

## 农林固废与生活污泥协同处理模式简介

查春梅<sup>1</sup> 任铁真<sup>1\*</sup> 道仁·哈尼开<sup>2,3,4,5,6</sup> 张洁<sup>2,3,4,5,6</sup> 王天娇<sup>2,3,4,5,6</sup> 丁丽<sup>2,3,4,5,6</sup> 王藤锦<sup>2,3,4,5,6</sup> 燕国栋<sup>2,3,4,5,6</sup>  
朱丽·恩特马克<sup>3</sup>

- 1.新疆大学, 新疆 乌鲁木齐 841000
- 2.新疆维吾尔自治区环境保护科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011
- 3.新疆维吾尔自治区生态学会, 新疆 乌鲁木齐 830011
- 4.新疆环境污染监控与风险预警重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011
- 5.新疆清洁生产工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011
- 6.国家环境保护准噶尔荒漠绿洲交错区科学观测研究站, 新疆 乌鲁木齐 830011

**[摘要]**随着我国城镇化进程加快与农业规模化发展,生活污泥与农林固废的治理压力日益凸显。协同处理作为一种资源化、减量化路径,已逐渐成为固废管理领域的研究热点。本文以新疆为典型研究区域,系统剖析了两类废弃物处置的核心问题与协同潜力,基于区域现存协同堆肥项目的实践数据与典型案例,梳理了国内外先进技术模式与政策经验,明确了适配新疆地域特色的技术路线与政策支撑体系。研究表明,新疆农林固废与生活污泥具备显著的协同资源化潜力,但面临技术适配性不足、收集成本高企、政策扶持缺位及产业链不健全等多重瓶颈;通过借鉴国内外“标准引领+技术适配+政策激励”的核心经验,构建分区差异化技术模式、全链条政策支持体系与闭环产业链,可有效提升协同处理的规模化、规范化水平,为干旱区固废协同资源化利用提供可复制的实践方案。

**[关键词]**协同堆肥;生活污泥;农林固废;资源化;新疆

DOI: 10.33142/nsr.v2i4.18722

中图分类号: X799.5

文献标识码: A

## Overview of the Synergistic Treatment Mode for Agricultural and Forestry Solid Waste and Municipal Sludge

ZHA Chunmei<sup>1</sup>, REN Tiezhen<sup>1\*</sup>, DAOREN Hanikai<sup>2,3,4,5,6</sup>, ZHANG Jie<sup>2,3,4,5,6</sup>, WANG Tianjiao<sup>2,3,4,5,6</sup>, DING Li<sup>2,3,4,5,6</sup>,  
WANG Tengjin<sup>2,3,4,5,6</sup>, YAN Guodong<sup>2,3,4,5,6</sup>, ZHULI Entemake<sup>3</sup>

1. Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang, 841000, China
2. Xinjiang Institute of Environmental Protection Sciences, Urumqi, Xinjiang, 830011, China
3. Xinjiang Society of Ecology, Urumqi, Xinjiang, 830011, China
4. Xinjiang Key Laboratory of Environmental Pollution Monitoring and Risk Warning, Urumqi, Xinjiang, 830011, China
5. Xinjiang Engineering Research Center for Clean Production, Urumqi 830011, China
6. National Scientific Observation and Research Station of Junggar Desert–Oasis Ecotone, Ministry of Ecology and Environment, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

**Abstract:** The rapid urbanization and agricultural intensification in China have intensified the challenges associated with managing municipal sewage sludge and agricultural/forestry residues. Co-processing, as an integrated approach for resource recovery and waste reduction, has emerged as a prominent research focus within the solid waste management domain. This study takes Xinjiang as a representative region to systematically analyze the core challenges and synergistic potential in treating these two waste streams. Drawing upon operational data and representative case studies from existing co-composting projects within the region, we synthesize advanced technological models and policy frameworks from domestic and international contexts. This analysis clarifies the technology pathways and policy support systems best suited to Xinjiang's unique geographical and socio-economic conditions. Our findings reveal that while significant potential exists for the synergistic resource recovery of Xinjiang's agricultural/forestry residues and municipal sludge, its realization is constrained by several critical bottlenecks: inadequate technological adaptation to local conditions, high collection and logistics costs, insufficient policy incentives, and underdeveloped industrial chains. By drawing on the core domestic

