

含碳工业尾气生物合成菌体蛋白产业化 应用实践

北京首钢朗泽科技股份有限公司立足工业资源循环利用，创新采用气体发酵技术，将含碳工业尾气转化为菌体蛋白，研发的乙醇梭菌蛋白产品于 2021 年获国内首个饲料原料新产品证书，在畜禽水产养殖领域较好实现产业化应用。

一、生产技术路径

该技术以乙醇梭菌为生产菌种，以工业尾气中一氧化碳为主要碳源，添加氨水和矿物元素，在常温常压条件下进行液态发酵，分离发酵液中乙醇后的固形物经喷雾干燥获得菌体蛋白。通过对原料气流量及一氧化碳浓度、pH、压力、温度等关键工艺参数持续优化，实现一氧化碳利用率 $\geq 85\%$ ，发酵乙醇浓度 $\geq 45\text{g/L}$ ，产品粗蛋白含量 $\geq 80\%$ ，单次连续稳定运行周期突破 300 天。同时，在生产过程中实现废水处理和余热回收，形成了一套稳定、高效、绿色，可规模化推广的无机物合成蛋白生产体系。

二、产品特性

产品蛋白质含量比鱼粉高 15 个百分点，是豆粕的近 2 倍；氨基酸总量占粗蛋白质比例达 90% 以上，氨基酸消化吸收率 $\geq 90\%$ ；氨基酸种类和组成比例与鱼粉相当，其中限制性氨基酸（如赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸等）及支链氨基酸（如

亮氨酸、缬氨酸、异亮氨酸)含量均高于鱼粉和豆粕,赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸含量分别较鱼粉提升 67.5%、27.0%和 53.1%,较豆粕提升 194.7%、262.3%和 131.7%。

表 1 乙醇梭菌蛋白主要营养成分含量(典型值,单位:%)

项目	含量	项目	含量	项目	含量
粗蛋白	85.90	赖氨酸	8.81	精氨酸	3.52
粗脂肪	2.00	蛋氨酸	2.50	胱氨酸	0.99
灰分	4.36	苏氨酸	4.24	天门冬氨酸	9.63
水分	6.86	苯丙氨酸	3.55	丝氨酸	3.24
氨基酸总和	77.59	亮氨酸	6.70	谷氨酸	9.86
氨基酸蛋白比	90.33	异亮氨酸	5.91	甘氨酸	4.20
		缬氨酸	5.63	丙氨酸	4.96
		组氨酸	1.48	脯氨酸	2.39

乙醇梭菌蛋白在兼具高蛋白营养价值的同时,其特殊蛋白结构还使其具有高吸水性、高发泡性、泡沫稳定性和低粉碎粒度等物料特性,在饲料中使用可显著提升物料粘度、膨胀度、吸油性和水中稳定性,能优化饲料微观结构、硬度和耐久性,从而有效降低低淀粉膨化浮性饲料加工难度,解决水产饲料加工难题。

三、应用效果

目前,产品已批准在鱼、仔猪、肉禽等畜禽水产饲料中使用,用于替代鱼粉、酵母水解物、豆粕等蛋白原料。实践表明,产品在水产饲料中可有效替代鱼粉且不影响动物生长性能,目前在大口黑鲈、黑鱼、金鲳等鱼饲料中添加 3%时综合效益最优,可降低饲料成本 200 元/吨,还能提升鱼肉中

呈味氨基酸含量，改善鱼肉感官评价及评分。在畜禽饲料中，目前最适添加量为 4%，用于替代豆粕时可提高断奶仔猪和肉鸡的生长性能和饲料消化率，有益于动物肠道健康。

产品在低蛋白日粮配方中添加时，其丰富的限制性氨基酸谱系还可有效降低外源合成氨基酸添加量，其中赖氨酸、蛋氨酸及苏氨酸等关键限制性氨基酸的外源添加量可分别降低 10.0%、20.7%和 20.7%，从而显著提高配方经济性，实现经济效益与营养效益双重突破。

四、未来展望

该技术首次实现在工业化条件下利用无机物大规模生产优质蛋白原料，突破了传统工农业边界，通过构建非粮型蛋白生产新模式，有效践行了“不与人争粮、不与粮争地”的可持续发展理念。与此同时，该技术同步达成工业尾气减量化、资源化与循环利用三重效益，为落实国家“双碳”战略提供了创新解决方案。目前，已在河北、宁夏、贵州等省区建成 4 个产业化基地，年产能 2.32 万吨菌体蛋白，折合豆粕当量约 4.15 万吨。据测算，我国工业领域年排放一碳气体超 2.6 亿吨，若实现 60%资源化利用，可年产菌体蛋白 650 万吨，折合豆粕当量约 1164 万吨，蛋白开源替代潜力较大。