免疫功能影响的研究当中,发现这种富含乳酸菌和魏斯氏菌等益生菌的饲料,在动物肠道内积累后,显著激发了肠壁突状细胞和巨噬细胞的活性,导致促炎因子白细胞介素1β(IL-1β)和白细胞介素6(IL-6)的产生。这一过程不仅触发了IgG的分泌,也增强了B细胞与T细胞的激活。研究还观察到,该发酵饲料显著提升了血清中IgA、IgG、IgM的含量,以及细胞因子白细胞介素2(IL-2)、白细胞介素4(IL-4)的水平。除了提升机体免疫反应外,发酵饲料还有效提高了山羊体内血清、肝脏及脾脏中的抗氧化酶活性。这些结果综合表明,采用发酵饲料喂养能够显著改善动物胃肠道微生物群落的结构,并有助于促进免疫球蛋白的生成,从而提高了机体的整体免疫力和抗应激能力。

发酵饲料在鸡生产中的应用

将青蒿残渣发酵后作为饲料,添加到蛋鸡日粮中,结果显示,添加2%发酵饲料可显著提升产蛋率和增重。使用

米曲霉和枯草芽孢杆菌对豆粕进行双阶段发酵处理,提高了蛋白质、氨基酸含量及植酸酶活性,降低纤维和胰蛋白酶抑制剂含量。在肉鸡日粮中使用这种优化的发酵豆粕,能显著提升增重和末重,且与添加率成正比,同时改善采食量和饲料转化率,增强肉鸡的生产性能。研究显示,将固态发酵麦麸加入肉鸡日粮可提升免疫球蛋白和血清总蛋白含量,并增强对脂多糖诱导免疫应激的抵抗力。有效提升肉鸡的免疫功能,缓解脂多糖引起的免疫应激,其中湿态发酵麦麸的免疫调节效果更佳。还有研究发现,发酵饲料能显著改善黄羽肉鸡的肠道健康,增加十二指肠和空肠区域的绒毛高度及隐窝深度,表明其对肠道结构有积极作用。同时发酵饲料通过促进肠道形态发展和微生物群落平衡,提高饲料转化率,增强生产性能并维护肠道环境稳定,为畜牧业营养策略提供理论支持。

发酵饲料在鸭生产中的应用

在喂养发酵饲料后,鸭肉的pH显著提升,蒸煮损失减少,风味改善,尤其在添加40%发酵饲料后。基于1H NMR代谢组分析发现,主要差异代谢物如葡萄糖等通过氨基酸代谢途径调控,其中甘氨酸和N-乙酰半胱氨酸与风味和pH正相关,与其他代谢物则相反。因此添加发酵饲料可生产更高品质鸭肉,满足消费者口感需求。同时,发酵饲料可提高日粮中脂肪酸和小肽水平,增加番鸭平均日增重,改变肠道菌群,增强微生物多样性,减少致病菌。发酵饲料通过重建肠道形态、微生物和代谢改善番鸭生长性能,促进肠道健康,增加消化吸收。研究证明,发酵饲料是改善番鸭生长性能的有效策略。添加发酵饲料可调节肠道微生物组成,激活肝脏脂质代谢相关基因,减轻绍兴鸭肝脏和腹部脂肪形成,降低血清三酰甘油水平,减少脂质沉积,为调节肠道微生物群导致肝脏脂肪积累分子机制提供新见解。

发酵饲料在鹅生产中的应用

在狮头雏鹅的日粮中添加发酵饲料,可以显著改善其生长性能。通过提升血清中的超氧化物歧化酶活性,这一举措不仅优化了血清生化参数,还增强了抗氧化能力。在肠道健康方面,发酵饲料的摄入使空肠绒毛的高度和皱襞隐窝比率均有所提升,从而改善空肠的组织形态,并优化了肠道菌群的结构。特别是当发酵饲料以7.5%的剂量添加时,对狮头鹅的影响尤为显著。此外,采用纳豆和酿酒酵母混合液体进行发酵的饲料,能够有效改善鹅的生长状况和采食量。增加小肠和大肠中乳酸菌的含量,同时降低大肠杆菌的含量,调节肠道生态平衡。还能降低血液中胆固醇浓度,提高心脏和肝脏中谷胱甘肽过氧化物酶的活性,降低丙二醛的含量,从而改善这些器官的抗氧化状态。

结论

自“十三五”规划以来,发酵饲料作为生物饲料的重要分支,在提升畜禽生产性能方面取得显著进展。其能增强动物生产性能,免疫力 and 肠道健康。饲料经发酵处理后,营养价值提高,粪便中有害物质减少,提升了饲料利用率并减轻环境影响。尽管发酵饲料的优势明显,但其发展仍面临一系列挑战,如菌种来源问题、单一菌种向复杂菌种共发酵技术转型、固态发酵工艺优化及发酵饲料的经济效益评估等问题需深入研究解决,使发酵饲料在畜牧业生产中的应用更加广泛,并展现出更广阔的发展前景。

(作者单位:沈阳农业大学动物科学与医学学院)