and international experience of “standards-driven guidance, technology adaptation, and policy incentivization”, this study proposes the construction of a regionally-differentiated technological framework, a comprehensive end-to-end policy support system, and a closed-loop industrial chain. This integrated approach can effectively enhance the scale and standardization of co-processing, offering a replicable practical solution for the synergistic resource utilization of solid waste in arid and semi-arid regions.

**Keywords:** co-composting; municipal sewage sludge; agricultural and forestry residues; resource recovery; Xinjiang

## 引言

随着城市化进程与农业现代化的快速推进,城市生活污水与农林固废的规模化产生已成为制约生态脆弱地区可持续发展的突出问题<sup>[1]</sup>。新疆作为我国干旱半干旱地区的典型代表,兼具城市污泥处置压力与农林固废资源化需求。生活污水年产量(干基)达 18.2 万吨且年均增长 9.3%,但无害化处置设施区域分布失衡,大量污泥依赖填埋或长途转运。农林固废产生量约 1.2 亿吨/年,其中秸秆、果枝、畜禽粪便占比达 85%,但资源化利用率不足 40%,露天焚烧与随意丢弃现象突出。

两类废弃物具有天然的协同互补性。生活污水富含有机质与氮、磷等营养元素,但其碳氮比(C/N)偏低,单独堆肥易腐熟不完全<sup>[2]</sup>。农林固废碳源丰富,可有效调节堆体 C/N 比至适宜范围(25~30),同时改善堆体透气性<sup>[3]</sup>。二者协同处理既能实现“以废治废”,又能产出适配盐碱地改良、农田培肥的优质堆肥产品,契合区域生态保护与农业绿色发展需求。本文基于新疆协同堆肥项目实践数据,结合国内外先进经验,系统介绍农林固废与生活污水协同处理的核心模式,为同类地区固废治理提供理论参考与实践指引。

## 2 协同处理的核心问题与资源潜力

### 2.1 协同处理的物质互补基础

生活污水与农林固废在理化性质上具有天然互补性。生活污水富含有机质(25%~45%)及氮、磷等营养元素,但碳氮比(C/N)偏低(多低于 10),单独堆肥易腐熟不完全。农林固废(秸秆、果枝等)碳源丰富、纤维素含量高,可有效调节堆体 C/N 比至 25~30 的适宜范围,同时改善堆体透气性,为协同堆肥提供了物质基础<sup>[4]</sup>。

### 2.2 生活污水处置的核心问题与环境风险

新疆污泥处置面临多重问题,处置能力区域失衡且运输成本高昂,南疆部分地区缺乏就地处理设施,污泥平均转运距离超过 150 公里,运输成本占比高达 30%~40%;污泥性质复杂化带来安全风险,普遍检出的抗生素抗性基因存在环境迁移扩散隐患<sup>[5]</sup>;现有通用技术缺乏地域适配性,北疆严寒与南疆干旱分别导致堆体温度难以维持和水分快速蒸发,降低处理效率;二次污染风险突出,填埋方式存在渗滤液长期污染隐患,而非法倾倒与简易堆放更易

造成重金属与病原体扩散,威胁生态与健康。

### 2.3 农林固废的资源化潜力与规模化瓶颈

#### 2.3.1 三维资源化潜力

农林固废资源化潜力显著,若将全疆 30%的农林固废用于协同堆肥,按常见配比(固废:污泥≈3:1)计算,可消纳生活污水(干基)约 213 万 t,远超新疆当前污泥年产量,理论上可完全实现污泥的“零填埋”。质量上,新疆棉花秸秆有机质含量(45%~50%)、果枝纤维素含量高,是优质的碳源调理剂,能有效改善污泥结构,调节 C/N 比。经济上,按堆肥产品市场均价 800 元/t、资源转化率 40%估算,30%的农林固废资源化可创造直接经济价值超百亿元,并带动收储运、装备制造、生态农业等相关产业发展。

