

# 豆类加工废弃物资源化利用研究进展

付龙云<sup>1</sup>, 王保运<sup>2</sup>, 王祥峰<sup>3\*</sup>

1. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 山东 济南 250100

2. 齐鲁动物保健品有限公司, 山东 济南 250100

3. 山东省农业科学院茶叶研究所, 山东 济南 250100

DOI:10.61369/EAE.2025060010

**摘要** : 如何实现豆类加工废弃物的无害化处理和资源化利用, 是关系到行业健康发展的关键问题。以豆类加工废弃物为主要原料, 加工生产有机水溶肥、固体有机肥和聚谷氨酸, 可实现肥料化应用; 聚焦豆粕的营养特性, 通过酶解、微生物发酵等方式去除抗营养因子, 可实现饲料化应用; 而通过微波膨化、超临界萃取等技术制备和提取膳食纤维、皂苷、黄酮类等高附加值组分, 及利用豆渣制备猫砂等宠物用品, 可实现豆类加工废弃物的高值化利用, 促进豆类加工产业可持续发展。

**关键词** : 豆类加工废弃物; 农业; 资源化

## Research Progress on the Resource Utilization of Legume Processing Wastes

Fu Longyun<sup>1</sup>, Wang Baoyun<sup>2</sup>, Wang Xiangfeng<sup>3\*</sup>

1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250100

2. Qilu Animal Health Products Co., Ltd., Jinan, Shandong 250100

3. Tea Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250100

**Abstract** : How to achieve harmless treatment and resource utilization of legume processing wastes is a critical issue concerning the healthy development of the industry. Using legume processing wastes as the primary raw material, the production of organic water-soluble fertilizers, solid organic fertilizers, and polyglutamic acid enables their application as fertilizers. Focusing on the nutritional properties of soybean meal, removing antinutritional factors through enzymatic hydrolysis and microbial fermentation allows for its use as animal feed. Additionally, high-value components such as dietary fiber, saponins, and flavonoids can be prepared and extracted using technologies like microwave puffing and supercritical extraction, while soybean residue can be utilized to produce pet products like cat litter. These approaches facilitate the high-value utilization of legume processing wastes and promote the sustainable development of the legume processing industry.

**Keywords** : legume processing wastes; agriculture; resource utilization

## 前言

中国有着悠久的豆类作物栽培、加工和食用历史。千百年来, 先民们通过持续实践探索, 发明了豆腐、豆浆、豆豉等多种广受欢迎的豆类食品, 不但有效消除了豆子中含有的植酸、植物凝集素、胰蛋白酶抑制剂等抗营养因子, 而且保留和转化了蛋白质、淀粉、维生素等营养物质, 提升了风味品质和感官特性。而随着现代食品工业的发展, 挤压膨化、微波加热、微生物发酵等不同物理、化学和生物技术手段应用在豆类加工中, 通过科学的流程设计和工艺串联, 不但极大丰富了传统豆类食品的供给, 而且可实现豆类淀粉、蛋白粉、卵磷脂等高价值产品的规模化生产, 极大提高了产品附加值<sup>[1][2]</sup>。

然而, 传统和现代豆类加工方式, 都会不可避免的大量产生污水、豆渣、豆粕等废弃物, 这些豆类加工废弃物富含多种有机成分和氮磷钾等植物营养元素, 未经有效处理、直接排放易使水体发黑变臭, 持续产生 H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub>等有害异味气体, 给人居环境卫生造成严重威胁。随着国家环保法规的更加完善和人民群众对于环保要求的日趋提高, 如何更有效的实现豆类加工废弃物的无害化处理和资源化利用, 日益成为关系企业美誉度和行业可持续发展的重要问题<sup>[3]</sup>。

豆类加工废弃物中除糖类、蛋白质等常见有机成分外, 还可能含有黄酮类、膳食纤维等功能性组分。本文从提高产品附加值的角度出发, 在确保环境安全的前提下, 分类介绍豆类加工废弃物的肥料化、饲料化、材料化和其它高值化利用方式, 为促进豆类加工这一重要产业发展提供一定参考。

基金项目: 山东省重点研发计划项目 (2022TZXD0039)。

作者简介: 付龙云 (1983-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为农业微生物与环境保护。

## 一、豆类加工废弃物的肥料化利用

豆渣、豆粕、豆类加工废水等废弃物富含氮磷钾等植物营养元素和其他有机组分，是生产各类有机肥料的良好来源。然而，这些废弃物往往保存管理粗放、含水率高，极易腐败变质、滋生杂菌，产生黄曲霉素、细菌内毒素等剧毒物质。快速水解原料中的有机质，或以微生物发酵的方式抑制有害菌生长，进而促进有机成分的转化和腐熟，是肥料化利用的关键环节。

### （一）不同水解法生产有机水溶肥料

有机水溶肥料生产过程中，将原料中的蛋白质水解为氨基酸、多肽是关键步骤，常见的蛋白水解方法有碱解法、酸解法、高温高压法、酶解法和微生物发酵法等。碱解、酸解和高温高压法反应条件剧烈，时间短、分解彻底，可以迅速获得大量氨基酸产物，但需消耗大量工业化学品，对反应器的要求严格，能耗巨大，且容易导致氨基酸发生异构化，产品品质一般；酶解法是利用风味酶、碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶等组成的复合酶类，有选择的催化不同蛋白质水解，具有反应条件温和、水解效率高、操作简便等优点，在实践中广泛应用；与以上方法不同，微生物发酵法是利用细胞产生的各种胞内、胞外蛋白酶，将蛋白质分解为多肽和氨基酸，对反应器要求较低，反应条件温和，能耗小，发酵产物多样，特别是可产生多种对动植物有益的次生代谢产物，尤其适合高附加值水溶肥料的大规模制备。此外，碱解法、酸解法、高温高压法、酶解法生产的水溶肥料一般需要外源添加防腐剂，以抑制有害微生物的进一步生长，而微生物发酵由于已在物料内部形成“稳态”，可不使用或少使用防腐剂。

### （二）利用豆类加工废水生产聚谷氨酸

聚谷氨酸（ $\gamma$ -PGA）是一种绿色环保高分子聚合材料，具有良好的保水性、吸附性和生物相容性，可被生物完全降解，无污染和不良生态效应，可经由化学合成、酶转化或生物发酵的办法获取，在医药、化妆品、环保、食品和农业等领域有着重要用途<sup>[4]</sup>。高浓度豆类加工废水富含蛋白质、糖类、脂类等营养物质，经灭菌处理后，可作为微生物生长的良好培养基。以这种废水作为主要发酵原料，通过纳豆芽孢杆菌等微生物发酵转化生产聚谷氨酸，不仅可节约污水排放成本，减轻环境压力，还可获取具有高经济价值的生化产品，实现经济与环境效益双赢。目前国内已有利用豌豆加工废水转化生产聚谷氨酸的成功案例，终端产物中聚谷氨酸含量可达50g/L以上<sup>[5]</sup>。

### （三）豆渣好氧堆肥生产有机肥

豆渣是豆腐、豆奶等传统副食品和豆类蛋白粉、淀粉生产过程中的副产物，我国每年豆渣的产生量可达数千万吨。豆渣中氮磷钾等植物营养元素和有机质含量丰富，是制备有机肥的良好原料。好氧堆肥是常用的有机肥制备技术，通风良好、氧气充足的条件下，好氧微生物菌群对有机废弃物进行氧化、分解，该过程释放能量可使堆温升高至60℃以上并持续一段时间，可将大分子有机物降解为小分子有机物和无机物，实现“腐殖化”。传统的堆肥温度较低，腐熟速度慢，且可能残留蛔虫卵、大肠杆菌等有害微生物和杂草种子等。近年来高温堆肥（最高超过70℃）以其腐