#### 2.3.2 规模化利用的核心瓶颈

新疆农林固废与污泥协同处理面临多重制约,收集储运成本高昂,因耕地分散、点源广布,秸秆与果枝收集运输成本达 80~120 元/t,占运营总成本 30%~40%,制约规模化利用<sup>[6]</sup>;适配性技术缺失,缺乏针对当地干旱、高蒸发及冬季低温特点的经济高效堆肥工艺与装备;专项政策扶持缺位,自治区尚未出台针对性支持政策,企业在设备投资、原料收储等方面缺乏激励,项目投资回报周期长达 5~8 年,市场积极性不足;产业链条不健全,从收集转运到产品消纳的完整体系尚未形成,堆肥产品地方标准缺失,市场认知与农户信任度低,导致产品消纳困难。

## 3 新疆协同堆肥项目现状与典型案例

### 3.1 项目总体概况

截至 2025 年 11 月,新疆共有已核实的协同堆肥项目 9 个,项目主要分布在北疆(8 个)和南疆(1 个),东疆目前缺乏典型项目,反映了区域发展不均衡。项目类型以“畜禽粪污+农林固废”为主(7 个),处理城市生活污水的项目较少,仅乌鲁木齐项目为典型代表,表明城市污水协同资源化尚处于起步阶段。项目规模普遍偏小,多数为万吨级及以下,9 个项目总处理能力仅占污泥年产生量的 19.1%,规模化水平有待提升。技术路径均以好氧发酵为核心,但技术水平参差不齐,涵盖简易条垛堆肥至智能化膜覆盖堆肥等多种形式。具体信息如表 1 所示。

表 1 协同堆肥项目信息表

序号	项目名称	建设主体	处理规模 (万吨/年)	核心工 艺
1	奇台县农稼丰农业科技有 限公司年产 5 万吨有机肥项目	奇台县农稼丰农业科技有 限公司	畜禽粪污 1.2、棉秆 3.6	无臭 好氧发 酵
2	呼图壁县石梯子乡畜 禽粪便发酵有机肥项 目	呼图壁县石梯子 哈萨克族乡人民 政府	畜禽粪污 0.6、秸秆 1.8	好氧发 酵
3	乌鲁木齐市污泥协同 堆肥项目	新疆天物生态环 保股份有限公司	污泥 3.0、棉 秆 9.0	高温 好氧堆 肥
4	博乐大型养鸡场堆肥 项目	博乐市某养殖企 业	畜禽粪污 0.8、秸秆 2.4	微生物 发酵
5	精河县新疆杞河肥业 畜禽粪污堆肥项目	新疆杞河肥业科 技有限公司	畜禽粪污 1.0、果枝 3.0	常温 好氧发 酵
6	精河县新疆友仁源有 机肥堆肥项目	新疆友仁源有机 化肥有限公司	畜禽粪污 0.9、果枝 2.7	曝气发 酵
7	和布克赛尔县畜禽粪 污资源化利用整县推 进项目	和布克赛尔蒙古 自治县农业农村 局	畜禽粪污 2.5、秸秆 7.5	高温发 酵
8	温泉县禾牧农投微生 物肥堆肥项目	新疆温泉禾牧农 投生物科技有限 公司	畜禽粪污 1.8、秸秆 5.4	高温发 酵
9	和田戈壁设施蔬菜基 地智流膜堆肥项目	和田戈壁设施蔬 菜基地运营方	蔬菜废弃物 0.8、秸秆 2.4	智流膜 堆肥

### 3.2 典型案例分析

#### 3.2.1 乌鲁木齐市污泥协同堆肥项目

概况与模式：该项目由新疆天物生态环保股份有限公司与乌鲁木齐市天恒泉环保科技有限公司联合运营，2024 年 12 月投运，总投资 4518.69 万元（环保投资占比 9.2%），处理规模 3 万 t/年（污泥）、9 万 t/年（棉秆）。采用“企业投资运营+政府处理费补贴+产品市场销售”模式。污泥原料来自乌鲁木齐 14 家生活污水处理厂，明确禁止接收工业污泥，从源头上保障了原料安全性。