熟彻底、速度快、养分转化率高的优势，日益成为废弃物堆肥的重要发展方向，而菌种的选择是实现“高温”的关键。陈枭嘉等从不同环境中筛选得到 *Geobacillus* sp.、*Methylobacterium* sp 和 *Thermus thermophilus* 等嗜热微生物，显著加快了豆渣堆肥腐殖化进程，提高了产品中氮磷钾养分含量<sup>[6]</sup>。

## 二、豆类加工废弃物的饲料化利用

目前，豆类加工废弃物的饲料化利用主要集中于大豆，例如大豆榨油后的豆粕、生产豆腐等残存的豆渣、黄浆水等，而豆粕是其中的主要部分。美国 NRC ( National Research Council ) 营养标准中，豆粕构成了现代饲料配方中最主要的成分。现阶段，我国的饲料配方结构也是以豆粕为主，据统计，我国约85%左右的豆粕被用于饲料消费。

### （一）豆粕营养特性

豆粕富含40%~48%的蛋白质，氨基酸含量全面、均衡，其中赖氨酸含量最高，占2.5%~3.0%，色氨酸0.6%~0.7%，蛋氨酸0.5%~0.7%。与谷实类饲料配合可起到互补作用。蛋氨酸含量较低，在以玉米-豆粕为主的饲粮中，一般要额外添加蛋氨酸以满足畜禽营养需求。粗纤维含量较低，主要来自大豆表皮。无氮浸出物主要是蔗糖、棉籽糖、水苏糖和多糖类，淀粉含量低。胡萝卜素、核黄素和硫胺素含量少，烟酸和泛酸含量较多，胆碱含量丰富，维生素E在脂肪残量高和贮存不久的饼粕中含量较高。矿物质中钙少磷多，磷多为植酸磷（约占61%）<sup>[7]</sup>。

### （二）豆粕加工工艺

大豆取油后的副产物统称为豆粕。根据工艺差异，大豆取油后的残余产物可分为三类：压榨法所得称为大豆饼，浸提法或预压浸提法所得称为大豆粕，而去皮后又经浸提或预压浸提所得则称为去皮大豆粕，主要加工方法包括液压压榨、旋压压榨、溶剂浸提及预压后浸提四种。压榨法通常包括两个阶段：首先对油料进行清选、破碎、软化与轧胚，温度维持在60~80℃；随后经蒸炒处理，再施加机械压力分离油脂。浸提法则在55~65℃条件下，以有机溶剂浸泡料胚提取油脂，随后经烘干获得豆粕。相较于压榨法，浸提法出油率高4%~5%，且豆粕残脂率低、更耐储存，是当前主流工艺。

### （三）饲用豆粕深加工方式

初步加工获取的豆粕仍含有多种抗营养因子，直接饲喂可能影响动物消化、吸收，严重的甚至会引起腹泻，这些缺陷限制了豆粕在饲料中的应用。因此，需要对豆粕做进一步加工处理，以尽可能降低抗营养因子含量，并补充益生菌、微量元素等，提高营养价值。实际生产中，一般采用加热、酶解、微生物发酵等方式来完成饲用豆粕的转化，而通过芽孢杆菌、乳酸菌、酵母菌等益生菌对豆粕进行发酵，不但改善了适口性，而且可以全面提高粗蛋白、粗脂肪和磷等营养成分的含量，消除胰蛋白酶抑制因子、大豆凝血素、致甲状腺肿素等绝大部分抗营养因子，补充肠道益生菌<sup>[8]</sup>。

### 三、豆类加工废弃物的其它高值化利用

不同来源的豆类加工废弃物在元素组成、营养成分等方面存在较大差异，可能含有的膳食纤维、脂类、多肽、维生素等为其进一步高值化利用提供了物质基础。针对其中的某些功能性组分，采用适宜的技术手段进行提取或深加工，可提高豆类加工副产物的附加值，为企业产生更高利润。

#### （一）豆类膳食纤维的提取

不能被人体消化酶分解的碳水化合物称为“膳食纤维”，包括可溶性膳食纤维（soluble dietary fiber, SDF）和不溶性膳食纤维（insoluble dietary fiber, IDF）。膳食纤维对人体多有益处，如降低血脂、血压，抑制餐后升糖，促进肠道蠕动等<sup>[9]</sup>。豆类加工废弃物是提取膳食纤维的良好原料，大豆、鹰嘴豆、豌豆等来源的豆渣中膳食纤维含量高达40%~65%，通过挤压、微波膨化和纤维素酶水解等加工方式，可获取较高浓度的可溶性膳食纤维。

#### （二）黄酮及皂苷类物质的提取

大豆、鹰嘴豆等豆类植物种子富含黄酮、皂苷等重要活性物质，黄酮类具有抗炎症、抗菌抗病毒、免疫调节、促进伤口愈合等多种有益作用，而皂苷则具有强大的抗氧化、抗衰老特性。常用的提取方法有溶剂浸提、超临界萃取、超声波与微波辅助提取、酶解辅助提取法等。经提取后所得到的粗制品还含大量蛋白

质、无机盐、糖类等，需进一步纯化以更有利于保存和发挥效用，大孔树脂纯化法、高效液相色谱纯化法、连续色谱分离纯化法、凝胶层析纯化法膜分离法等方法是常用的纯化方法<sup>[10]</sup>。

#### （三）制造猫砂

猫砂具有吸附尿液、包裹粪便、掩盖异味的功能，便利了人们在室内的养猫需求，已成为现代养猫的必需品。猫砂有膨润土、硅胶、豆渣等多种原料来源，相对于前两者，用豆渣制作的猫砂具有可降解、粉尘少的突出优势，可冲入下水道，极大方便了使用。豆渣猫砂的制造首先需要将豆渣烘干，加入竹粉、沸石、活性炭等辅料，并添加生物除臭剂，可实现抑菌、除臭的功能。目前，豆渣猫砂已在我国山东、河北等地多家企业实现产业化，产品远销国外，经济效益良好。

### 四、总结与展望

利用豆类加工废弃物生产优质肥料、饲料和提取皂苷、黄酮等其它高附加值产品，可真正实现对“一颗豆子”的吃干榨净，促进豆类加工原料“从土地中来，到土地中去”的绿色生态循环产业链的实现，符合农业供给侧改革的迫切需要，是推动质量兴农、绿色兴农的有效途径。

本文受山东省重点研发计划项目（2022TZXD0039）的支持。

### 参考文献

- [1] 《豆制品加工工艺与配方》[J].农产品加工,2013,(08):59.
- [2] 李军.不同加工方式对大豆类食品营养成分的影响[J].食品安全导刊,2024,(35):111-113.
- [3] 刘娟.农业有机废弃物资源化利用对环境保护的影响及策略[J].农业灾害研究,2024,14(12):187-189.
- [4] 王传海,何都良,郑有飞,等.保水剂新材料 $\gamma$ -聚谷氨酸的吸水性能和生物学效应的初步研究[J].中国农业气象,2004,(02):20-23.
- [5] 贾玉萍.豌豆蛋白废水生产聚谷氨酸的高产菌株选育及生产工艺优化[D].鲁东大学,2019.
- [6] 陈枭嘉,李立,马新新,等.豆渣降解高温菌的筛选及应用[J].河南农业科学,2021,50(01):172-179.
- [7] 熊本海,罗清尧,赵峰,等.中国饲料成分及营养价值表(2021年第32版)制订说明[J].中国饲料,2021,(23):97.
- [8] 马文强,冯杰,刘欣.微生物发酵豆粕营养特性研究[J].中国粮油学报,2008,(01):121-124.
- [9] 粟俊广,姜茜,望运滔,等.不同来源膳食纤维的结构和理化性质分析[J].食品与机械,2020,36(12):18-23.
- [10] 海婷玉.鹰嘴豆总黄酮分离提取及其药效学研究[D].新疆农业大学,2024.