技术特点与成效：采用“高温好氧堆肥”工艺，污泥与棉秆配比 1：3，添加羊粪调理剂（占比 10%），将 C/N 比优化至 25~30，采用翻抛机与曝气系统结合，腐熟周期控制在 35d 左右，产品达到《有机肥料》（GB/T 8172—2021）标准，成功销往市政绿化与棉花种植基地。项目年减少填埋占地约 18 亩，减排 CO<sub>2</sub> 约 1.8 万 t，实现了环境效益与经济效益的初步统一。

突出问题：原料收集成本高（棉秆收集成本达 100 元/t）和冬季运行能耗大是制约其经济效益和全年龄稳定运行的主要瓶颈。此外，对产品中重金属、ARGs 的长期

跟踪监测体系尚不完善。

#### 3.2.2 精河县新疆杞河肥业畜禽粪污堆肥项目

概况与模式：该项目聚焦南疆丰富的红枣、核桃果枝资源与畜禽粪污，由新疆杞河肥业科技有限公司投资建设，2024 年 7 月投运，总投资 800 万元（政府补贴 30% 设备投资），处理规模 1 万 t/年（畜禽粪污）、3 万 t/年（果枝），覆盖精河县 60 余户养殖户，采用“养殖户免费供粪+企业付费收枝+政府部分补贴”的原料组织模式，果枝来自周边红枣、核桃种植园，产品定向用于当地盐碱地改良，形成了“以废治废、改良土壤”的闭环。

技术特点与成效：工艺相对简易，采用“常温好氧发酵”工艺，果枝经粉碎后直接作为调理剂。其最大价值在于有效解决了果枝焚烧污染难题，并为盐碱地改良提供了廉价有机质来源，施用后红枣增产达 8%，生态效益与社会效益显著。

突出问题：技术较为粗放，缺乏过程精确控制与产品快速检测能力，产品质量依赖外检，成本高、周期长。冬季低温导致发酵效率下降超过 15%，严重影响连续生产。

#### 3.2.3 和田戈壁设施蔬菜基地智流膜堆肥项目

概况与模式：该项目针对戈壁农业区尾菜与秸秆，由和田戈壁设施蔬菜基地运营方建设，西部农业绿色智能装备团队提供技术支持，2024 年 12 月试运营，处理规模 0.8 万 t/年（蔬菜废弃物）、2.4 万 t/年（秸秆）。聚焦戈壁农业尾菜与秸秆协同处理，引入“智流膜”覆盖堆肥技术，实现了基地内有机废弃物的就地、无害化、资源化处理，产品直接回用于设施大棚，降低化肥依赖。

技术特点与成效：采用“智流膜堆肥”技术，有效解决了干旱区堆肥水分蒸发快的核心难题，将水分流失率控制在 10% 以下，并减少了异味排放，腐熟周期缩短至 28d。是适应极端干旱气候的特色技术创新。

突出问题：技术核心膜材料依赖外购，成本较高（约 20 元/m<sup>2</sup>），限制了技术的大规模推广。项目的成功高度依赖特定技术团队的支持，本土化、可复制的技术运维体系尚未建立。

### 3.3 现有项目共性问题

通过梳理新疆全部 9 个协同堆肥项目并深入分析其中 3 个典型案例，发现现有项目普遍面临多层面挑战。技术方面，工艺较为粗放，缺少适应干旱寒冷气候的低成本标准化技术体系，且对环境风险因子如重金属及抗生素抗性基因的监测与控制能力不足。运营方面，农林固废收集成本高、物流体系不完善，项目盈利依赖不稳定的政府补

贴,产品销路窄且缺乏市场竞争力。政策与管理层面,专项扶持政策缺位,自治区级相关标准体系尚未建立,同时跨部门协调机制不畅,制约了项目落地与持续运营。4 国内外先进经验借鉴

#### 4.1 国外典型模式与启示

在协同堆肥领域,美国、荷兰和以色列分别形成了具有特色的运行模式。美国构建“联邦底线+地方加严”的标准体系<sup>[7]</sup>,以“污泥+秸秆+畜禽粪便”混合堆肥为主,并通过 OMRI 等第三方认证提升产品市场竞争力。荷兰将协同处理纳入国家循环经济战略,采用“厌氧消化+好氧堆肥”组合工艺,结合物联网监控与碳足迹核算,并通过立法<sup>[8]</sup>与补贴推动目标实现。以色列针对干旱气候开发“节水型协同堆肥技术”,运用高浓度菌剂、塑料膜覆盖与太阳能加热工艺,有效减少水分蒸发并缩短腐熟周期,政策上通过强制性要求与设备补贴予以支持<sup>[9]</sup>。三国经验为新疆在标准建设、政策激励与节水技术方面提供了重要借鉴。

#### 4.2 国内典型模式与启示

在国内,北京、江苏、武汉与义乌分别形成了协同堆肥的典型模式。北京将污泥资源化纳入城市战略<sup>[10]</sup>,明确量化目标并构建跨区域生态治理共同体,采用先进工艺生产高品质营养土用于区域生态修复<sup>[11]</sup>。江苏通过设立专项基金,实施覆盖建设、运营与使用的多层次补贴机制,以“企业+合作社+农户”模式推动产品应用。武汉构建“1+5”分区协同处置体系,基于等时圈优化布局并建立多维度量化评价体系,显著降低运输成本与碳排放。义乌则依托“政企研”合作模式,由水务集团牵头联合高校开发适用工艺,并通过政府绿色采购保障产品稳定消纳。这些实践为新疆在跨区域协同、补贴机制设计、设施布局优化以及产学研结合等方面提供了重要参考。

### 5 适配新疆的协同处理技术与政策体系

#### 5.1 技术路线适配性选择

##### 5.1.1 核心技术路线对比

国内外污泥协同农林废弃物堆肥技术路线差异显著。好氧堆肥工艺成熟、成本低,但周期长、氮损失高<sup>[12]</sup>,适用于农林废弃物充足的城郊及林果区。厌氧-好氧组合技术可回收能源、减容率高,但投资大、门槛高<sup>[13]</sup>,适用于有配套的大城市。节水型堆肥适配干旱环境、周期短,但依赖菌剂本土化<sup>[14]</sup>,适用于新疆南疆等地区。多路径协同类灵活度高,但运维复杂,暂不适配新疆县域污泥分散现状<sup>[15]</sup>。

#### 5.2 政策与标准体系构建

##### 5.2.1 政策支持体系适配建议

财政补贴方面,借鉴美国增值税即征即退、江苏全链条补贴经验,设立“林果固废+污泥协同堆肥专项补贴”,覆盖建设、运营及终端使用环节。金融支持方面,参考美国企业所得税优惠、江苏绿色信贷政策,推出堆肥项目专项低息贷款。市场激励方面,引入美国 OMRI 认证、义乌市政采购模式,建立新疆本土堆肥产品认证体系,与补贴、采购挂钩。法律约束方面,参照日本《循环型社会基本法》、北京规划目标设定经验,将协同堆肥纳入自治区固废规划,明确县域资源化率指标。

##### 5.2.2 标准规范适配建议

优先衔接现行国家标准,堆肥产品需满足《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》(GB/T 23486—2009)<sup>[16]</sup>、《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018)<sup>[17]</sup>的基础要求。补充区域特性指标,结合新疆盐碱地、沙化土地治理需求,在地方技术文件中增加“堆肥产品盐分含量”“有机质含量”等适配性要求<sup>[18]</sup>。参考荷兰“碳足迹核算”方法,将“单位堆肥产品减碳量”纳入项目评价指标,为未来参与碳交易奠定基础。

### 6 结论

农林固废与生活污泥协同处理是推动新疆生态保护与农业绿色发展的有效路径,其通过“养分互补、风险共控、资源循环”机制实现从“废物消纳”到“资源增值”的转型。当前新疆协同堆肥项目已积累一定经验,但仍面临技术适配性不足、收集成本高、政策扶持缺位与产业链不健全等挑战。为此,需构建“技术-政策-产业”三位一体的协同体系:技术上实施分区差异化路线,北疆推广“高温好氧堆肥+冬季保温”模式,南疆重点应用节水保水型覆膜堆肥,东疆及分散县域采用低成本简易堆肥就近消纳;政策上建立全链条补贴机制、跨部门协同及地方标准体系;产业上打造“收集-处理-应用”闭环链条,推动兵地融合与模式创新。该模式的实施有助于实现固废减量、土壤改良与碳减排等多重目标,为我国干旱区固废资源化提供示范,为西北生态安全屏障建设和循环经济发展注入持久动力。未来还需加强本土技术研发、完善标准与智慧监管,拓展多源固废协同场景,提升模式的规模化与可持续性。

#### 致谢

本研究得到了 2025 年自治区科协决策咨询课题以及新疆大学优秀研究生创新计划(2025 年项目)的支持。

#### [参考文献]

[1]李鹏飞.农业秸秆与市政污泥共混厌氧消化的协同作用及强化机制[D].江苏:东南大学,2021.

- [2]徐新阳,陈熙,柳青,等.城市污水处理厂污泥堆肥化处理优化[J].东北大学学报(自然科学版),2012,33(9):1340-1348.
- [3]吕子文,顾兵,方海兰,等.绿化植物废弃物和污泥的堆肥特性研究[J].中国土壤与肥料,2010(1):57-64.
- [4]陈艳容.农业废物与底泥共堆肥中腐殖质形成与重金属形态变化研究[D].湖南:湖南大学,2021.
- [5]ZHANG Y,LIU J,CHEN H.Occurrence and fate of antibiotic resistance genes in municipal sewage sludge:A review[J].Science of The Total Environment,2021(789):147934.
- [6]徐婕,裴亮,热合曼江·吾甫尔,等.新疆果蔬产业废弃物资源化利用现状及对策[J].农村经济与科技,2025,36(11):5-8.
- [7]United States Environmental Protection Agency.Standards for the use or disposal of sewage sludge:40 CFR Part 503[S].Washington,DC:EPA,1993.
- [8]Ministry of Infrastructure and Water Management of the Netherlands.Circular Economy Act[Z].The Hague:Ministry of I&W,2021.
- [9]Israeli Ministry of Environmental Protection.Water Law (Amendment–Sludge Utilization)[Z].Jerusalem:IMEP,2018.
- [10]北京市人民政府.北京市“十四五”时期污水处理及资源化利用发展规划[Z].北京:北京市发展和改革委员会,2021.
- [11]张玉晖,朱芬芬,陈倩,等.污泥典型处理处置过程对矿物油的削减研究——以北京城市生活污水“热水解+高级厌氧消化+板框脱水+土地利用”为例[J].中国环境科学,2023,43(8):4057-4064.
- [12]张诗华,徐伟东,柳宇豪,等.好氧堆肥处理技术在市政污泥资源化利用中的进展[J].广东化工,2025,52(11):110-113.
- [13]吴济舟,李雪娇,梁慧超.国内常用污泥协同处置技术现状及创新趋势分析[J].中国水泥,2025(1):27-30.
- [14]王建军,刘涛,张华.干旱区污泥与秸秆协同堆肥技术研究[J].农业工程学报,2023,39(18):200-208.
- [15]张琪.多源污泥协同处置模拟及末端消纳路径评估[D].湖北:华中科技大学,2023.
- [16]国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB/T 23486-2009 城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [17]国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB 4284-2018 农用污泥污染物控制标准[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [18]李建国,王明,张伟.新疆盐碱地改良与有机废弃物资源化利用研究进展[J].土壤学报,2023,60(2):315-327.
- 作者简介:查春梅(1985—),女,回族,宁夏银川人,博士在读,新疆大学,研究方向:有机废弃物资源化处理;任铁真(1974—),女,汉族,河北石家庄人,博士,教授,新疆大学,研究方向:碳基固废处理。